СОДЕРЖАНИЕ

Лесное хозяйство

Погиба С.П., Казанцева Е.В. *Гибридологический анализ сибсов березы повислой по коре* 6

Коротков С.А., Стоноженко Л.В., Ерасова Е.В., Иванов С.К. *Устойчивость и динамика еловых и липовых насаждений северо-восточного Подмосковья* 13

Беляева Н.В., Грязькин А.В., Ковалева О.А. *Связь парцеллярной структуры фитоценоза с характеристиками подроста ели* 22

Романов Е.М., Нуреева Т.В., Белоусов А.А. *Роль искусственных насаждений сосны обыкновенной (Pinus silvestris L.) в улучшении качества лесного фонда Кировской области* 29

Соболев А.Н., Феклистов П.А. *Напочвенный покров сосновых насаждений Соловецкого архипелага* 38

Дроздов И.И., Приставко А.А., Приставко И.А. *Особенности роста лесных культур сосны в зоне широколиственных лесов на примере Брянской области* 45

Смирнов А.И. *Влияние электромагнитных полей низкой частоты на рост сеянцев сосны обыкновенной* 52

Орлов Ф.С. *Влияние низкочастотного электромагнитного поля на посевные качества семян хвойных пород* 56

Шавнин С.А., Галако В.А., Власенко В.Э., Лебедев В.А., Ерохина О.В., Пустовалова Л.А. *Лесоводственная характеристика и состояние лесных генетических резерватов Среднего Урала* ... 63

Захарова Е.И. *Содержание основных пигментов в перидерме однолетних побегов древесно-кустарниковых видов семейства Fabaceae Lindl., при интродукции в Нижегородском Поволжье* 71

Стороженко В.Г., Коткова В.М., Чеботарев П.А. *Динамика трансформации коренных дубрав и дереворазрушающие базидиальные грибы Теллермановского леса* 77

Нечаев А.А. *Дикорастущие съедобные ягодные растения Хабаровского края: видовое разнообразие, ресурсы, освоение* 85

Варламова М.А., Рахматуллина И.В. *Применение методов альгомониторинга в оценке состояния природных популяций Dictamnus gimnostilis Stev. на южном Урале и опыт интродукции в условиях лесостепной зоны* 91

Шошин В.И., Граборов А.В. *Влияние почвенно-грунтовых условий на рост дуба северного в лесных культурах Брянской области* 97

Дорохов К.В., Шелухо В.П. *Влияние антропогенных воздействий на динамику трофической структуры и плотности мезофауны* 103

Чудецкий А.И., Шутов В.В., Рыжова Н.В. *Опыт лесной рекультивации выработанного песчаного карьера* 112

Шубалый А.М. *Особенности трансформации системы управления лесами в Украине* 116

Деревообработка и химические технологии

Федорова А.А., Колесникова А.А. *Влияние факторов на акустические показатели древесных заготовок* 125

Рыбин Б.М., Кириллов Д.В. *Оценка фактического объема полостей неровностей на обработанной поверхности древесины* 131

Иванкин А.Н., Прошина О.П., Олиференко Г.Л., Панферов В.И., Бабурина М.И. *Кинетика получения биодизеля каталитической трансформацией растительных липидов в этиловые эфиры жирных кислот* 138

Иванкин А.Н., Олиференко Г.Л., Евдокимов Ю.М., Прошина О.П. *Получение нанодисперсных частиц серебра для модификации свойств древесных композитов* 145

Лесоинженерное дело

Макуев В.А., Найман В.С., Клубничкин Е.Е., Клубничкин В.Е. *Наноматериалы и их использование в двигателях внутреннего сгорания* 150

Подрубалов М.В., Подрубалов В.К. *Оценка вертикальной вибрации колесного трактора при движении по случайному профилю пути* 154

Математическое моделирование

Полещук О.М. *Нечетко-вероятностные пространства и вероятности нечетких событий* 162

Полещук О.М., Комаров Е.Г. *Построение нечетких регрессионных моделей в условиях групповой экспертной информации* 170

Царьгородцев Ю.П., Усатов И.И., Полуэктов Н.П., Евстигнеев А.Г., Журавлев А.А., Горшков В.В., Кубарев Ю.В. *Система измерения импульса струи МПД двигателя* 176

Царьгородцев Ю.П., Полуэктов Н.П., Усатов И.И., Евстигнеев А.Г. *Метод измерения степени ионизации потока атомов металла* 182

Усачев М.С., Дорошенко В.А. *Выбор операторных уравнений и структуры процессорных измерительных средств для автоматизации сборки изделий в приборостроении* 189

Котов Ю.Т., Барбул М.Л. *Методика расчета сложных систем для передачи вязкотекущих сред* 198

Саврухин А.П. *Природа света* 206

Тарасенко Н.В., Шульга Д.Н., Кириллова Г.В., Лобанов В.С., Тарасенко П.А. *Программный комплекс математического моделирования управляемого движения ка для исследования луны на перелетном и орбитальном участках полета* 223

Экономика

Трегуб А.В., Трегуб И.В. *Методика прогнозирования основных показателей развития отраслей Российской экономики* 231

Филология

Косарина А.А., Федотова А.Е. *The influence of an author's life on his writings on the basis of J. G. Ballard's short stories* 237

Образование

Умаров М.К. *Формирование логических компонентов технико-тактических действий в единоборствах на основе самбо* 241

CONTENTS

Forestry

Pogiba S.P., Kazantseva E.V. *Hybridological analysis sibsov birches povisly of bark* 6

Korotkov S.A., Stonozhenko L.V., Erasova E.V., Ivanov S.K.
Sustainability and the evolution of spruce and lime forest in north-east Moscow region 13

Beliaeva N.V., Gryazkin A.V., Kovaleva O.A. *The connection between parceled phytocenosis structure and spruce undergrowth characteristics* 22

Romanov E.M., Nureeva T.V., Belousov A.A. *The role of scots pine (Pinus sylvestris L.) Plantations in forest resources improvement in Kirov oblast* 29

Sobolev A.N., Feklistov P.A. *Soil cover in pine forests on the Solovki archipelago* 38

Drozdov I.I., Pristavko A.A., Pristavko I.A. *Growth pine forest in the zone broadleaf forests in the example of Bryansk area* 45

Smirnov A.I. *The influence of electromagnetic pour on low frequency to an increase in the seedlings of the pine tree of usual* 52

Orlov F.S. *Influence of low-frequency electromagnetic field on sowing quality of seeds of conifers* 56

Shavnin S.A., Galako V.A, Vlasenko V.E, Lebedev V.A., Erokhina O.V., Pustovalova L.A.
Forest inventory characteristics and the state of forest genetic reserves in Middle Urals 63

Zakharova E.I. *The concentration of the basic pigments in the periderm of the Fabaceae Lindl. family hardy-shrub species one-year sprouts, upon the introduction in Nizhny Novgorod Povolzhye* 71

Storozhenko V.G., Kotkova V.M., Chebotarev P.A. *Dynamics of the indigenous oak forests' transformation and wood-destroying basidiomycetes of the Tellerman forest* 77

Nechaev A.A. *Wild edible berry plants of Khabarovskiy krai: species diversity, resources, development* 85

Varlamova M.A., Rakhmatullina I.V. *Methods of assessment in algomonitoringa natural populations Dictamnus gimnostilis Stev. the southern Urals and experience introduction in the forest-steppe zone* 91

Shoshin V.I., Graborov A.V. *Influence of soil conditions on growth of the quercus borealis in forest cultures of the Bryansk region* 97

Dorokhov K.V., Shelukho V.P. *Influence of the anthropogenic impacts on the dynamics of trophic structure and density of mesofauna* 103

Chudetskiy A.I., Shutov V.V., Ryzhova N.V.
Experience of forestry recultivation of mined-out sand quarry 112

Shubalyi A.M. *Features of forest management system transformation in Ukraine* 116

Woodworking and chemical technologies

Fedorova A.A., Kolesnikova A.A. *Influence of factors on acoustic indicators of wood prepartions* 125

Rybin B.M., Kirillov D.V. *Assessment of the actual volume of cavities irregularities on the processed surface of wood* 131

Ivankin A.N., Proshina O.P., Oliferenko G.L., Panferov V.I., Baburina M.I. *The kinetics of the catalytic transformation of plant lipids in ethyl esters of fat acids for biodiesel production* 138

Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Evdokimov Yu.M, Proshina O.P. *The receiving of the silver nano particles for modifying properties of wood-based composites* 145

Forestry engineering

Makuev V.A., Nayman V.S., Klubnichkin E.E., Klubnichkin V.E. *Nanomaterials and their use in internal combustion engines* 150

Podrubalov M.V., Podrubalov V.K. *Assessment of vertical vibration of a wheel tractor at movement on a casual profile of a way* 154

Mathematical modeling

Poleshchuk O.M. *Fuzzy probability spaces and probabilities of fuzzy events* 162

Poleshchuk O.M., Komarov E.G. *The construction of fuzzy regression models based on expert group information* 170

Tsar'gorodsev Yu.P., Usatov I.I., Poluektov N.P., Evstigneev A.G., Zhuravlev A.A., Gorshkov V.V., Kubarev Yu.V. *The automated system for measuring the impulse of the MHD thruster* 176

Tsar'gorodsev Yu.P., Poluektov N.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G. *Method for measuring of the ionization fraction of the metal atom flux* 182

Usachev M.S., Doroshenko V.A. *Choice of operator equations and processor measuring tools structure for automation product assembly in instrument manufacture* 189

Kotov Yu.T., Barbul M.L. *Method of calculation of complex systems for the transmission of viscous-flow environments* 198

Savrukhin A.P. *Nature of light* 206

Tarasenko N.V., Shulga D.N., Kirillova G.V., Lobanov V.S., Tarasenko P.A. *Software complex mathematical modeling of controlled movement of spacecraft to explore the moon on route and orbital flights* 223

Economy

Tregub A.V., Tregub I.V. *The methods of predicting the main indicators of development of the Russian economy* 231

Philology

Kosarina A.A., Fedotova A.E. *The influence of an author's life on his writings on the basis of J. G. Ballard's short stories* 237

Education

Umarov M.K. *Formation of logic components of technical and tactical actions in single combats on the basis of sambo* 241

ГИБРИДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИБСОВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ ПО КОРЕ

С.П. ПОГИБА, *проф. каф. селекции, генетики и дендрологии МГУЛ, канд. с.-х. наук*,
Е.В. КАЗАНЦЕВА, *доц. каф. селекции, генетики и дендрологии МГУЛ, канд. с.-х. наук*

s.pogiba@mail.ru, kazantseva@mgul.ac.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В статье дано краткое описание ареала, биологических и технических особенностей, лесоводственного и хозяйственного значения одной из основных лесообразующих пород – березы повислой. Изложена история и цель хозяйственной оценки изучения внутривидовой изменчивости березы повислой по цвету коры, толщине и строению корки, а также отбора и выращивания фанерной березы в России.

Проанализирован мировой опыт лесоводственной оценки березы, изучения ее формового разнообразия по коре. Отмечены работы ученых из Германии, Швеции, Финляндии, которые впервые выявили у березы повислой взаимосвязь между строением коры и текстурой древесины, позволившие выделить пиловочные березы, березы для лущеной фанеры, березы со свилеватой (узорчатой) древесиной.

Описаны работы А.С. Яблокова, позволившие выделить в Подмосковье три группы морфологических форм березы повислой: ромбовиднотрещиноватую, гладкокорую и грубокорую. Проанализированы работы российских ученых в Брянской, Московской и Костромской областях, Марийской АССР, на Южном Урале и в Зауралье, позволившие провести детальную классификацию форм березы повислой по коре и начать селекционную работу по размножению ценных форм.

Изложены итоги селекционной инвентаризации и отбора плюсовых деревьев и плюсовых насаждений, аттестации лесосеменных участков и лесосеменных плантаций березы повислой в России, созданных с целью получения семян грубокорых форм с различной степенью волнистости и свилеватости древесины. Для выяснения наследования формового разнообразия березы повислой по коре А.Я Любавской был проведен гибридологический анализ с последующим учетом потомства по данному признаку. В статье представлен проведенный нами анализ 60-летнего гибридного потомства, полученного в результате скрещивания гладкокорой и грубокорой форм березы повислой. Даны рекомендации по отбору и дальнейшему использованию различных ее форм.

Ключевые слова: береза повислая, гибридизация, грубокорая форма, текстура древесины, селекционная инвентаризация, плюсовые деревья.

Среди отечественных древесных пород береза повислая (*Betula pendula* Roth.) занимает особое место. Ее ареал охватывает обширную территорию всей лесной зоны Европы, Западной и Центральной Сибири. Северная граница его достигает на Кольском полуострове 69° северной широты, далее проходит по берегам Белого моря до границы лесотундры, на юге – до степной зоны. Кроме этого, береза повислая встречается в Крыму и на Кавказе. Восточная граница ее ареала проходит по Байкалу и бассейну реки Лены.

Береза повислая является важнейшим образователем березовых формаций в лесах нашей страны. Это дерево – одно из самых быстрорастущих отечественных лесообразующих пород. Древесина березы без ядра, крепкая, упругая, среднетвердая, белая с желтоватым или розовым оттенком, хорошо полируется, ее удельный вес 0,63–0,64 г/см^3. Она находит широкое применение как доска столярная, в производстве лыж и мебели. Первые работы по хозяйственной оценке, отбору и выращиванию фанерной березы в нашей стране относятся к 30-м годам прошлого столетия. Использование древесины березы в самолетостроении поставило перед лесоводами задачу по определению запаса березняков и их качества.

В 1943 г. М.Е. Ткаченко [1] обратил внимание на необходимость изучения хозяйственной ценности и деловых качеств стволов березы и коррелирующих с ними цвета и трещиноватости коры.

С 1950 г. началась масштабная инвентаризация березняков страны [2–8]. Была изучена внутривидовая изменчивость березы повислой и пушистой по цвету коры, толщине и строению корки. Изучение формового состава березы повислой и пушистой показало, что для березы повислой характерным формообразующим признаком является высота поднятия корки по стволу, а у березы пушистой – цвет.

А.С. Яблоков [2], анализируя опыт лесных селекционеров Швеции и Финлян-

дии, указал на то, что в этих странах произошел коренной перелом в лесоводственной оценке березы и проведена большая работа по изучению ее формового разнообразия. В этих странах были выделены формы берез с узорчатой и равнослойной древесиной:

- береза с древесиной, напоминающей узоры льда (ice birch);
- коричневая свилеватая косослойная береза (brown curly grained birch);
- пламенная береза (flaimy birch);
- твердая глянцевая береза (hard glossy birch);
- мягкая глянцевая береза (soft glossy birch).

В 1962 г. Э. Ромедер и Г. Шенбах [9] опубликовали результаты исследований немецких лесоводов, которые выявили у березы повислой взаимосвязь между строением коры и текстурой древесины. Они делят березы по строению древесины на три типа, по которым следует отбирать деревья для семенных плантаций:

- пиловочные березы (прямоствольные, тонкосуковатые, имеющие деловой ствол до вершины, быстрорастущие);
- березы для лущеной фанеры (кроме показателей, предъявляемых к пиловочным березам, требуется еще гладкая кора без продольных трещин и невыделяющимся комлем);
- березы со свилеватой (узорчатой) древесиной (грубая кора указывает на узорчатость древесины)

А.С. Яблоковым [2] в лесах Подмосковья было выделено три группы морфологических форм березы повислой:

- Ромбовидно-трещиноватая. Стволы деревьев стройные, полнодревесные, хорошо очищены от мертвых сучьев, с белой берестой. Грубая кора с глубокими трещинами в виде ромбов темного цвета поднимается невысоко и на высоте 1,5–2 м начинает преобладать беловато-серая, с ромбовидными темными трещинами буроватого цвета продольного направления. Эта форма отличается быстрым ростом и древесиной высоких качеств.
- Гладкокорая. Стволы деревьев стройные, слабосбежистые, хорошо очищенные от сучьев. Гладкая серая кора, без трещин, спускается почти до земли. Лишь до высоты 0,4–0,6 м имеются неглубокие продольные трещины. По быстроте роста незначительно уступает деревьям с ромбовидно-трещиноватой корой. Древесина прямослойная, довольно прочная, хорошо обрабатывается и ценится в производстве фанеры.
- Грубокорая. Стволы сильносбежистые, часто неправильной формы, с изгибами. В комлевой части имеется груботрещиноватая толстая корка, поднимается по стволу от 2 до 8 м. Древесина деревьев этого типа отличается вязкостью, имеет красивую волнисто-свилеватую текстуру, очень твердая, трудно колется. Деревья этой формы растут медленно.

Н.Б. Гроздова [3–5] в Брянской, Московской и Костромской областях выделила шесть форм березы повислой по коре: ромбовиднотрещиноватую, груботрещиноватую, продольно-трещиноватую, серокорую, слоистокорую, шероховатокорую.

В Зауралье А.К. Махнев [6–8] выделил ромбовиднотрещиноватую, груботрещиноватую, слоистокорую и серотрещиноватую формы.

В.К. Попов [10] выделил 4 группы деревьев по цвету коры в центральной лесостепи России: белокорые, серокорые, бронзовокорые и темнокорые. Отмечая генетическую обусловленность признака, автор отмечает, что белый цвет коры доминирует на относительно бедных, умеренно богатых свежих и влажных почвах в условиях простых и сложных суборей, где количество белокорых особей составляет 47,5 – 96,9 %, а серокорых – от 13,1 до 70,4 %. На более богатых умеренно увлажненных почвах в дубравных условиях преобладают серокорые деревья – от 53 до 66,9 %. На избыточно увлажненных, относительно бедных и богатых почвах больше темнокорых деревьев. Чаще в насаждениях встречаются белокорые и серокорые особи, количество бронзовокрых и темнокорых деревьев на пробных площадях колеблется от 0,0 до 6,3 %. По типу трещиноватости коры В.К. Попов выделил 12 форм: гладкокорая, бумажнокорая, шероховатокорая, ромбовиднотре-

щиноватая, мелкоромбовиднотрещиноватая, слоистотрещиноватая, продольнотрещиноватая, волнистотрещиноватая, мелкотрещиноватая, штриховиднотрещиноватая, пробковокорая, груботрещиноватая.

В.Ф. Коноваловым [11, 12] было изучено формовое разнообразие березняков в Марийской АССР, Московской области и на Южном Урале. Им было показано, что среднее значение высот березняков варьирует в зависимости от их формового состава. Сеянцы ромбовиднотрещиноватых и гладкокорых форм обладают повышенной энергией линейного роста, которая сохраняется с возрастом. На это указывали ранее многие исследователи. Именно эти формы должны быть рекомендованы при селекции на быстроту роста [13, 14]. Эксплутационная зрелость березовых насаждений наступает в 40–60 лет. Селекционная инвентаризация и отбор плюсовых деревьев и насаждений проводится по общим правилам. На 1 января 2012 г. в России по данным ФГУ «Рослесозащита» аттестовано 405 шт. плюсовых деревьев березы повислой (в т.ч. карельской березы), 171 га плюсовых насаждений. На этой базе для снабжения хозяйств высококачественными семенами сформированы ПЛСУ (107 га), а также созданы ЛСП (51 га). Все созданные лесосеменные плантации ориентированы на получение семян, дающих быстрорастущий посадочный материал с последующим выходом высококачественной фанеры.

Медленно растущие грубокорые формы березы повислой часто убираются при рубках ухода, и число их в насаждениях не превышает 3–5 %.

Однако декоративная текстура древесины, приближающаяся по своей красоте к древесине карельской березы, заставила ученых более глубоко изучить это явление.

Так В.Ф. Коноваловым [11] выделено три типа грубокорых форм с различной степенью волнистости и свилеватости древесины, которая диагностируется по высоте поднятия и толщине грубой корки:

I тип – грубокорая правильноборозд-чатая с постепенным переходом корки в зону гладкой коры;

II тип – грубокорая правильноборозд-чатая с резким переходом корки в зону гладкой коры;

III тип – грубокорая неправильноборозд-чатая с постепенным переходом корки в зону гладкой коры.

Изменчивость по внешним морфологическим признакам коррелирует с текстурой древесины и может быть оценена уже с шестилетнего возраста. Им проведен макроскопический и микроскопический (анатомический) анализ древесины этих форм.

Выяснено, что для древесины I типа грубокорых форм характерно наличие равномерно рассеянных полос свилеватости светлой и темной окраски, создающих декоративность древесины.

Древесине II типа грубокорых форм свойственна струйчато-свилеватая текстура, более яркая, чем у древесины I типа.

Для древесины III типа грубокорых форм характерна пятнисто-свилеватая текстура, когда на волнистую текстуру накладываются темные пятна и полосы, придающие древесине этой формы особую декоративность.

Для выяснения наследования формового разнообразия березы повислой по коре был проведен гибридологический анализ с последующим учетом потомства по данному признаку. По данным А.Я. Любавской [15], в семенном потомстве, полученном в 1950 г. в результате скрещивания грубокорых форм с гладкокорыми, доля растений с волнисто-свилеватой древесиной возрастает до 25 %. При скрещивании грубокорой формы с серокорой в F_1 15,5 % грубокорой, 30,1 % серокорой, 19,5 % ромбовиднотрещиноватой, 33,9 % чешуйчатокорой, 1 % слоистокорой форм.

Нами в 2014 г. проведен анализ 60-летних культур березы повислой, полученных в результате скрещивания в 1950 г. грубокорой и гладкокорой форм березы повислой. Было выделено 4 группы деревьев по цвету и трещиноватости коры: гладкокорые (рис. 1), серокорые (рис. 2), ромбовиднотрещиноватые (рис. 3) и грубокорые (рис. 4, 5) с толстой грубой корой (рис. 6). Таксационные показатели сибсов и соотношения форм представлены в табл. 1 и 2.

Рис. 1. Гладкокорая форма березы повислой в культурах п. Строитель Московской области

Рис. 2. Серокорая форма березы повислой в культурах п. Строитель Московской области

Рис. 3. Ромбовидно-трещиноватая форма березы повислой в культурах п. Строитель Московской области

Рис. 4. Грубокорая форма березы повислой в культурах п. Строитель Московской области

Рис. 5. Грубокорая форма березы повислой в культурах п. Строитель Московской области

Рис. 6. Фрагмент ствола с грубой коркой у грубокорой формы березы повислой в культурах п. Строитель Московской области

Таблица 1

Формовое разнообразие и таксационные показатели 60-летних культур березы повислой
Form diversity and inventory indices of 60-year-old cultures of birch

Соотношение форм и таксационные показатели		Формы березы повислой по коре			
		Гладкокорая	Серокорая	Ромбовидно-трещиноватая	Грубокорая
Соотношение форм	шт	32	43	97	114
	%	11,2	15,0	33,9	39,9
H, м	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	21,78±0,71	22,33±0,44	22,11±0,29	22,04±0,23
	S^2	16,56	8,32	8,18	5,99
	S	4,07	2,88	2,86	2,45
	S %	12,71	12,92	12,93	11,12
D, см	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	35,63±1,74	39,61±1,29	39,81±0,91	40,88±0,89
	S^2	96,82	71,05	81,1	91,93
	S	9,84	8,43	9,01	9,59
	S %	27,62	21,29	22,62	23,46
H коры, м	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	0,51±0,044	0,99±0,071	0,88±0,037	0,97±0,042
	S^2	0,062	0,22	0,13	0,21
	S	0,25	0,47	0,37	0,46
	S %	48,83	46,75	41,86	46,7

Наши исследования показали, что при селекции березы повислой по коре в гибридном потомстве происходит значительное увеличение грубокорых форм (39,9 %), обладающих волнистой текстурой древесины.

Анализ таксационных показателей (высоты, диаметра, высоты поднятия корки) показал, что отличие наблюдается между гладкокорой и серокорой формой по высоте поднятия корки, отличие достоверно – t_d = 5,77 на 0,1 % уровне значимости (табл. 2).

Таблица 2

Отличие таксационных показателей форм березы повислой
Unlike forest indices forms birch

Коэффициент достоверности Стьюдента (t_d)			
Формы	Н, м	*D*, см	*H* коры, м
Гладкокорая – Серокорая	0,65	1,84	5,77
Гладкокорая – Ромбовиднотрещиноватая	0,43	2,13	6,27
Гладкокорая – Грубокорая	0,34	2,68	7,50
Серокорая – Ромбовиднотрещиноватая	0,40	0,13	1,49
Серокорая – Грубокорая	0,59	0,81	0,26
Ромбовиднотрещиватая – Грубокорая	0,21	0,83	1,74

Таблица 3

Таксационные показатели различных форм березы повислой к 60-ти годам
Inventory indices of various forms of birch to 60 years

Формы березы повислой	Минимальные, максимальные и средние значения								
	H, м			*D*, см			*H*, м поднятия корки		
	min	*max*	$\bar{X}$	*min*	*max*	$\bar{X}$	*min*	*max*	$\bar{X}$
Гладкокорая	17	35	21,8	16	52	36	0,15	1,26	0,51
Серокорая	17	35	22,3	16	52	39,6	0,2	1,76	0,996
Ромбовиднотрещиноватая	17	37	22,11	18	52	40	1,15	1,85	0,88
Грубокорая	18	28	22	12	70	40,9	0,3	2,1	0,97

Также на высоком уровне значимости достоверно отличие по диаметру и высоте поднятия корки между гладкокорой и ромбовиднотрещиноватой формой, между гладкокорой и грубокорой формами – t_d = от 2,13 до 7,5 (табл. 2). Отличие по высоте ствола между всеми обследованными формами березы повислой недостоверно. Отличие форм серокорой и ромбовиднотрещиноватой, серокорой и грубокорой, ромбовиднотрещиноватой и грубокорой недостоверно. Таксационные показатели к 60-ти годам различных форм березы повислой практически выравниваются, хотя у грубокорых форм диаметр несколько больше, а высота меньше (табл. 3)

К настоящему времени были проведены более глубокие генетические исследования полиморфизма березы повислой по коре. Изоферментный и иммунохимический анализы позволили сгруппировать их в 2-е группы: трещиноватые и гладкокорые. У первой группы наблюдается тенденция к наиболее высокому белковому полиморфизму – выявлено до 21 аллелей, в то время как вторая группа характеризуется более низкой белковой гетерогенностью – отмечено до 11 аллелей [16].

Таким образом, при проведении селекционной инвентаризации березняков необходимо отбирать плюсовые деревья и насаждения не только быстрорастущие (ромбовиднотрещиноватые и гладкокорые), но и грубокорые с декоративной текстурой древесины. А при проведении внутривидовых скрещиваний необходимо подобрать родительские пары, дающие высокую общую комбинационную способность (ОКС) в потомстве на быстроту роста или низкую ОКС, для получения декоративной древесины, и дифференцированно их выращивать.

Библиографический список

1. Ткаченко, М.Е. Рационализация лесного хозяйства на Урале в связи с обороной страны / М.Е Ткаченко. – Свердловск, 1943. – 104 с.
2. Яблоков, А.С. Селекция древесных пород / А.С. Яблоков. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 305 с.
3. Гроздова, Н.Б. Пособие для таксаторов, лесоводов и студентов при определении различных форм березы в смешанных лесах лесной зоны Европейской части СССР. / Н.Б Гроздова. – Брянск, 1957. – 120 с.
4. Гроздова Н.Б. Береза – / Н.Б. Гроздова. М.: Лесн. Пром-сть, 1979.–78 с.
5. Гроздова, Н.Б Формовое разнообразие березы бородавчатой и пушистой в Центральной полосе европейской части СССР / Н.Б. Гроздова: дис. … канд. с.-х. наук. – 1961. – 23 с.

6. Махнев, А.К. Внутривидовая изменчивость и ценные для селекции формы берез Урала./А.К. Махнев // Лесная генетика селекция и семеноводство. Сб. научн. статей. – Петрозаводск, 1976. – С. 32–33.
7. Махнев, А.К. О внутривидовой изменчивости и популяционной структуре белых берез на Урале/ А.К. Махнев. // Экология и физиология основных лесообразующих видов Урала. – Свердловск,1986. – С. 3–14.
8. Махнев, А.К. Внутривидовая изменчивость и популяционная структура берез секции *Alba* и *Nana* / А.К. Махнев. – М.: Наука, 1987. – 129 с.
9. Ромедер, Э. Г. Генетика и селекция лесных пород / Э. Ромедер, Г. Шенбах – М.: Сельхозгиз, 1962. – 266 с.
10. Попов, В.К. Березовые леса Центральной лесостепи России: – Монография. / В.К. Попов – Воронеж: Из-во ВГУ, 2003. – 424 с.
11. Коновалов, В.Ф. Селекция грубокорых форм березы повислой на декоративность древесины / В.Ф. Коновалов: дисс…. канд. с.-х. наук. – Москва, 1984. – 18 с.
12. Коновалов, В.Ф. Селекция и разведение березы повислой на Южном Урале. Монография. / В.Ф. Коновалов. – М.: МГУЛ, 2002. – 299 с.
13. Махнев, А.К. Формы березы в лесах Припышминского Зауралья и их таксационно-морфологическая характеристика / А.К. Махнев // Внутривидовая изменчивость древесных растений. – Уфа, – 1965. – Вып. 48. – С. 54–56.
14. Чубанов, К.Д. Изучение форм березы бородавчатой и пушистой Северной части БССР/ К.Д. Чубанов: дис. … канд. биол. наук. – Минск, 1969. – 35 с.
15. Любавская, А.Я Лесная селекция и генетика. Учебник для вузов / А.Я Любавская. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 288 с.
16. Клещеева, Е.В. Индивидуальная изменчивость березы повислой по формам трещиноватости коры в ЦЧО / Е.В. Клещеева: дисс. … канд. с.-х. наук. – Воронеж, 2007. – 18 с.

HYBRIDOLOGICAL ANALYSIS SIBSOV BIRCHES POVISLY OF BARK

S.P. Pogiba, Candidate of Agricultural Sciences, Department of Plant Breeding, Genetics and Dendrology, MFSU, E.V. Kazantseva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Plant Breeding, Genetics and Dendrology, MFSU

s.pogiba@mail.ru, *kazantseva@mgul.ac.ru*
Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

The article briefly describes the habitat, biological and technical features, silvicultural and economic values of one of the main forest-forming breeds – of Betula pendula. The history and purpose of economic valuation study of intraspecific variation of birch by the color of bark, thickness and structure of the bark, and also selection and cultivation of birch plywood in Russia.

Analysed experiences of forestry assessment birch, explore its diversity of bark. Marked the work of scientists from Germany, Sweden, Finland, who first detected in birch bark relationship between the structure and texture of the wood allowed to allocate birch for sawing, birch plywood, birch trees with colorful (patterned) wood. Described work A.S. Yablokov will highlight in Moscow three groups of morphological forms of birch: rombovidnotreschinovatuyu, gladkokoruyu and grubokoruyu. Analyzed the work of Russian scientists in the Bryansk, Moscow and Kostroma regions, Mari ASSR, in the southern Urals and TRANS-Urals, which allowed to conduct a detailed classification of the forms of birch bark and start breeding of valuable forms.

Presents the results of the inventory of breeding and selection of plus trees and pljusovye forest, certification of forest seed plots and seed orchards of silver birch in Russia, created in order to obtain seeds grubokoryh forms with varying degrees of undulation and irregular grain of the wood. To clarify the inheritance of form diversity of birch bark A.Y. Lubawskie was held hybridological analysis with subsequent accounting offspring for this topic.

The article presents our analysis of 60-year-old hybrid offspring resulting from the cross gladkokoroy and grubokoroy forms birch povisly. Recommendations for the selection and further use of its various forms.

Keywords: Birch povisly, hybridization, grubokoraya form, wood grain, breeding inventory, plus trees.

References

1. Tkachenko, M.E. *Racionalizaciya lesnogo hozyaistva na Urale v svyazi s oboronoi strany* [Ratsionalization of forestry in the Urals in connection with defense of the country]. Sverdlovsk, 1943. 104 p.
2. Yablokov, A.S. *Celekciya drevesnyh porod*. [Selektion of tree species]. Moscow, Selkhozizdat, 1962. – 305 p.
3. Grozdova, N.B. *Posobie dlya taksatorov*, *lesovodov i studentov pri opredelenii razlichnyh form berezy v smeshannyh lesah lesnoi zony Evropeiskoi chasti SSSR*. [Posobiye for claimsmen, forestry specialists and students at definition of various forms of a birch in the mixed woods of *a* forest zone of the European part of the USSR]. Bryansk, 1957. 120 p.
4. Grozdova, N.B. *Bereza*. [Birch]. Moscow, Lesn. Prom-st, 1979, 78 p.
5. Grozdova, N.B *Formovoe raznoobrazie berezy borodavchatoi i pushistoi v Central'noi polose evropeiskoi chasti SSSR*. Diss. … kand. s.– h. nauk. [A shaped variety of a birch warty and fluffy in the Central strip of the European part of SSSR]. 1961.23p.
6. Mahnev, A.K *Vnutrividovaya izmenchivost' i cennye dlya selekcii formy berez Urala*. *Lesnaya genetika*, *selekciya i semenovodstvo*. *Sb*. *nauchn*. *statei*. [Intraspecific variability and forms of birches valuable to selection Urala]. (Forest genetics selection and seed farming. Collec. of scien. art). Petrozavodsk, 1976. pp.32-33.

7. Mahnev, A.K. O *vnutrividovoi izmenchivosti i populyacionnoi strukture belyh berez na Urale.Ekologiya i fiziologiya osnovnyh lesoobrazuyushih vidov Urala*. [*About intraspecific variability and population structure of silver birches on Urals*].(Ecology and physiology of the main forest forming types of Ural). Sverdlovsk, 1986. pp. 3-14.
8. Mahnev, A.K. Vnutrividovaya izmenchivost' i populyacionnaya struktura berez sekcii Alba *I* Nana. [Intraspecific variability and population structure of birches *of the section* Alba *and* Nana]. Moscow, Science, 1987. 129 p.
9. Romeder, E. *Genetika i selekciya lesnyh porod* /E.Romeder, G.Shenbah [Genetics and selection of forest breeds] Moscow, Selkhozgiz, 1962. 266 p.
10. Popov, V.K. *Berezovye lesa Central'noi lesostepi Rossii*: – Monografiya. [Birch woods of the Central forest-steppe of Russia. Monograph.]. Voronezh, VGU publ., 2003. 424 p.
11. Konovalov, V.F. *Selekciya grubokoryh form berezy povisloi na dekorativnost' drevesiny*. Diss. ... kand. s.– h. nauk. [Selection of grubokory forms of a birch of povisly on decorative effect of wood. Cand. agricult. sci. diss .] Moscow, 1984. 18 p.
12. Konovalov, V.F. *Selekciya i razvedenie berezy povisloi na Yuzhnom Urale*. Monografiya. [Selection and cultivation of a birch povisly in South Ural. Monograph.] Moscow, MGUL 2002. 299 p.
13. Mahnev, A.K. *Formy berezy v lesah Pripyshminskogo Zaural'ya i ih taksacionno-morfologicheskaya harakteristika // Vnutrividovaya izmenchivost' drevesnyh rastenii*. [*Birch forms in the woods of Pripyshminsky Zauralye and their taksatsionno-morphological* characteristic]. (Intraspecific variability of wood plants). Ufa, 1965. no 48 pp. 54-56.
14. Chubanov, K.D. *Izuchenie form berezy borodavchatoi i pushistoi Severnoi chasti BSSR*/ K.D. Chubanov: dis. … kand. biol. nauk. [Studying of forms of a birch warty and fluffy Northern part of BSSR. Cand. boil. sci. diss]. Minsk, 1969. – 35 p.
15. Lyubavskaya, A.Ya. *Lesnaya selekciya i genetika*. Uchebnik dlya vuzov. [Forest selection and genetics. The textbook for higher education institutions]. Moscow, Forest industry. 1982. 288p.
16. Klesheeva, E.V. *Individual'naya izmenchivost' berezy povisloi po formam treshinovatosti kory v CChO*. Diss. … kand. s.-h. nauk. [Individualnaya variability of a birch povisly in forms of a treshchinovatost of bark in Ts.Ch.O. Cand. agricult. sci. diss.]. Voronezh, 2007, 18 p.

УСТОЙЧИВОСТЬ И ДИНАМИКА ЕЛОВЫХ И ЛИПОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОДМОСКОВЬЯ

С.А. КОРОТКОВ, *доц. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ, канд. биол. наук*,
Л.В. СТОНОЖЕНКО, *доц. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ, канд. с.-х. наук*,
Е.В. ЕРАСОВА, *студент факультета лесного хозяйства МГУЛ*,
С.К. ИВАНОВ, *асс. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ*

korsar-71*@newmail.ru*, *stonozhenko@mgul.ac.ru*
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Показана динамика лесистости Московской области более чем за 300-летний период. Интенсивные рубки в 20–40-е годы XX в. привели к снижению лесистости области до 21 % в 1938 г. и образованию к 1949 г. 173 тыс.га не покрытых лесом лесных земель. С 50-х по 90-е гг. XX в. количественные показатели состояния лесов Московской области улучшились. Отмечен ряд особенностей антропогенного воздействия на леса Подмосковья. Дополнительным фактором интенсивного воздействия на подмосковные леса может стать строительство центральной кольцевой автомобильной дороги (ЦКАД). При современном уровне антропогенного воздействия на леса Московской области невозможно опираться на классически установленные возрасты естественной спелости. Подход к установлению возраста естественной спелости должен быть достаточно гибким. Рассмотрены проблемы устойчивости ельников на фоне засухи 2010 г. Оценка устойчивости проводилась по ранговой структуре насаждений. Ранговая структура древостоя оценивалась с использованием методических положений Н.В. Третьякова, К.К. Высоцкого. Одним из показателей строения древостоя служил $\Delta D_{отн}$. *Еловые древостои с низким показателем* $\Delta D_{отн}$ *усохли первыми, но и другие спелые чистые ельники оказались неспособны в настоящее время противостоять катастрофической вспышке массового размножения короеда-типографа на фоне ослабления от засухи. Показано, что засушливая погода 2010 г. оказалась критической для большинства спелых и перестойных ельников Подмосковья. Это подтверждает меньшую устойчивость однородных систем. Отмечена возможность формирования липовых сообществ в богатых условиях местопроизрастания.*

Ключевые слова: динамика лесистости, еловые леса, северо-восточное Подмосковье, ранговая структура древостоя, возобновление липы.

Леса – достаточно динамичный компонент природных систем. Их рост и развитие происходит под воздействием комплекса природных и антропогенных факторов. Оценка состояния и динамики лесов может проводиться на региональном и ландшафтном уровнях. Мозаика лесных массивов складывается из динамики лесных биоценозов.

Зональной растительностью большей части области являются хвойно-широколиственные и широколиственно-хвойные леса с характерным для естественных лесов смешанным

Таблица 1

Лесообразующие породы Московской области
Tree species of the Moscow Region

Порода	Площадь, %	
	Конец XIX в.	2010 г.
Сосна	18	20
Ель	30	24,9
Береза	25	39,5
Осина	21	8,6
Прочие породы	6	7
Всего	100	100

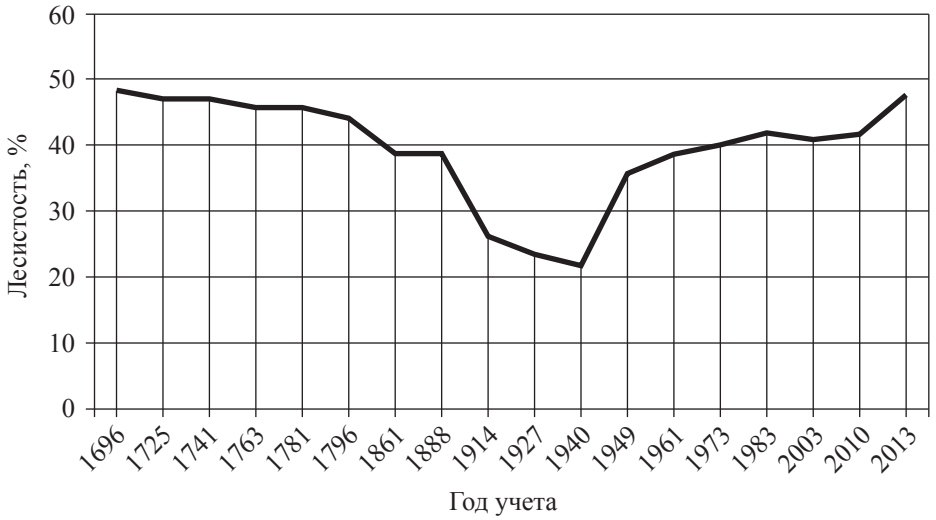


Рис. 1. Динамика лесистости Московской области
Fig. 1. Dynamics forestation Moscow region

составом древостоя, хорошо развитым подлеском, участием в травяном покрове элементов флоры, типичных для смешанных и таежных лесов. Но в результате интенсивной обработки этих земель, начиная с периода первого их освоения, значительная часть их замещена производными лесами из березы и осины.

Лесистость Московской области постепенно снижалась на всем протяжении XVIII и XIX вв., но в конце XIX – начале XX вв. уничтожение лесов приняло угрожающий характер (рис. 1) [5, 8–10, 14]. Основные причины две: необходимость земель для ведения сельского хозяйства и потребность в древесине для развивающейся промышленности. Отразилась интенсификация хозяйственной деятельности в лесу, в первую очередь сплошных рубок, и на породном составе лесов – доля лиственных возросла: хвойные и дубовые высокоствольники сменялись корнеотпрысковыми осинниками и порослевыми березняками.

Существенным фактором влияния на состояние лесов стало строительство железных дорог. Значительное количество деловой древесины требовалось для шпал, телеграфных столбов, станционных и служебных построек, а затем огромных количеств дровяного топлива (в период первой мировой и гражданских войн пришлось вновь вернуться к использованию дров). Прокладка железнодорожных линий стимулировала более интенсивное воздействие на прилегающие к ним леса.

В 1917–1923 гг. в Московской области были вырублены леса на площади 268 тыс. га, а в 1920 и 1921 гг. уничтожены пожарами еще 50 тыс. га. К 1927 г. площадь насаждений хвойных и широколиственных пород сократилось с 51 % (1910) до 33 %, а мягколиственных (березы и осины) увеличилось с 49 % до 67 % [8].

Интенсивные рубки в 20–40-е гг. XX в. привели к снижению лесистости области до 21 % в 1938 г. и образованию к 1949 г. 173 тыс.га не покрытых лесом лесных земель, уменьшению в 2,4 раза площади спелых насаждений и сокращению на 22 % среднего запаса насаждений (по сравнению с 1927 г.).

С 50-х по 90-е гг. XX в. количественные показатели состояния лесов Московской области улучшилось. Проводилось активное искусственное лесовосстановление. Повысился средний бонитет насаждений, увеличилась средняя полнота, средний прирост вырос с 3,3 до 3,9 м^3/га, а также увеличились площади, занимаемые хвойными породами.

Изменение породного состава в Московской области представлено в табл. 1.

В определенной степени увеличение лесистости связано также с изменением границ области. Так, с 1 июля 2012 г. значительная часть территории Московской области была передана в состав Москвы. Вследствие этого территория Московской области уменьшилась на 144 тыс. га, а население – на 230 тыс. человек.

Несмотря на ограничения и запреты, Москва, по существу, является транзитным городом. Для решения транспортных проблем предусмотрено развитие автомобильных дорог. Дополнительным фактором интенсивного воздействия на подмосковные леса представляется строительство центральной кольцевой автомобильной дороги (ЦКАД). Значительная часть запроектированной автомагистрали затронет земли лесного фонда. Согласно первоначальному маршруту ЦКАД, из 521 км трассы более 200 км проходят по лесным землям. Строительство ЦКАД неизменно повлечет за собой застройку прилегающих зон.

Реализация проекта ЦКАД приведет к дальнейшей урбанизации территории. Риски негативного влияния ЦКАД связаны со:

– снижением лесистости Московской области;

– значительным усилением загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом;

– возрастанием пожарной опасности в лесах;

– снижением в целом устойчивости лесных массивов, примыкающих к автомагистрали;

– опасностью фрагментации лесных территорий;

– распространением инвазионных видов растений;

– проявлением роста негативных экотонных эффектов [6].

Лесосырьевые ресурсы Московской области характеризуются площадью, покрытой лесной растительностью, размером 1841 тыс. га и общим запасом 365,45 млн м^3, в том числе 104,58 млн м^3 спелых и перестойных.

Леса Московской области в настоящее время испытывают сильнейший антропогенный стресс и могут «не доживать» до положенных им возрастов естественной спелости. М.М. Орлов характеризовал естественную спелость как тот возраст, в котором дерево или насаждение переходит в стадию отмирания, он весьма изменчив и трудно определим, так как этот переход по большей части происходит постепенно и незаметно [12]. Н.П. Анучин указывал, что установление возраста естественной спелости леса определяет высший предел, после которого насаждения нецелесообразно оставлять на корню [1].

Возраст рубки еловых древостоев Московской области установлен в VI классе возраста (101–120 лет). Возрасты рубок в лесах Московской области дифференцированы по хозяйствам, преобладающим породам без разделения на классы бонитета. Установление возрастов рубки исключает возможность их изменения в соответствии с особенностями состояния древостоев и экономическими аспектами развития лесного сектора экономики региона [10].

При современном уровне антропогенного воздействия на леса Московской области невозможно опираться на классически установленные возрасты естественной спелости. Очевидно, что подход к установлению возраста естественной спелости должен быть достаточно гибким. Возраст естественной спелости в насаждениях Московской области зависит от очень большого количества факторов (тип леса, уровень антропогенной

Таблица 2

Характеристика пробных площадей
Characteristic plots

№ ППП	Состав	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота общая	Возраст, лет	Запас, м³/га	$\Delta D_{отн}$	Тип леса	Бонитет
Щелковский учебно-опытный лесхоз (2001–2002 г. перечета)									
10 кв. 16	7Е20с1Б	24,4	23,4	0,71	82	415	1,11	Е чер	II
28 кв. 48	10Е	20,3	20,2	0,95	46	452	1,43	Е кис	Ia
100 кв. 32	7Е1Б1Лп10с	20,9	21,7	0,66	47	347	1,25	Е кис	Ia
101 кв.15	7Е20с1Б	28,8	25,6	0,68	93	444	1,06	Е чер	I
103 кв.15	9Е1Б	27,7	28,3	0,6	89	452	0,74	Е чер	I
106 кв. 23	10Е	14,2	15,2	0,97	44	310	1,16	Е кис	I
107 кв.15	9Е1Б	27,8	24,7	0,67	63	420	1,1	Е чер	Ia
110 кв.14	9Е1Б	31,4	24,4	0,65	98	399	0,88	Е чер	II
112 кв.16	9Е10с	27,2	20,9	0,75	67	377	0,98	Е чер	II
113 кв.15	7Е2Б10с	26,6	25,8	0,61	88	409	1,34	Е чер	I
115 кв. 28	8Е2Лп	29,5	28,1	0,7	81	521	0,9	Е кис	Ia
116 кв. 18	10Е	28,7	28,3	0,6	73	448	0,95	Е чер	Ia
117 кв. 18	10Е	30,7	24,5	0,93	82	574	0,91	Е чер	I
впп 1 кв. 24	10Е	22,2	22	0,87	45	324	1	Е кис	I
6 кв. 37	10Е+Б	32,6	27,2	0,5	102	247	0,68	Е кис	I
102 кв. 33	10Е	30,1	28,7	0,61	92	323	0,81	Е кис	I
104 кв. 39	9Е1Б	27,5	27,1	0,66	74	594	1,16	Е кис	I
118 кв. 22	6Е4Лп	30,7	24,3	0,64	92	361	1,35	Е кис	II
3 кв. 40	10Е	31,1	30	0,63	100	513	0,85	Е чер	I
НП «Лосиный остров» (2008–2009 гг. перечета)									
30	10Е+С,В	30,9	30,8	0,8	107	480	0,88	Е кис	I
37	10Е+Б,С	41,7	31,6	0,6	113	380	0,89	Е кис	I
	2-яр 10Е	28,3	27,9	0,1	113	70			

Таблица 3

Характеристика постоянных пробных площадей Щелковского учебно-опытного лесхоза
Characteristics of permanent plots Schelkovskogo teaching experienced forestry

№ ППП	Состав	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	$\sum G_{1,3}$, м2/га	Запас, м³/га	$\Delta D_{отн}$	ТУМ
Щелковский учебно-опытный лесхоз (год перечета – 2013)							
100	7Е1Ос1Б1Лп + С, Д, Яс	22,4	24	32,2	366	1,1	C_2
115	6Лп2Б1Д1С+Е	20,7	24,4	4,6	50,5	1,53	C_2
118	9Лп1Е+Д	20,8	24,3	14,9	168,8	1,46	C_2
119	6Лп3Ос1Е+Б	19,6	22,3	34,9	385,3	1,65	C_2
122	4Лп4Ос1Е1Б+Д	18,1	19,3	34,4	333,6	1,46	C_2

нагрузки, наличие вредителей и болезней и др.). Одним из основных критериев возраста естественной спелости в лесах рекреационного назначения является их устойчивость к различным видам внешнего воздействия.

Летом 2010 г. в центральной части Российской Федерации установилась аномально засушливая погода. По данным ФГУ «Рослесозащита» это послужило основной причиной массового размножения короеда-типографа (*Ips typographus* L.). Второй по важности причиной, по-видимому, являлось наличие в насаждениях большого количества буреломной и ветровальной древесины. Общая площадь насаждений, пострадавших от ураганных ветров в 2008–2010 гг., составила 16100,7 га. В конце 2010 г. в ельниках Московской области уже сформировалось более 60 тыс. га очагов стволовых вредителей, а общую площадь куртин погибшей ели

можно оценить приблизительно в 20 тыс. га. Вероятность возникновения новых очагов короеда-типографа остается высокой на четверти миллиона гектаров ельников старше 60 лет [7]. Стволовые вредители и в частности короед-типограф заселяют в первую очередь ослабленные насаждения [11].

Представляется весьма актуальным рассмотрение проблемы устойчивости ельников и поиска показателей, адекватно характеризующих устойчивость, в том числе в динамическом аспекте. Оценка устойчивости проводилась по ранговой структуре насаждений. Ранг дерева достаточно точно определяется через его диаметр. Исследование строения древостоев по диаметрам дает информацию о свойствах этих древостоев, в том числе и об их стабильности. Ранговая структура древостоя оценивалась с использованием методических положений Н.В. Третьякова, К.К. Высоцкого [2, 13]. Одним из показателей строения древостоя служил $\Delta D_{отн}$ [3, 4].

Расчеты показателя $\Delta D_{отн}$ включают:

1. Построение ранжированного ряда по диаметрам от минимального до максимального.

2. Разделение полученного ряда на 10 классов с одинаковым числом деревьев в классе.

3. Определение среднего диаметра каждого класса – Dср(n).

4. Определение относительного диаметра каждого класса – $D_{отн}(n) = D_{ср}(n)/D_{ср}(6)$.

5. $\Delta D_{отн} = D_{отн}(10) - D_{отн}(1)$.

Были подобраны ельники разного возраста. Основными критериями выбора выделов служили состав и полнота (доля ели более 60 %, полнота 0,6 и выше). Закладка постоянных пробных площадей (ППП) проводилась в характерных для Московской области типах еловых лесов (табл. 2).

Данные наблюдений на ППП ЩУОЛХ и НП «Лосиный остров» показывают, что пораженные короедом-типографом в 2010–2011 гг. ельники имеют низкие значения $\Delta D_{отн}$. Так к 2011 г. в ЩУОЛХ частично или полностью подверглись усыханию ППП №№ 103, 107, 110, 115, 117, 118, 6, 102, 3, а в НП «Лосиный остров» – ППП № 30 и № 37. Из усохших ельников только ППП № 107 ЩУОЛХ имеет высокое значение $\Delta D_{отн}$.

Для оценки возможности использования показателя $\Delta D_{отн}$. как индикатора ослабленного состояния еловых насаждений нами были проведены расчеты достоверности различий средних величин $\Delta D_{отн.}$ усохших ельников и сохранившихся к 2011 г. Оценка проводилась с использованием t-критерия Стъюдента, его расчетное значение (t = 4,48), что превышает табличное значение на принятом уровне значимости.

Процесс усыхания продолжился в 2012 г. и затронул все спелые ельники на наблюдаемых пробных площадях в ЩУОЛХ. К настоящему времени не пострадали только насаждения ППП № 28, 100, 106, ВПП № 1, на ППП № 6 сохранился второй ярус, однако данный древостой был отведен под сплошную санитарную рубку. Таким образом, еловые древостои с низким показателем $\Delta D_{отн}$ усохли первыми, но и другие спелые чистые ельники оказались неспособны в настоящее время противостоять катастрофической вспышке массового размножения короеда-типографа на фоне ослабления от засухи.

В 2013 г. на пробных площадях с участием липы продолжены наблюдения с целью установления возможности формирования липовых насаждений в условиях Московской области. Заложены новые постоянные пробные площади № 119 и № 122 в лиственных насаждениях со значительной долей участия липы. Характеристика пробных площадей представлена в табл. 3.

ППП № 100 заложена в еловом насаждении с участием липы в 2001 году (рис. 2).

По данным 2013 г. по всем ступеням толщины в древостое преобладает ель, но еловый подрост на данной пробной площади отсутствует. В настоящее время под пологом ели находится большое количество подроста липы – 5360 шт. на 1 га (рис. 3).

ППП № 115 заложена в 2002 г. в еловом насаждении с участием липы (рис. 4).

К 2009 г. на данной ППП происходит отпад деревьев ели низших ступеней толщины, тогда как липовая часть древостоя остается без существенных изменений (рис. 5).

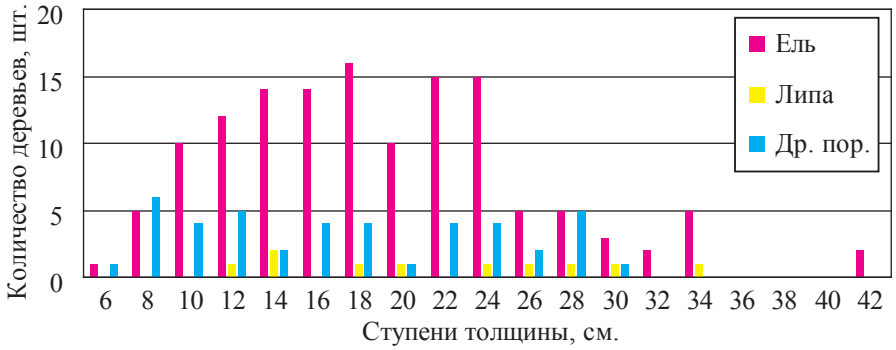


Рис. 2. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 100 в 2001 г.
Fig. 2. Distribution of trees by diameter at SPT number 100 in 2001

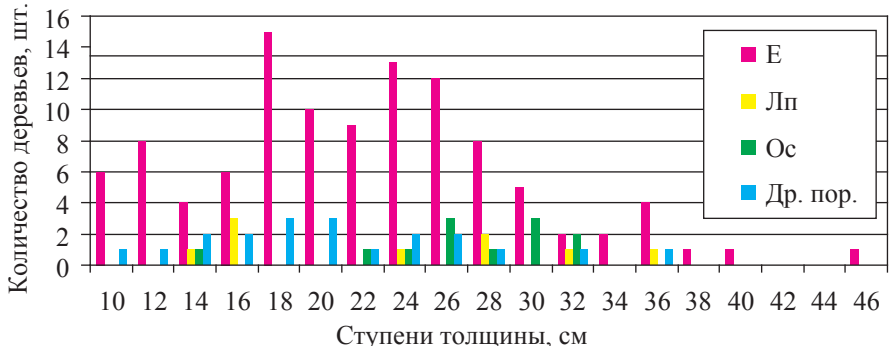


Рис. 3. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 100 в 2013 г.
Fig. 3. Distribution of trees by diameter at SPT number 100 in 2013

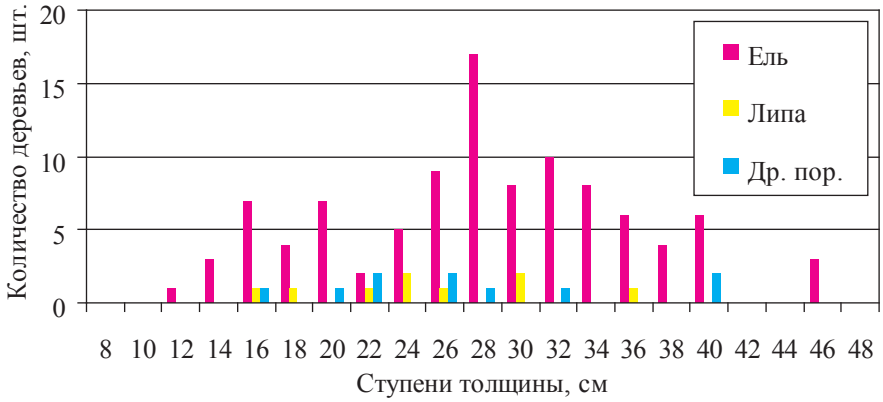


Рис. 4. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 115 в 2002 г.
Fig. 4. Distribution of trees by diameter at SPT number 115 in 2002

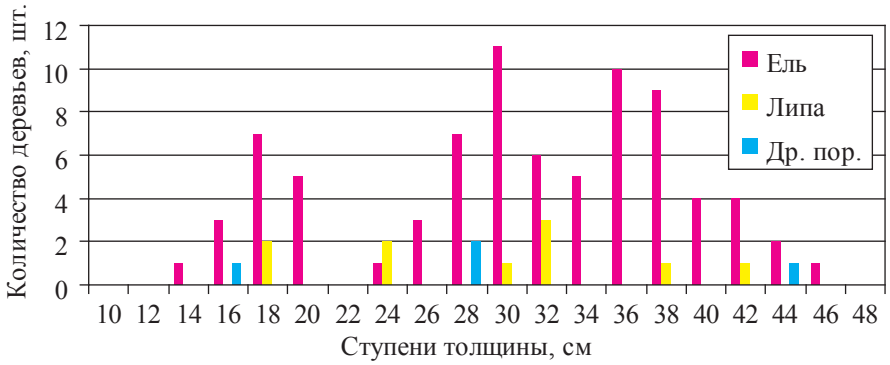


Рис. 5. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 115 в 2009 г.
Fig. 5. Distribution of trees by diameter at SPT number 115 in 2009

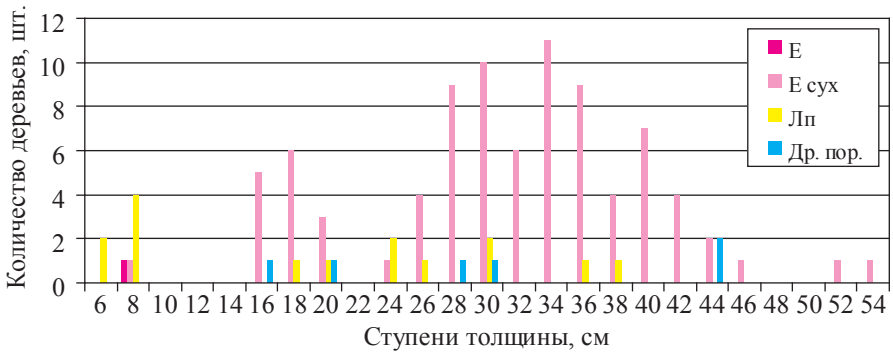


Рис. 6. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 115 в 2013 г.
Fig. 6. Distribution of trees by diameter at SPT number 115 in 2013

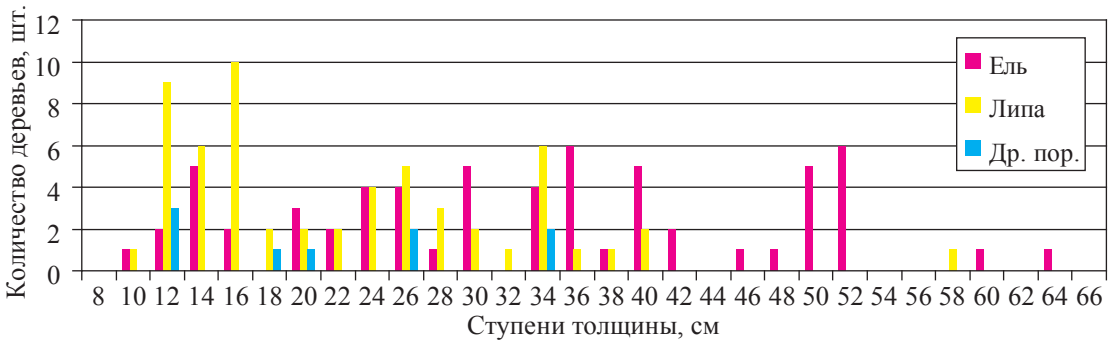


Рис. 7. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 118 в 2002 г.
Fig. 7. Distribution of trees by diameter at SPT number 118 in 2002

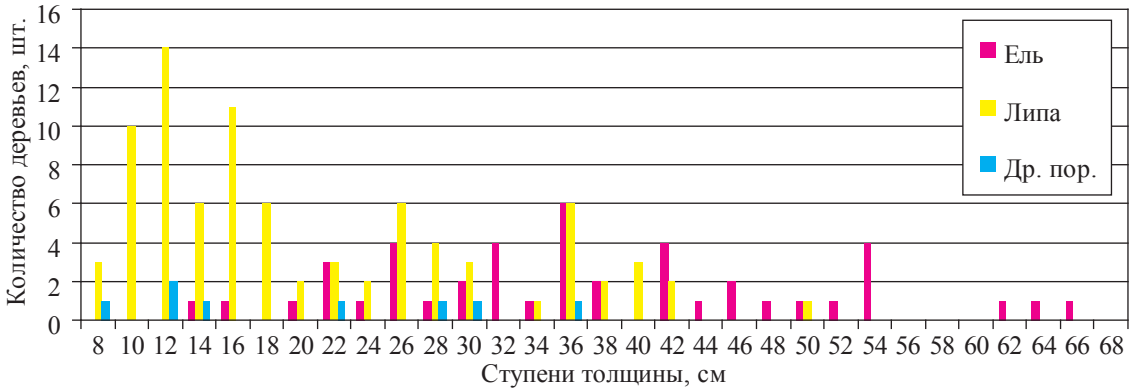


Рис. 8. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 118 в 2009 г.
Fig. 8. Distribution of trees by diameter at SPT number 118 in 2009

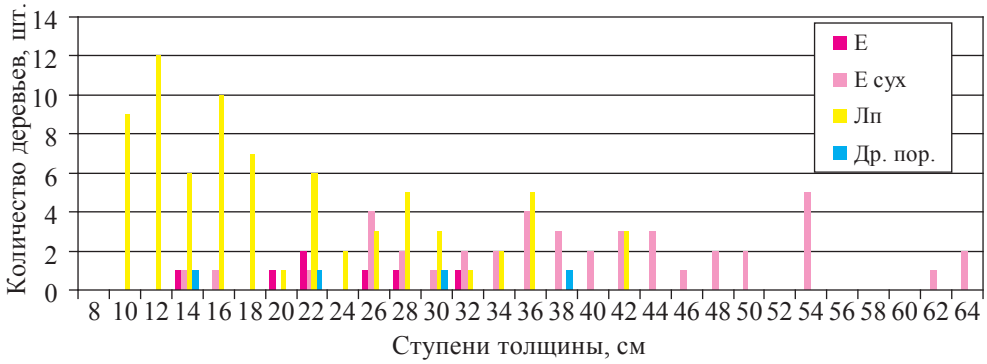


Рис. 9. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 118 в 2013 г.
Fig. 9. Distribution of trees by diameter at SPT number 118 in 2013

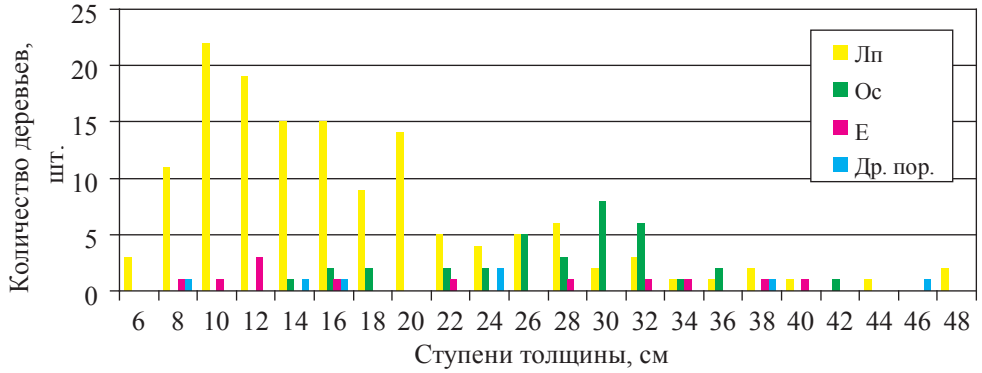


Рис. 10. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 119 в 2013 г.
Fig. 10. Distribution of trees by diameter at SPT number 119 in 2013

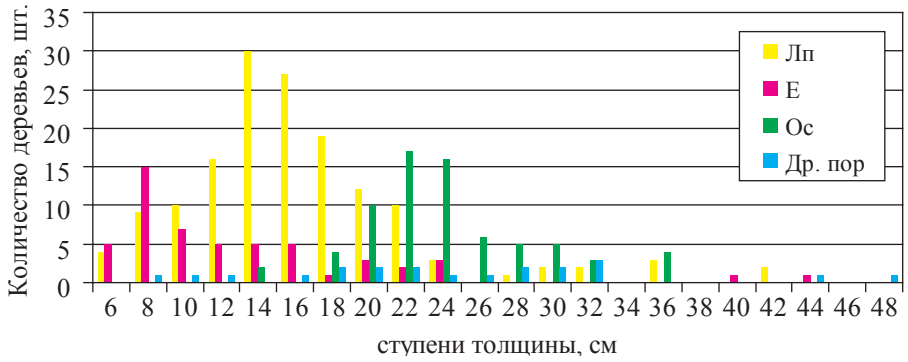


Рис. 11. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП № 122 в 2013 г.
Fig. 11. Distribution of trees by diameter at SPT number 122 in 2013

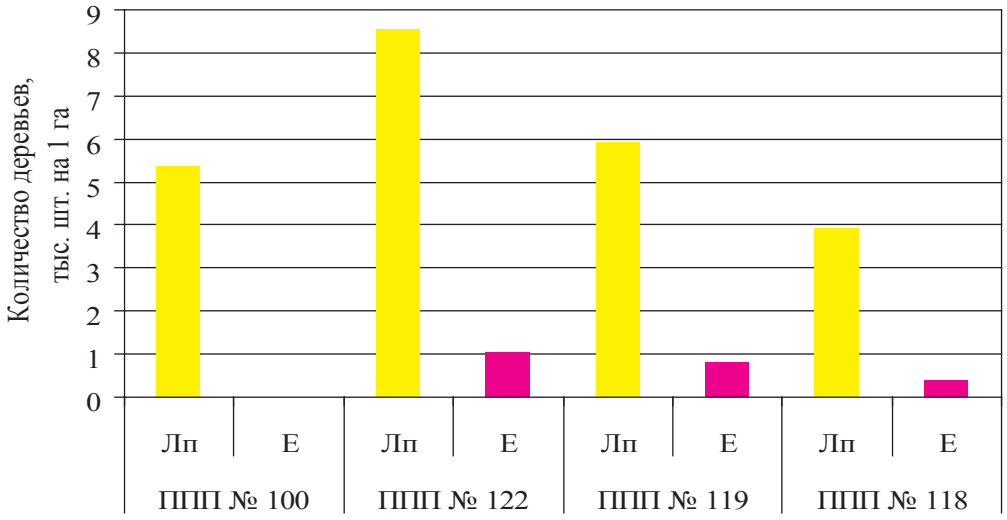


Рис. 12. Количество подроста липы и ели на постоянных пробных площадях
Fig. 12. Number of linden and spruce undergrowth permanent sample plots

К 2013 г. ель полностью выпала. Имеется тенденция образования липового насаждения на месте распавшегося елового (рис. 6).

На ППП 118, заложенной в 2002 г. в еловом насаждении с участием липы, отпад деревьев ели к 2009 г. произошел уже по всем ступеням толщины, в то время как молодые деревья липы перешли из подроста в древостой (рис. 7, 8).

К 2013 г. практически вся еловая часть древостоя выпала и в насаждении стала преобладать липа, которая и в подросте значительно превалирует над елью (подрост липы – 3920 шт./га, подрост ели – 400 шт./га). Отпад ели в древостое на данной ППП может

способствовать формированию чистого липового насаждения (рис. 9).

На ППП № 119 преобладает липа, но в верхнем ярусе доминирует осина и встречается ель. В подросте преобладает липа – 5920 шт./га. Елового подроста – 800 шт./га (рис. 10).

ППП № 122 расположена в лиственном насаждении. В древостое преобладает липа, находясь в стадии перехода из нижних ярусов в верхний ($D_{ср\ Лп}$ = 16,3 см.). Осина формирует собственную структуру в верхнем ярусе ($D_{ср\ Ос}$ = 23,7 см.), а ель из подроста переходит в нижний ярус древостоя ($D_{ср\ Е}$ = 13,3 см.). На данной пробной площади имеется большое количество липового подроста – 8560 шт./га. Подроста ели – 1040 шт./га (рис. 11).

Выводы

1. Исследуемые ельники характеризуются упрощенной структурой.

2. Засушливая погода 2010 г. оказалась критической для большинства спелых и перестойных ельников Подмосковья, что подтверждает меньшую устойчивость однородных систем.

3. Наблюдается тенденция формирования липовых сообществ в богатых условиях местопроизрастания.

Библиографический список

1. Анучин, Н.П. Лесоустройство: учеб. для вузов / Н.П. Анучин. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 568 с.
2. Высоцкий, К.К. Закономерности строения смешанных древостоев / К.К. Высоцкий. – М., 1962. – 178 с.
3. Дробышев, Ю.И. Устойчивость древостоев: структурные аспекты / Ю.И. Дробышев, С.А. Коротков, Д.Е. Румянцев // Лесохоз. информ. – 2003. – № 7. – С. 2–11.
4. Коротков, С.А. К вопросу о регулировании лесопользования в лесах, подверженных интенсивному воздействию человека (на примере ельников Подмосковья) / С.А. Коротков, Л.В. Стоноженко // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: научн. тр. – Вып. 303. – М.: МГУЛ, 200. – С. 132–135.
5. Коротков, С.А. Некоторые проблемы лесопользования Московской области / С.А. Коротков // Лесной экономический вестник. – 1995. – № 2. – С. 20–24.
6. Коротков, С.А., Стоноженко Л.В. Лесопользование в Московском регионе. // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2014. – № 1. – С. 30–37.
7. Крылов, А.М. Мониторинг санитарного состояния ельников Московской области / А.М. Крылов, А.А. Соболев, Н.А. Владимирова // Рациональное использование, охрана, защита и воспроизводство лесных ресурсов // Науч. тр. – Вып. 352. – М.: МГУЛ, 2011. – С. 151–159.
8. Лагунов, П.М., Гусев Е.Н. Динамика лесов Подмосковья. // Лесное хозяйство, 1990. № 8. – С. 51–54.
9. Лесной комплекс Российской Федерации и зарубежных стран: Статистический сборник. – М.: МГУЛ, 2008. – 392 с.
10. Лесной план Московской области. Кн. 1. – М., 2010. – 428 с.
11. Маслов, А.Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов / А.Д. Маслов. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2010. – 138 с.
12. Орлов, М.М. Лесоустройство / М.М. Орлов // Элементы лесного хозяйства. – Т. 1. – Л., 1927. – 428 с.
13. Третьяков, Н.В. Закон единства в строении насаждений / Н.В. Третьяков. – М.–Л.: Новая деревня, 1927. – 114 с.
14. Цветков, М.А. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 г. – М.: АН СССР, 1957. – 214 с.

SUSTAINABILITY AND THE EVOLUTION OF SPRUCE AND LIME FOREST IN NORTH-EAST MOSCOW REGION

Korotkov S.A., assistant professor. Forestry and forest tapping MFSU, PhD. biol. Sciences, Stonozhenko L.V., assistant professor of forest management and forest protection MFSU, PhD. agricultural Sciences, Erasova E.V., a student of forestry MFSU, Ivanov S.K., assistant department of forestry and forest tapping MFSU

korsar-71@newmail.ru, *stonozhenko@mgul.ac.ru*
Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

The evolution of the forest cover in Moscow region during more than a 300-year period has been shown. Intensive logging in 20–40s of XX century led to a decrease in the wooded area to 21 % in 1938 and in 1949 to the formation of 173 000 ha of non-forested forest lands. Starting from 50s to 90s of XX century, quantitative indicators of forests in the Moscow region has improved. A number of features of human impact on forests near Moscow has been emphasized. The construction of the central ring road (Ring Road around Moscow) may become an additional factor of severe influence on Moscow forests. At the present level of human impact on the forests of the Moscow region one cannot rely on classically defined age of natural maturity. The approach to setting the age of natural maturity should be flexible enough. The problems of stability of spruce under the conditions of drought in 2010 have been discussed. The evaluation of the stability of the rank structure stands has been carried out. The rank stand structure has been evaluated by using the techniques developed Tretyakov, Vysotsky. One indicator of the growing structure is Δ Dotn. Spruce stands with low ΔDotn were the first to dry up, moreover, the other maturity

pure spruce stands were not able to withstand the currently catastrophic outbreak of bark beetles due to their weakening after the drought. It is shown that dry weather in 2010 was critical for the majority of mature and over-mature spruce forests near Moscow. This confirms a lower stability of homogeneous systems. The possibility of lime-rich communities formation in site conditions has been emphasized.

Key words: the evolution of forest cover, spruce forests, northeastern areas of Moscow Region, the rank structure of the stand, the regeneration of limes.

References

1. Anuchin N.P. *Lesoustroystvo* [Forest Regulation]. Moscow: Selhozizdat, 1962, 568 p.
2. Vysotskiy K.K. *Zakonomernosti stroenija smeshannyh drevostoev* [Structural Patterns of Mixed Stands]. Moscow, 1962, 178 p.
3. Drobyshev Yu.I., Korotkov S.A., Rumyantsev D.E. *Ustojchivost' drevostoev: strukturnye aspekty* [Stand Sustainability: Structural Aspects]. Lesohoz. Inform, 2003, No. 7. pp. 2-11.
4. Korotkov S.A., Stonozhenko L.V. *K voprosu o regulirovanii lesopol'zovaniya v lesakh, podverzhennykh intensivnomu vozdeystviyu cheloveka (na primere el'nikov Podmoskov'ya)* [The Problem of Forest Management Regulation in the Forests Subject to Intensive Human Impact (for example, spruce forest near Moscow)] *Lesopolzovanie i vosproizvodstvo lesnyh resursov: nauch. tr. No. 303*[Forest Exploitation and Reproduction of Forest Resources: Transactions No. 303]. Moscow: MGUL, 2000, pp. 132-135.
5. Korotkov S.A. *Nekotorye problemy lesopolzovanija Moskovskoj oblasti* [Some Problems of Forest Management in Moscow Region]. *Lesnoj jekonomicheskij vestnik* [Forest Economic Bulletin]. 1995, No. 2. pp. 20 – 24.
6. Korotkov S.A., Stonozhenko L.V. *Lesopol'zovanie v Moskovskom regione* [Forest Management in Moscow Region] *Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel* [Planning, Cadastre and Land Monitoring]. 2014, No. 1, pp. 30-37.
7. Krylov A.M., Sobolev A.A., Vladimirova N.A. *Monitoring sanitarnogo sostojanija elnikov Moskovskoi oblasti* [Monitoring the Health of Spruce Forests of the Moscow Region] *Racionalnoe ispolzovanie, ohrana, zashhita i vosproizvodstvo lesnyh resursov* [Rational Use, Protection and Reproduction of Forest Resources]. *Nauch. tr. 352*. Moscow: MGUL, 2011, pp. 151-159.
8. Lagunov P.M., Gusev E.N. *Dinamika lesov Podmoskovja* [The Evolution of Forest, Near Moscow] lesnoe hozjajstvo [Forestry]. 1990, No.8. pp. 51-54.
9. *Lesnoi kompleks Rossijskoi Federacii i zarubezhnyh stran: Staticheskij sbornik* [Forest Complex of the Russian Federation and Foreign Countries: Statistical Collection of Articles]. Moscow: GOU VPO MGUL, 2008, 392 p.
10. *Lesnoi plan Moskovskoi oblasti* [The Forest plan in Moscow Region]. No. 1. Moscow, 2010, 428 p.
11. Maslov A.D. *Koroed tipograf i usyhanie elovyh lesov* [Bark Beetles and Spruce Sorests Dieback]. Pushkino: VNIILM, 2010, 138 p.
12. Orlov M.M. *Lesoustrojstvo* [Forest Regulation] Jelementy lesnogo hozjajstva [Elements of Forestry].T 1. L, 1927, 428 p.
13. Tret'jakov N.V. *Zakon edinstva v stroenii nasazhdenii* [The Law of Uniformity in the Stand Structure]. Moscow L.: Novaja derevnja, 1927, 114 p.
14. Cvetkov M.A. I*zmenenie lesistosti Evropejskoj Rossii s konca XVII stoletija po 1914 g.* [The Changes in the European Russia's Forest Cover Since the end of the XVII Century up to 1914]. Moscow: USSR ASc, 1957, 214 p.

СВЯЗЬ ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ФИТОЦЕНОЗА С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОДРОСТА ЕЛИ

Н.В. БЕЛЯЕВА, *доц. каф. лесоводства СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, канд. с.-х. наук*,
А.В. ГРЯЗЬКИН, *проф. каф. лесоводства СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, д-р биол. наук*,
О.А. КОВАЛЕВА, *асп. каф. лесоводства СПбГЛТУ им. С.М. Кирова*

*galbel*06*@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

В основе дифференциации биогеоценоза по структурным элементам лежит неоднородность строения автотрофной части фитоценоза. В разных типах леса можно выделить парцеллы, обладающие близкими характеристиками, и в то же время в пределах каждого типа леса имеются парцеллы, которые значительно различаются по характеристикам верхних почвенных горизонтов, по составу и мощности подстилки, по флористическому составу и особенностям распределения живого напочвенного покрова, по комплексу лесоводственных и микроклиматических показателей. Выделение и изучение структуры лесных биогеоценозов на парцеллярном уровне является необходимым условием для познания процессов взаимодействия и взаимовлияния отдельных компонентов внутри растительных сообществ. Цель работы – рассмотреть влияние парцеллярной структуры лесных фитоценозов на структуру подроста под пологом ельников кисличных и черничных. Исследования проводились на постоянных пробных площадях, расположенных на территории экологического стационара в Лисинском участковом лесничестве Ленинградской области. Установлено, что структура подроста ели по высоте и состоянию на парцеллярном уровне различается в большей степени, чем на уровне типов леса, а по возрасту – наоборот, по типу леса различия более выражены. Наибольшее количество жизнеспособного подроста ели отмечается в елово-рябиновой, елово-березовой, елово-черничной, елово-злаковой и елово-разнотравной парцеллах, а наименьшее – в елово-сфагновой и елово-хвощовой парцеллах. На большинстве парцелл преобладает средний по высоте подрост. Существенным образом меняется по парцеллам

доля крупного подроста. В елово-березовой парцелле доля крупного подроста минимальна, в елово-зеленомошной, елово-разнотравной и елово-кисличной – максимальна. Мелкий подрост преобладает в елово-щитовниковой и елово-березовой парцеллах. Оптимальные условия для успешного естественного лесовозобновления складываются в елово-зеленомошной и елово-черничной парцеллах.

Ключевые слова: лесной фитоценоз, парцелла, жизнеспособный, нежизнеспособный и сухой подрост ели, мелкий, средний и крупный подрост ели.

В основе дифференциации биогеоценоза по структурным элементам лежит неоднородность строения автотрофной части фитоценоза. Для еловых древостоев во всех случаях характерна значительная дифференциация по возрасту, высоте и диаметру, это является одной из причин неравномерного строения фитоценоза как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях [1]. За основную единицу горизонтальной структуры лесного фитоценоза принята парцелла. Парцелла – это структурная часть горизонтального расчленения биогеоценоза, отличающаяся от других частей составом и свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена [2, 3].

Цель исследования – рассмотреть влияние парцеллярной структуры лесных фитоценозов на структуру подроста под пологом ельников кисличных и черничных. В разных типах леса можно выделить парцеллы, обладающие близкими характеристиками, и в то же время в пределах каждого типа леса имеются парцеллы, которые значительно различаются по характеристикам верхних почвенных горизонтов, по составу и мощности подстилки, по флористическому составу и особенностям распределения живого напочвенного покрова, по комплексу лесоводственных и микроклиматических показателей. Следовательно, выделение и изучение структуры лесных биогеоценозов на парцеллярном уровне является необходимым условием для познания процессов взаимодействия и взаимовлияния отдельных компонентов внутри растительных сообществ, а также для правильного проектирования и назначения любых хозяйственных мероприятий, проводимых в лесу.

Изучение парцеллярной структуры под пологом леса проводилось в 2011–2012 гг. в ельнике кисличного и черничного типа леса на территории экологического стационара, расположенного в Лисинском участковом лесничестве Ленинградской области на трех секциях А, Б, В. Общие сведения об опытных участках представлены в табл. 1, 2. Для характеристики древостоя применялся метод сплошных перечетов, традиционный для лесоводственных исследовательских работ [4, 5].

Геоботаническое обследование стационарных объектов (секций А, Б, В) осуществлялось по квадратам размером 5 × 5 м, и в каждом из них проводили детальное описание растительности и верхних горизонтов почвы. Названия сосудистых растений приведены по С.К. Черепанову [6], мохообразных – по М.С. Игнатову, О.М. Афониной [7]. Описание почвы проводили по О.Г. Чертову [8].

При определении типов леса пользовались лесотипологической схемой, применяющейся в лесоустройстве и основанной на эдафофитоценотической классификации В.Н. Сукачева [9, 10]. Указанная классификация применяется для идентификации типов леса на пробных площадях на протяжении длительного периода.

По результатам описания живого напочвенного покрова и по комплексу других показателей однородные квадраты объединялись в парцеллы по Н.В. Дылису [2].

Для анализа влияния парцеллярной структуры фитоценоза на структуру и состояние молодого поколения ели был выполнен учет подроста на секциях А, Б, В методом сплошного перечета. Изначально весь опытный участок был разделен на ленты шириной 5 м, которые, в свою очередь, состояли из квадратов размером 5 Ч 5 м. На секции А было заложено всего 244 квадрата, Б – 255, В – 282. Учет подроста выполнен по методике А.В. Грязькина [11].

Жизнеспособность подроста определяли также по методике А.В. Грязькина [1] по величине прироста за последние 3, 5 и 10 лет (Z_3, Z_5, Z_{10}). Подрост считали жизнеспособным, если соотношение абсолютных

Таблица 1

Таксационная характеристика насаждений в 1982 г.
Taxation data plantings in 1982

Показатели	Секция А	Секция Б	Секция В
Состав древостоя	8,6Е0,5Р0,4Б0,2Ол0,2Ив0,1Сед.Ос	9,1Е0,5Б0,3С+Р, Ол, Ив	9,6Е0,3Б0,1С+Ос, Ол, Ив
Возраст, лет	30–260	40–260	40–280
Класс бонитета	II	II	II
Тип леса	Ельник кисличный	Ельник черничный	Ельник кисличный
Высота, м	17,3	17,7	16,6
Диаметр, см	16,9	17,4	17,2
Полнота	0,7	0,7	0,8
Запас, м^3/га	342	340	368

Таблица 2

Таксационная характеристика насаждений в 2011 г.
Taxation data plantings in 2011

Показатели	Секция А	Секция Б	Секция В
Состав древостоя	9,1Е0,9Б ед. П, Ол	7,8Е1,6С0,6Б	6,6Е3,2С0,2 Б
Возраст, лет	90	90	90
Класс бонитета	II	II	II
Тип леса	Ельник кисличный	Ельник черничный	Ельник кисличный
Высота, м	22,4	22,8	16,8
Диаметр, см	24,1	24,7	21,6
Полнота	0,4	0,6	0,3
Запас, м^3/га	204	248	155

значений указанных приростов подчиняется следующему неравенству: $Z_3 > Z_5 > Z_{10}$. При обратных знаках такого неравенства: $Z_3 < Z_5 < Z_{10}$ подрост относили к нежизнеспособному. При прочих вариантах подрост относили к переходному состоянию.

Для установления жизнеспособности подроста использовались и другие количественные и качественные показатели [12]: цвет хвои (насыщенный зеленый цвет – жизнеспособный подрост, желтой хвои более 1/3 – нежизнеспособный); протяженность кроны (до 1/3 – нежизнеспособный подрост, более 1/3 – жизнеспособный); доля сухих ветвей (отсутствуют или единично жизнеспособный подрост, более 1/3 от общего количества – нежизнеспособный).

В соответствии с общепринятыми классификациями и последним нормативным документом [12] подрост делили по высоте на три категории крупности: мелкий до 0,5 м, средний – 0,51–1,5 м и крупный – более 1,5 м.

В изученных ельниках было выделено 85 парцелл, 24 из которых встречаются одновременно на всех пробных площадях и соответственно могут оказывать основное влияние на формирование молодого поколения древесных пород.

Еще 18 разновидностей парцелл было зафиксировано на двух пробных площадях, и они могут оказывать влияние на появление подроста, но оно не столь значительно по сравнению с теми парцеллами, которые встретились на всех пробных площадях. Оставшиеся 43 парцеллы были выделены только на одной из обследованных пробных площадей. Это позволяет предположить, что их формирование связано, в первую очередь, с изменением структуры основного полога (ветровал, появление сухостойных деревьев, интенсивное разрастание подлеска и живого напочвенного покрова), а во-вторую – с микрорельефом, который, в свою очередь, определяется климатическими факторами, например количеством выпавших осадков в учетный период. В целом по данным нашего обследования под пологом ельников зеленомошных можно выделить 12 коренных парцелл, от которых мо-

Таблица 3

Связь между парцеллярной структурой ельников и состоянием подроста ели
Relationship between the structure of spruce forests and partsellyarnoy state spruce

Наименование коренных парцелл	Распределение подроста ели по состоянию						
	жизнеспособный		нежизнеспособный		сухой		Всего, без сухого
	экз./га	%	экз./га	%	экз./га	%	экз./га
Елово-зеленомошная	1089	76	313	22	30	2	1432
Елово-черничная	503	80	113	18	9	1	625
Елово-сфагновая	244	66	116	31	12	3	372
Елово-злаковая	245	80	58	19	2	1	305
Елово-хвощовая	205	68	85	28	13	4	303
Елово-щитовниковая	189	75	59	23	4	2	252
Елово-брусничная	181	74	58	24	4	2	243
Елово-разнотравная	147	80	35	19	2	1	184
Елово-мертвопокровная	148	83	29	16	1	1	178
Елово-кисличная	96	79	21	17	4	3	121
Елово-рябиновая	39	98	1	3	0	0	40
Елово-березовая	13	100	0	0	0	0	13
Всего	3099	–	888	–	81	–	4068

жет образовываться значительное количество производных (в данном случае – 73).

Распределение подроста ели по категориям состояния отличается неоднородностью по парцеллам. Результаты исследований по коренным парцеллам представлены в табл. 3.

Анализ данных табл. 3 показывает, что в целом под пологом древостоев еловый подрост более чем на 70 % представлен категорией состояния – жизнеспособный. Это связано с биолого-экологическими свойствами данной порода и, в первую очередь, ее теневыносливостью. Данную гипотезу подтверждает и тот факт, что в елово-мертвопокровной парцелле доля жизнеспособного подроста составила 83 %.

Наибольшее количество жизнеспособного подроста ели отмечается в елово-рябиновой и елово-березовой коренных парцеллах (98 и 100 % соответственно). На наш взгляд, рябина и береза на данном этапе развития подроста защищает его от вредных биотических и абиотических факторов. По этой же причине велика доля жизнеспособного подроста ели в елово-черничной, елово-злаковой и елово-разнотравной парцеллах (80 %).

Наименьшее количество жизнеспособного подроста ели было установлено в елово-сфагновой и елово-хвощовой парцеллах (66 и 68 % соответственно). В этих же парцеллах было зафиксировано и наибольшее количество сухого подроста ели (3 и 4 % соответственно), что может быть связано, в первую очередь, с условиями местопроизрастания, а именно, повышенной влажностью почвы.

Большое количество сухого подроста ели отмечается также в елово-кисличной парцелле (3 %). В данном случае состояние подроста значительно ухудшается из-за повышенной конкуренции с зелеными мхами.

Результаты исследований влияния парцеллярной структуры фитоценоза на структуру подроста ели по высоте по коренным парцеллам показаны в табл. 4.

Анализ данных, представленных в табл. 4, показывает, что на 9 из 12 коренных парцелл преобладает средний по высоте подрост, его доля колеблется от 29 до 52.

Установлено также, что существенным образом меняется по парцеллам доля крупного подроста, она варьирует от 12 до 32 %. Если в елово-березовой парцелле доля крупного подроста минимальна (12 %), то в елово-зеленомошной, елово-разнотравной и елово-кисличной его доля составляет 29, 32 и 31 % соответственно (табл. 4).

Аналогичная картина складывается и с мелким подростом. Его доля колеблется

Таблица 4

Связь между парцеллярной структурой фитоценоза и структурой подроста по высоте
Relationship between structure partsellyarnoy phytocenosis and undergrowth structure adjustment

Наименование коренных парцелл	Распределение подроста ели по высоте							
	мелкий		средний		крупный		всего	
	экз./га	%	экз./га	%	экз./га	%	экз./га	%
Елово-зеленомошная	398	28	618	43	416	29	1432	100
Елово-черничная	199	32	282	45	144	23	625	100
Елово-сфагновая	128	34	149	40	95	26	372	100
Елово-злаковая	98	32	130	43	77	25	305	100
Елово-хвощовая	118	39	117	39	68	22	303	100
Елово-щитовниковая	103	41	89	35	60	24	252	100
Елово-брусничная	80	33	105	43	58	24	243	100
Елово-разнотравная	57	31	67	37	59	32	184	100
Елово-мертвопокровная	67	38	68	38	43	24	178	100
Елово-кисличная	47	39	35	29	38	31	121	100
Елово-рябиновая	10	24	21	52	9	23	40	100
Елово-березовая	7	51	5	37	2	12	13	100

Таблица 5

Средние характеристики подроста ели на объектах исследования
Average characteristics of spruce at the facilities study

№ п/п	Наименование коренных парцелл	Средние характеристики подроста ели		
		высота, см	возраст, лет	прирост в высоту, см/год
1.	Елово-зеленомошная	150	12,0±0,6	12,39±1,1
2.	Елово-черничная	115	11,2±0,7	10,66±0,8
3.	Елово-сфагновая	106	10,0±2,6	10,54±0,9
4.	Елово-злаковая	150	13,9±3,4	10,65±1,2
5.	Елово-хвощовая	146	12,3±1,9	12,85±2,6
6.	Елово-щитовниковая	124	11,2±1,1	10,98±1,3
7.	Елово-брусничная	131	11,0±0,9	12,02±1,6
8.	Елово-разнотравная	147	11,4±0,7	12,91±1,0
9.	Елово-мертвопокровная	184	11,0±1,2	16,12±4,3
10.	Елово-кисличная	144	12,3±1,5	11,11±1,2
11.	Елово-рябиновая	139	12,1±1,1	9,65±1,6
12.	Елово-березовая	76	8,8±0,3	7,79±0,8

от 29 до 51 %. Мелкий подрост господствует в елово-щитовниковой, елово-кисличной и елово-березовой парцеллах, и его доля составляет 41, 39 и 51 % соответственно.

Следует также подчеркнуть, что доля среднего по высоте подроста в среднем составляет 40 %, крупного – 35 % и мелкого – 25 %. Указанные данные позволяют говорить о законе нормального распределения подроста по категориям высот под пологом древостоя. Кроме того, они свидетельствуют о том, что в насаждениях независимо от парцеллярной структуры постоянно идет процесс естественного возобновления ели, правда, с разной интенсивностью в зависимости от условий местопроизрастания.

При этом на 9 из 12 коренных парцелл и жизнеспособный, и нежизнеспобный подрост ели относится к категории среднего по высоте.

Мелкий жизнеспособный подрост господствует в елово-щитовниковой и елово-березовой парцеллах. Мелкий нежизнеспособный подрост в достаточном количестве был отмечен только в елово-хвощовой и елово-разнотравной парцеллах.

Следует также отметить, что в елово-рябиновой и елово-березовой парцеллах доля

нежизнеспособного почти в 10 раз меньше, чем на остальных участках и не превышает 3 %.

В заключение было исследовано влияние парцеллярной структуры фитоценоза на возрастную структуру подроста ели и его рост. Результаты исследований по данному вопросу по коренным парцеллам представлены в табл. 5.

Анализ данных табл. 5 показывает, что наименьший возраст подроста ели отмечается в елово-березовой парцелле. Данное явление объясняется тем, что подрост березы задерживает появление подроста ели в среднем на 2–3 года. Для этой же парцеллы характерна и самая низкая интенсивность роста молодого поколения ели (8 см/год), что в среднем на 30 % меньше по сравнению со скоростью роста подроста ели на других парцеллах. Аналогичная картина с приростом подроста ели в высоту наблюдается и в елово-рябиновой парцелле. Все вышесказанное свидетельствует о том, что и подрост березы, и рябиновый подлесок угнетают подрост ели.

На остальных парцеллах средний возраст подроста ели и его прирост в высоту колеблются незначительно. Возраст в среднем составляет 11 лет, а прирост – 11,58 см/год. Таким образом, возраст и прирост подроста ели в высоту определяется, в первую очередь, не парцеллярной структурой фитоценоза, а типом леса. В пределах одного типа леса (как в нашем случае) средний возраст и прирост в высоту подроста ели не различается по парцеллам.

Выводы

1. Наибольше количество жизнеспособного подроста ели отмечается в елово-рябиновой, елово-березовой, елово-черничной, елово-злаковой и елово-разнотравной парцеллах (80–100 %), а наименьшее – в елово-сфагновой и елово-хвощовой парцеллах.

2. Наибольшее количество сухого подроста ели было зафиксировано в елово-сфагновой, елово-хвощовой и елово-кисличной парцеллах, сухого подроста нет на многих парцеллах.

3. На большинстве парцелл преобладает средний по высоте подрост.

4. Существенным образом меняется по парцеллам доля крупного подроста. В елово-березовой парцелле доля крупного подроста минимальна, в елово-зеленомошной, елово-разнотравной и елово-кисличной – максимальна.

5. Мелкий подрост преобладает в елово-щитовниковой и елово-березовой парцеллах.

6. В елово-рябиновой и елово-березовой парцеллах доля нежизнеспособного подроста почти в 10 раз меньше, чем на остальных участках, и не превышает 3 %.

7. В целом доля среднего по высоте подроста составляет 40 %, крупного – 35 % и мелкого – 25 %. Указанные данные позволяют говорить о законе нормального распределения подроста по категориям высот под пологом древостоя.

Таким образом, сказанное выше позволяет говорить о зависимости успешности естественного возобновления от парцеллярной структуры фитоценозов. Оптимальные условия для успешного естественного лесовозобновления складываются в елово-зеленомошной и елово-черничной парцеллах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, проект № 2014/181-2220.

Библиографический список

1. Грязькин, А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (на примере ельников Северо-Запада России): монография / А. В. Грязькин. – СПб.: СПбГЛТА, 2001. – 188 с.
2. Дылис, Н.В. Фитоценоз как компонент лесного биогеоценоза / Н.В. Дылис, Ю.Л. Цельникер // В кн.: Основы лесной биогеоценологии. – М., 1964.– С. 91–215.
3. Дылис, Н.В. Структура лесного биогеоценоза / Н. В. Дылис. – М.: Наука, 1969. – 55 с.
4. Давыдов, А.В. Рубки ухода за лесом / А.В. Давыдов. – М.: Лесная пром-сть, 1971. – 184 с.
5. Сеннов, С.Н. Рубки ухода за лесом: монография / С.Н. Сеннов. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 160 с.
6. Черепанов, С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / С.К. Черепанов. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 990 с.
7. Игнатов, М.С. Список мхов территории бывшего СССР / М.С. Игнатов, О.М. Афонина. – Arctoa, 1992. – Т. 1 (1–2). – С. 1–85.

8. Чертов, О.Г. Экология лесных земель / О. Г. Чертов. – Л.: Наука, 1981. – 190 с.
9. Сукачев, В.Н. Методические указания к изучению типов леса / В.Н. Сукачев, В.Н. Зонн. – М.: АН СССР, 1961. – 144 с.
10. Сукачев, В.Н. Основы лесной биогеоценологии / В. Н. Сукачев, С. В. Зонн, Н. В. Дылис и др. – М.: Наука, 1964. – 568 с.
11. Пат. 2084129 Российская Федерация, МКИ С 6 А 01 G 23/00. Способ учета подроста / Грязькин А.В.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургская лесотехническая академия. – № 94022328/13 ; заяв. 10.06.94; опуб. 20.07.97, Бюл. № 20. – 3 с.
12. Правила лесовосстановления : утв. Приказом МПР России 16.07.07.

THE CONNECTION BETWEEN PARCELED PHYTOCENOSIS STRUCTURE AND SPRUCE UNDERGROWTH CHARACTERISTICS

Beliaeva N.V., PhD (Forestry), Assjciate Prof. St.Petersburg State Forest Technical University,
Gryazkin A.V., Dr. (Biology), Prof. St.Petersburg State Forest Technical University,
Kovaleva O.A., postgraduate student, St.Petersburg State Forest Technical University

*galbel*06*@mail.ru*.
St.Petersburg State Forest Technical University 194021, Saint Petersburg, Institutskiy per., 5

The differentiation of biogeocenosis by structural units is based on the nonuniform structure of the autotrophic part of phytocenosis. In different forest types one could single out parcels possessing close characteristics, whereas within the limits of each forest type there are parcels that differ considerably by their upper soil horizon characteristics, by their ground litter composition and thickness, by their floristic composition and distribution features of their living ground cover, by a complex of their forestry and microclimate indicators. Singling out and studying the structure of forest biogeocenoses at the parcel level is a necessary condition for the cognition of processes of interaction and mutual influence of separate components inside the plant associations. The purpose of this work was to study the influence of the parceled structure of forest biogeocenoses on the structure of undergrowth under the canopy of wood sorrel and bilberry spruce forests. Researches were conducted on permanent exploratory plots situated in the territory of the ecological station in the Lisinsky district forestry of Leningrad region. It has been established that the structure of spruce undergrowth differs by height and condition at the parcel level to a higher extent than at the forest type level, whereas age differences on the contrary are more distinctive by forest type. The most quantity of viable spruce undergrowth is observed at spruce-rowan, spruce-birch, spruce-bilberry, spruce-grain and spruce-forbs parcels, whereas the lowest quantity is observed at spruce-sphagnum and spruce-horsetail parcels. Middle-height undergrowth is prevailing at the most parcels. The share of large undergrowth changes considerably from parcel to parcel. The share of large undergrowth is minimal at a spruce-birch parcel, but it is maximal at spruce-green moss, spruce-forbs and spruce-wood sorrel parcels. Optimal conditions for successful natural forest renewal are formed at spruce-green moss and spruce-bilberry parcels.

Key words: forest phytocenosis; parcel; viable, unviable and dry spruce undergrowth; small, middle and large spruce undergrowth

References

1. Gryaz'kin, A. V. *Vozobnovitel'nyy potentsial taezhnykh lesov* (*na primere el'nikov Severo-Zapada Rossii*)*: monografiya* [Renewal potential of taiga forests (at the example of spruce forests of Northwest of Russia): monohraph]. St.Petersburg: SPbGLTA, 2001. 188 p.
2. Dylis, N. V., Tsel'niker, Yu. L. *Fitotsenoz kak komponent lesnogo biogeotsenoza* [Phytocenosis as a component of forest biogeocenosis] *V kn.: Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Basics of forest biogeocenology]. Moscow, 1964. pp. 91-215.
3. Dylis, N. V. *Struktura lesnogo biogeotsenoza* [Structure of forest biogeocenosis]. Moscow: Nauka, 1969. 55 p.
4. Davydov, A.V. Rubki ukhoda za lesom [Cleaning cutting of forest]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1971. 184 p.
5. Sennov, S. N. *Rubki ukhoda za lesom: monografiya* [Cleaning cutting of forest: monohraph]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1977. 160 p.
6. Cherepanov, S. K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and adjoining states]. St.Petersburg: Mir i sem'ya, 1995. 990 p.
7. Ignatov, M. S., Afonina, O. M. *Spisok mkhov territorii byvshego SSSR* [Moss list of the former USSR territory]. Arctoa, 1992. T. 1 (1-2). pp. 1-85.
8. Chertov, O. G. *Ekologiya lesnykh zemel'* [Ecology of forest lands]. Leningrad: Nauka, 1981. 190 p.
9. Sukachev, V. N., Zonn, V.N. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Methodic guides to study forest types]. Moscow: AN SSSR, 1961. 144 p.
10. Sukachev, V. N., Zonn, V.N., Dylis, N. V. i dr. *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Basics of forest biogeocenology]. Moscow: Nauka, 1964. 568 p.
11. Gryaz'kin, A. V. Pat. 2084129 Rossiyskaya Federatsiya, MKI S 6 A 01 G 23/00. *Sposob ucheta podrosta* [Undergrowth calculation method] *zayavitel' i patentoobladatel' Sankt-Peterburgskaya lesotekhni-cheskaya akademiya* [applicant and holder of patent Saint Petersburg Forestry Engineering Academy]. № 94022328/13 ; zayav. 10.06.94; opub. 20.07.97, Byul. № 20. 3 p.
12. *Pravila lesovosstanovleniya* [Forest renewal rules]: utv. Prikazom MPR Rossii 16.07.07.

РОЛЬ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SILVESTRIS L.*) В УЛУЧШЕНИИ КАЧЕСТВА ЛЕСНОГО ФОНДА КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.М. РОМАНОВ, *проф., ректор ПГТУ, д-р с.-х. наук,*
Т.В. НУРЕЕВА, *доц. каф. лесных культур и механизации лесохозяйственных работ ПГТУ, канд. с.-х. наук,*
А.А. БЕЛОУСОВ, *асп. каф. лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, лесничий казенного государственного учреждения «Немское лесничество» Кировской области*

rector@ volgatech.net, nureevatv@volgatech.net, schastlivchik-85@mail.ru
ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»,
424000 Россия Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Пл. Ленина, 3
КГУ «Немское лесничество», 613470, Россия, Кировская область, Нема, ул. Советская, 75

Прослежена динамика лесного фонда Кировской области с 1951 по 2008 гг., включая изменение площадей, занятых сосновыми насаждениями. Отмечается неравномерность возрастной структуры насаждений Кировской области. Площади сосняков, например, сосредоточены в возрастном периоде 41–60 лет, совпадая с началом широкого применения лесокультурного способа восстановления леса в 1960–70 гг. Созданные с 1961 по 1998 гг. площади лесных культур могут стать базой для повышения продуктивности сосновых лесов Кировской области. По электронной базе данных лесного фонда Немского и Шабалинского лесничеств проанализирована роль искусственных насаждений в воспроизводстве ресурсов сосны. Выявлено, что прирост запаса, рассчитанный на 1 единицу сосны, в большинстве случаев выше в искусственно созданных древостоях. Доказано, что искусственные насаждения сосны обладают ускоренным ростом по сравнению с естественными до 30–40-летнего возраста. В качестве мероприятий для повышения эффективности лесопользования предлагается выделить фонд ускоренного лесовыращивания, в который могут быть переведены культуры, отвечающие специально разработанным критериям и показателям. Искусственно созданные древостои сосны отличаются высокой и средней полнотой и относятся преимущественно к высокобонитетным древостоям, что характеризует потенциал данной породы и возможность ее ускоренного выращивания, в т.ч. плантационного, в условиях смешанных лесов Кировской области. Для целевого выращивания древесины и вовлечения в хозяйственный оборот предлагается использовать выведенные из сельскохозяйственного оборота земли.

Ключевые слова: лесной фонд, сосна обыкновенная, лесные культуры, естественные древостои, искусственные насаждения.

Кировская область по объемам заготовки и обработки древесины занимает ведущее место в Приволжском федеральном округе и входит в число наиболее крупных производителей продукции из древесины в европейской части России. Общая площадь земель лесного фонда области 8122,5 тыс. га, 63 % территории в настоящее время занимают леса.

До 18 в. заготовка древесины осуществлялась, в основном, для местных нужд и была бесплатной и беспрепятственной. Применявшаяся в то время выборочная система рубок обеспечивала успешное естественное возобновление лесов [1]. По мере роста численности населения, увеличения площадей сельскохозяйственных угодий, развития промышленности и транспорта объём рубок леса с каждым годом увеличивался. Самые большие площади вырубок приходятся на вторую половину 50-х гг. 20 в., когда ежегодно в Кировской области вырубались около 86 тыс. га. При этом с 1957 по 1987 гг. расчётная лесосека по хвойному хозяйству практически ежегодно осваивалась на 110–150 %. Это привело к уменьшению площади хвойных древостоев, сокращению доли приспевающих насаждений, накоплению запасов древесины мягколиственных пород. В связи с этим назрела необходимость комплексной оценки состояния и динамики лесного фонда области с целью разработки путей по повышению продуктивности лесов, в частности сосняков.

Объектами исследования служили земли лесного фонда Кировской области, в частности, древостои сосны обыкновенной, на примере которых были изучены результаты воспроизводства одной из наиболее ценных пород. Для их более детальной оценки и анализа были использованы справочные материалы учета государственного лесного фонда [2–5], а также электронная база данных отдельных лесничеств области, интерпретирован-

Таблица 1

Распределение земель лесного фонда по категориям
Distribution of forest lands by Category

Категория земель	Год учета							
	1951		1961		1988		2008	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Общая площадь земель лесного фонда	6365,0	100	6013,4	100	6128,7	100	8037,3	100
Покрытые лесной растительностью земли, всего	5761,4	90,5	5225,7	86,9	5551,8	90,6	7561,2	94,1
в том числе лесные культуры	21,5	0,3	44,5	0,7	393,4	6,4	535,5	7,1
Не покрытые лесной растительностью земли, всего	332,6	5,2	538,8	9,0	320,6	5,2	199,4	2,5
в том числе:								
несомкнувшиеся лесные культуры	–	–	44,1	0,7	156,0	2,5	53,0	0,7
лесные питомники	–	–	–	–	0,6	–	0,4	–
естественные редины	–	–	25,0	0,4	2,0	–	0,4	–
фонд лесовосстановления, всего	332,6	5,2	469,8	7,9	160,1	2,7	145,6	1,8
в том числе:								
гари, погибший древостой	52,1	0,8	20,9	0,4	3,2	–	1,2	–
Вырубки	215,7	3,4	448,9	7,5	151,0	2,6	128,5	1,6
прогалины, пустыри	64,8	1,0	–	–	5,9	0,1	12,1	0,2
Итого лесных земель	6094,0	95,7	5764,5	95,9	5872,4	95,8	7761,2	96,6
Нелесные земли, всего	271,0	4,3	248,9	4,1	256,3	4,2	276,6	3,4

Рис. 1. Площади создаваемых в различные периоды культур в лесном фонде Кировской области
Fig. 1. Squares created in different periods of crops in the forests of the Kirov region

ная с использованием разработанной авторами методики [6]. Представлены результаты ресурсно-экологической оценки насаждений сосны с учетом способа их воспроизводства и проанализированы возможные резервы повышения эффективности лесовосстановления.

Лесной фонд Кировской области за период с 1951 по 2008 гг. претерпел изменения в распределении земель по категориям (табл. 1).

Так, за период с 1951 по 1961 гг., отличающийся интенсивной заготовкой леса для восстановления хозяйства страны послевоенного периода, площадь не покрытых лесом земель ежегодно снижалась в среднем на 20,62 тыс. га, сократившись в целом за десятилетие на 3,6%. Интенсивное в последующий период лесопользование и своевременные мероприятия по лесовосстановлению, в т.ч.

искусственным способом, способствовали уменьшению непродуцирующих площадей в лесном фонде Кировской области, к 2008 г. они составили всего 2,5%. Лесные культуры сыграли значительную роль в повышении ресурсно-экологического потенциала лесных земель области. Наибольшие объемы приходятся на 1961–1990 гг. (рис. 1).

Искусственные насаждения выполняют функции бореальных лесов в поддержании равновесия биосферы и накоплении углерода. Кроме того, культуры, более высокая интенсивность роста которых подтверждена многими исследователями, могут быть резервом для повышения продуктивности лесов Кировской области.

Создание и выращивание лесных культур сопряжено со значительными рисками, которые могут привести к снижению результативности искусственного лесовосстановления. Так, при разработке Лесного плана Кировской области состояние переведенных в покрытые лесом земли искусственно созданных лесов было оценено как неудовлетворительное на площади 450,7 тыс. га (28 %), на 13 % площадях культуры потеряны. При этом наибольшие потери лесных культур отмечаются после перевода их в покрытые лесной растительностью земли [1].

Основными причинами потери и неудовлетворительного состояния лесных культур является заглушение лиственными быстрорастущими породами. По этой причине списано 69,7 % площадей культур старших возрастов и 45,8 % ревизионного периода. Основные потери произошли не в сплошных, а в частичных культурах, которые создавались с 1960-х гг. прошлого столетия с начальной густотой 3,0 тыс. шт./га и менее. И в результате заглушения сформировались молодняки с преобладанием по запасу быстрорастущих лиственных пород и снижением доли культивируемой породы. Исследованиями Сабанина А.А., Товкач Л.Н. доказано, что качество чистого по составу древостоя в возрасте спелости определяет его характеристика в возрасте 20–40 лет [7]. В этой стадии молодняки являются сформировавшимися и их состояние практически полностью определяет дальнейший рост древостоев и качественные показатели конечного результата лесовыращивания.

В лесном фонде Кировской области преобладают хвойные насаждения (51 % площади лесных земель и 56 % общего запаса насаждений) (табл. 2). Они представлены, в основном, ельниками и сосняками. Древостои сосны на 41,6 % площадей, занятых хвойными. Лесные массивы этой породы встречаются на всей территории области, но наибольшие площади находятся в юго-западной части области, относящейся к зоне хвойно-широколиственных лесов. Благодаря высокой эврибионтности к почвенным условиям сосна занимает местообитания от сфагновых торфяников и суглинистых почв до склонов моренных гряд и песчаных террас [8].

Увеличение площади покрытых лесом земель в 2008 г. можно связать с передачей в лесной фонд земель колхозных и совхозных лесов. При этом соотношение хвойных и мягколиственных пород изменилось в сторону увеличения доли последних. При вырубке хвойных в богатых типах условий происходит смена пород на мелколиственные, что отражено в снижении доли площадей лесного фонда, занятых елью и пихтой.

Доля древостоев с преобладанием сосны в их составе в государственном лесном фонде с 1956 по 1998 гг. увеличилась. Это произошло, в основном, за счёт естественного возобновления путём сохранения подроста сосны в процессе разработки лесосек и создания лесных культур. Однако в связи с передачей лесов сельских лесхозов в гослесфонд доля сосняков в последнее десятилетие снизилась, в то время как их общая площадь возросла в 1,6 раз в сравнении с серединой прошлого столетия.

По состоянию на 01.01.2008 г. в лесах Кировской области насаждения сосны обыкновенной занимают 1607,2 тыс. га (25,5 % лесопокрытой площади), в т.ч. сомкнувшиеся культуры – 230,8 тыс. га (14,4 % всех сосновых насаждений Кировской области). Преобладающую часть лесов искусственного происхождения составляют модальные древостои сосны обыкновенной, которые создавались преимущественно посадкой с учетом типов лесорастительных условий. Их рост зависит

Таблица 2

Динамика видового состава лесного фонда Кировской области за период с 1956 по 2008 гг.
The dynamics of the species composition of the forest fund of the Kirov region for the period from 1956 to 2008.

Основные лесообразующие породы	Площадь лесного фонда по годам, тыс. га/%					
	1956	1966	1978	1988	1998	2008
Сосна обыкновенная	1014,2 19,3	1199,9 21,5	1365,8 24,3	1340,9 24,4	1391,5 24,3	1607,2 21,3
Ели и пихта сибирская	2155,3 41,0	1938,6 34,7	1752,5 31,1	1656,8 30,2	1780,2 31,0	2258,1 29,9
Сосна кедровая сибирская	–	–	0,2 0,004	0,1 0,002	0,2 0,003	0,1 0,001
Лиственница сибирская	–	0,3 0,01	2,4 0,04	2,8 0,05	1,8 0,03	1,7 0,02
Итого хвойных	3169,5 60,2	3138,8 56,2	3120,9 55,5	3071,6 54,6	3173,7 55,3	3867,1 51,3
Береза повислая	1665,5 31,7	1798,4 32,2	1835,1 32,6	1862,4 33,9	1917,4 33,4	2848,1 37,8
Осина	427 8,1	587,7 10,5	603 10,7	560,5 10,2	574,2 10,0	715,2 9,5
Всего мягколиственных	2092,5 39,8	2444,9 43,7	2501,8 44,5	2489,1 45,3	2558,5 44,6	3657,2 48,5
Всего твердолиственных	= –	5,7 0,1	4,3 0,1	4,2 0,1	3,6 0,1	17,4 0,2
Всего	5262 100	5589,4 100	5627 100	5493,9 100	5735,8 100	7541,7 100

Таблица 3

Структура лесных насаждений Кировской области по группам возраста (на 01.01.2010)
The structure of forest stands of the Kirov region by age groups (01.01.2010)

Показатели	Ед. измер.	Группы возраста насаждений, в т.ч.					
		молодняки	средне-возрастные	приспевающие	спелые и перестойные	в т.ч. перестойные	Итого
Площадь	тыс. га/%	1830,93 24,2	2256,36 29,8	1195,2 15,8	2290,78 30,2	639,73 8,4	7573,27 100,0
в т.ч. сосны	тыс. га/%	436,4 26,9	597,8 36,8	297,1 18,3	292,5 18,0	51,4 3,2	1623,9 100,0
Запас	млн. $м^3$/%	93,152 7,7	330,909 27,5	252,125 20,9	527,432 43,8	148,627 12,3	1203,62 100,0
в т.ч. сосны	млн. $м^3$/%	35,218 12,4	110,051 38,6	72,617 25,5	67,096 23,5	9,975 3,5	284,98 100,0
Средний запас	$м^3$/га	50,9	146,7	211,0	230,2	232,3	164,6
Средний запас сосны	$м^3$/га	80,7	184,1	244,4	229,4	194,1	175,5

от многих факторов, в т.ч. от интенсивности лесохозяйственных мероприятий. Поэтому сосняки искусственного происхождения по всем таксационным показателям отличаются от древостоев естественного происхождения изучаемой породы [8].

Общий запас древесины в лесах области по состоянию на 01.01.2010 г. составлял 1203,6 млн $м^3$, в том числе хвойных –676,0 млн $м^3$ (55,9 %). Из общего запаса насаждений на долю еловых древостоев приходится 31,3 %, сосновых – 23,5 %, березовых – 32,9 %, осиновых – 9,6 %. Общий ежегодный средний прирост стволовой древесины составляет 22,3 млн. $м^3$, средний прирост на 1 га покрытой лесов площади – 2,9 $м^3$/га в год.

Возрастная структура насаждений Кировской области неравномерна (табл. 3).

Самые большие площади сосняков концентрируются в возрастном периоде 41–60 лет, совпадая с началом широкого применения лесокультурного способа восстановления леса в 60–70 гг. прошлого столетия. Почти каждый четвертый гектар сосняков представлен молодняками, которые характеризуются высоким средним запасом – 80,7 м^3/га, что в 1,6 раз выше среднего по всем породам. Средний запас сосновых насаждений выше во всех возрастных группах до 80-летнего возраста, что характеризует высокие потенциальные возможности данной породы в природно-климатических и почвенно-экологических условиях Кировской области.

Для оценки значения искусственных насаждений в воспроизводстве древесных ресурсов сосны на основе электронной базы данных был проанализирован лесной фонд Немского и Шабалинского лесничеств, расположенных на юго-востоке и западе Кировской области. В лесном фонде Немского лесничества площадь сосняков составляет 42371 га (28,7 %), Шабалинского 83280 га (32,4 %).

Доля лесных культур в общей площади сосняков составляет по площади и запасу в Шабалинском лесничестве 30,7 % и 18,3 %, в Немском – 8,5 и 5,7 % соответственно. Они могут стать базой для формирования фонда ускоренного лесовыращивания с получением необходимых сортиментов высокого качества в более ранние сроки. Критерии и показатели, устанавливающие пригодность насаждений к включению в фонд ускоренного лесовыращивания, рассмотрены в предыдущих работах [10]. Они могут быть установлены предварительно по материалам электронной базы данных лесничеств (ТЛУ, возраст, полнота, класс бонитета, доля главной породы в составе и др.) и окончательно натурными обследованиями отобранных площадей (высота, диаметр и др.).

Это производственные культуры. Отсутствие специального контроля после перевода в покрытые земли приравняло их к естественным, но ускоренные темпы роста древостоев сохраняются, что графически отражено на рис. 2.

В 20–30 летнем возрасте в Шабалинском и Немском лесничествах различия прироста лесных культур с естественными сосняками достигают от 4,2 до 14,3 % и от 90 до 116 % соответственно. Однако в некоторых случаях прирост сосны в культурах ниже, чем в естественных древостоях. Причину этого выяснить сложно, поскольку лесные культуры после их перевода в покрытые лесом фиксируются вместе с естественными древостоями и их состояние отслеживается лишь один раз в ревизионный период. Отслеживать лесные культуры необходимо в течение цикла завершенного лесокультурного производства, который учитывается от посадки до того момента, когда главная порода установит свое господство в верхнем ярусе древостоя. Это позволит снизить риски, приводящие к гибели искусственно созданных насаждений, и существенно увеличить их ресурсный потенциал. Данная система должна действовать на всех уровнях управления – от лесничества до федерального центра [10–13].

В лесном фонде Немского лесничества более трети лесных культур имеют 4–5 единиц сосны в составе. Чистые сосняки занимают всего лишь 2,8% от общей площади искусственных сосновых древостоев. На 34,9 % площадей доля культивируемой породы не превышает 3 единиц в составе.

В Шабалинском лесничестве около половины площадей культур сосны имеют 5–7 единиц главной породы, 32,6 % – более 8 единиц в составе. Доля хвойных пород в составе древостоя, наряду с запасом, средним диаметром и высотой, являются основными тесно коррелирующими с таксационными показателями, характеризующими хозяйственно целесообразные молодняки 20–40-летнего возраста, и спелые насаждения, которые можно использовать при прогнозировании роста древостоев по достижении ими 20–40-летнего возраста [7].

Искусственные сосновые древостои в Немском лесничестве отличаются высокой полнотой, три из четырех гектаров имеют полноту 0,5–0,7, остальные – 0,8–1,0, 88,6 % относятся к высокобонитетным. В Шабалинском лесничестве два гектара из трех созданных

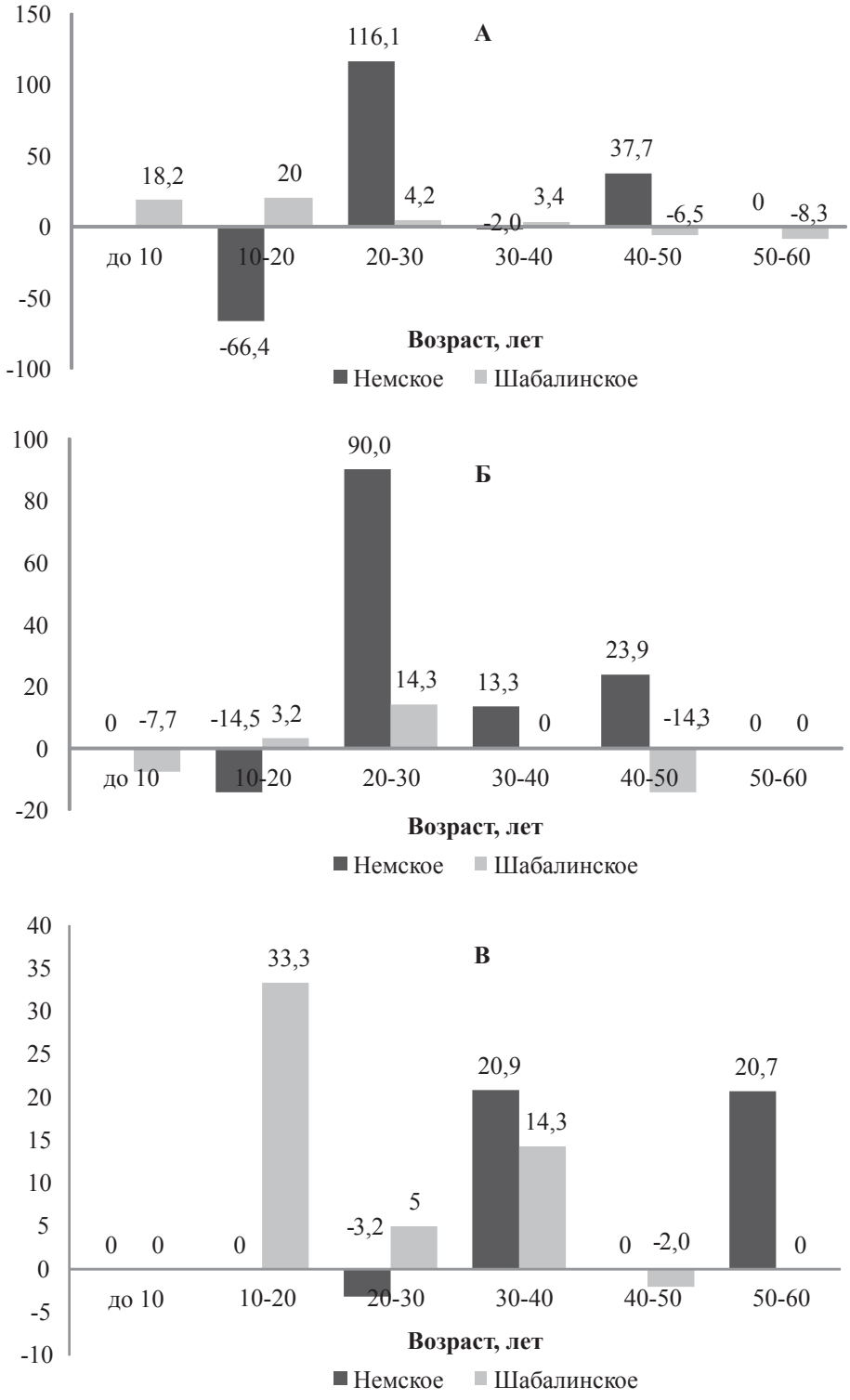


Рис. 2. Различия прироста искусственных сосняков относительно естественных в различных типах лесорастительных условий, %/ед. сосны (А – в условиях свежих боров, Б – свежих суборей, С – свежих сурамений): по оси у представлены значения доли прироста 1 единицы сосны лесных культур, в % относительно естественных насаждений

Fig. 2 Differences artificial pine growth relative to the natural in different types of forest conditions,% / unit. pine (A - in a fresh hog B - fresh subors, C - fresh surameney) on the y-axis shows the values of the share gain of 1 unit of pine plantations, in% relative to natural stands

человеком древостоев сосны характеризуются 1–2 классами бонитета, 40,4 % относятся к высокополнотным насаждениям. На их основе целесообразно выделять фонд ускоренного лесовыращивания, в который могут быть переведены культуры, отвечающие установленным критериям и показателям, к основным относятся полнота – не ниже 0,6, класс бонитета I–II, возраст – до 30 лет, доля главной породы в составе – не менее 80 % [10].

Данное направление исследований может существенно повысить эффективность лесопользования и лесовосстановления. Начинать необходимо с единовременного обследования в регионе лесных культур всех возрастов, что позволит наметить конкретные меры по повышению их качества и сохранности.

Для увеличения объемов выращивания древесины, опираясь на статью 42 Лесного кодекса и «Стратегию развития лесного комплекса до 2020 г.», утвержденную приказом Минпромторга России и Минсельхоза России 30 октября 2008 г. № 248/482, необходимо интенсифицировать работы по целевому выращиванию древесины на лесных плантациях. Учитывая высокую потребность в древесине сосны, необходимо расширять площади ее выращивания с получением целевой продукции на выведенных из-под сельскохозяйственного оборота землях. Опыт выращивания культур сосны высокой продуктивности на землях с длительным сельскохозяйственным пользованием в области имеется [9].

Выводы

Среди покрытых лесной растительностью земель Кировской области рукотворные леса к 2008 г. составили 7,1 %. Лесные культуры преимущественно стали создаваться с 1961 по 1988 гг., что характерно для других областей и республик Приволжского федерального округа. В тот период ежегодно лесной фонд области пополнялся в среднем на 12,9 тыс. га культур. В настоящее время они находятся в стадии молодняков и средневозрастных насаждений, в возрасте интенсивного роста и формирования наибольших приростов.

Снижение планируемых и фактических объемов рубок ухода за насаждениями привели к негативным последствиям, результатом которых было неудовлетворительное состояние культур из-за зарастания мягколиственными породами на 28 % и их гибель на 13 % площадей. При этом наибольшие потери лесных культур отмечаются после перевода их в покрытые лесной растительностью земли. Это еще раз доказывает необходимость разработки системы учета и контроля за формированием культур в течение цикла завершенного лесокультурного производства, который учитывается от посадки до того момента, когда главная порода установит господство в верхнем ярусе древостоя.

В отличие от других хвойных площадь сосняков в лесном фонде Кировской области неуклонно возрастала, хотя доля их в 2008 г. снизилась, что, вероятно, связано с передачей в лесной фонд лесов сельских лесхозов. Если в середине прошлого столетия каждый пятый гектар лесов Кировской области был с преобладанием сосны обыкновенной, то к концу столетия, благодаря интенсивно применяемым способам лесовосстановления, почти четверть лесов была представлена сосняками. Немалая роль в этом процессе принадлежит лесным культурам, благодаря созданию которых сосновые древостои не потеряли приоритета, в отличие от ельников и пихтовых древостоев, доля которых в лесном фонде снизилась на 11,1 %.

Созданные за период с 1961 по 1998 гг. значительные площади лесных культур, часть которых в настоящее время находятся в стадии средневозрастных и молодняков, т.е. в периоде наибольших приростов, могут стать базой для повышения продуктивности сосновых лесов Кировской области. Это может быть обеспечено путем выделения фонда ускоренного лесовыращивания, который формируется из культур, имеющих соответствующие идентификационные критерии. Данное направление исследований может существенно повысить эффективность лесопользования, лесовосстановления и эколого-ресурсного потенциала лесов.

Как показывает анализ лесного фонда Немского и Шабалинского лесничеств Ки-

ровской области, искусственные насаждения сосны обладают ускоренным ростом по сравнению с естественными до 30–40-летнего возраста во всех типах лесорастительных условий. Прирост сосны в культурах может достигать 4,5–4,8 м^3/га в год, что почти в 1,6–1,7 раз выше по сравнению со средним приростом по запасу покрытых лесом земель гослесфонда Кировской области.

Искусственно созданные древостои сосны отличаются высокой и средней полнотой и относятся преимущественно к высокобонитетным древостоям, что характеризует высокий потенциал данной породы и возможность ее ускоренного выращивания, в т.ч. плантационного в условиях смешанных лесов Кировской области. Для целевого выращивания древесины целесообразно использовать выведенные из сельскохозяйственного оборота земли.

Библиографический список

1. Лесной план Кировской области http://www.gov-vyatka.ru/econom/forest/свободный.
2. Лесной фонд России (по учету на 1 января 1993г.): Справ. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. – 279 с.
3. Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 января 1998г.) : справ. / В.В. Страхов и др. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. – 649 с.
4. Лесной фонд СССР (по учету на 1 января 1988 г.): Стат. сб. в 2-х т. – М., 1990 –1991.– Т.1. – 1005 с.; Т.2 – 1021 с.
5. Государственный учет лесного фонда / Федер. агентство лесного хоз-ва.– М. :ЭкоСервис, 2007. – 879 с.
6. Романов, Е.М. Методика определения оценочных показателей искусственных насаждений при устойчивом управлении воспроизводства леса / Е.М. Романов, Е.В. Еремин, Т.В. Нуреева. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – 40с.
7. Сабанин, А.А. К вопросу о формировании хозяйственно-целесообразных древостоев**.** А.Сабанин, Л.Н. Товкач. http://science-bsea.bgita.ru/2010/les_komp_2010/sabanin_vopros.htm свободный.
8. Охотин, Н.Н. Рост, продуктивность и сортиментная структура лесных культур сосны южно-таежных лесов Кировкой области: Автореф. дисс. канд. с.-х. наук./ Охотин Николай Николаевич. – Йошкар-Ола, 2009. – С. 24.
9. Нуреева, Т.В. Перспективы выращивания биоэнергетических плантаций на неиспользуемых сельскохозяйственных землях Кировской области /Т.В.Нуреева, А.А.Белоусов // Лесовосстановление в Поволжье: состояние и пути совершенствования: сб. ст. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013 – С. 125–131.
10. Романов, Е.М. Обоснование критериев и показателей перевода лесных культур в режим ускоренного лесовыращивания / Е.М. Романов, Т.В. Нуреева, Н.В. Еремин // Изв. вузов. Лесной журнал. 2012. – № 5. – С. 5–11.
11. Романов, Е.М. Состояние и повышение результативности искусственного лесовосстановления в Нижегородской области/ Е. М. Романов, Н. В. Еремин, Т. В. Нуреева, А. А. Мамаев, Л. Н. Сотнева // Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Человек». – 2008 № 3. – С. 18–29.
12. Романов, Е. М. Состояние и проблемы воспроизводства лесов России/Е. М. Романов, Н. В. Еремин, Т. В. Нуреева// Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Человек»., 2007. – № 1. – С. 5–11.
13. Романов, Е. М. Искусственное лесовосстановление: мониторинг и повышение эффективности/ Е. М. Романов, Н. В. Еремин, Т. В. Нуреева // Лесное хозяйство. – 2008. – № 1. – С.31–33

THE ROLE OF SCOTS PINE *(PINUS SYLVESTRIS L.)* PLANTATIONS IN FOREST RESOURCES IMPROVEMENT IN KIROV OBLAST

Romanov E.M., Dr. of Agricultural Sciences, Professor, rector of Volga State University of Technology, Nureeva T.V., Cand. of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Forest Crops and Mechanization of Forestry Operations of Volga State University of Technology, Belousov A.A., Postgraduate student at the Chair of Forest Crops and Mechanization of Forestry Operations, forester of the state official institution "Nemskoye forestry" (Kirov region)

rector@ volgatech.net, nureevatv@volgatech.net, schastlivchik-85@mail.ru
Volga State University of Technology, 3 Lenin square, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000
«Nemskoye forestry», 75 Sovetskaya Street, Nema, Kirov region, Russia, 613470

The dynamics of forest area in Kirov oblast (1951 – 2008 years), including the change of pine forest area, was observed. Unevenness in age structure of plantings in Kirov oblast was registered. Today pine plantations are 41–60 years old, they were established in the period of vast application of silvicultural type of forest restoration (1960–1970). Plantations, established in 1961–1998, can become the base for improvement of productivity of pine forests in Kirov oblast. The role of artificial plantings in reproduction of wood resources (Pine) on the basis of electronic database of forest resources of Nemskiy and Shabalinskiy forestries was analyzed. It was revealed that stock increment (calculated per 1 unit of pine) is in the most cases higher in man-made forests. On the basis of the analysis of forest resources of the forestries, it was shown that pine plantations possess accelerated growth up to 30–40-years in comparison with natural forest. In order to improve forest management efficiency, it is offered to set up a fund of accelerated forest cultivation where the trees, matching the specially developed criteria and indicators, can be placed. Artificial pine stands show high and average basal area and treat mainly to high-bonitet stands which proves high potential of this species and a possibility to cultivate it in shorter terms, including cultivation of plantations in mixed forests of Kirov oblast. For the target cultivation of wood, it is offered to use the lands which were used in agriculture in the past but are not used in agriculture today.

Key words: forest resources, scots pine, plantations, natural stands, homogeneous stands

References

1. *Lesnoy plan Kirovskoy oblasti* [Forest Plan of Kirov region]. Available at: http://www.gov-vyatka.ru/econom/forest/ svobodnyj
2. *Lesnoy fond Rossii (po uchetu na 1 yanvarya 1993g.)* [The Forest Fund of Russia (accounting on January 1, 1993)]. Moscow. VNIIClesresurs, 1995. 279 p.
3. Strahov V.V. *Lesnoy fond Rossii (po dannym gosudarstvennogo ucheta lesnogo fonda po sostoyaniyu na 1 yanvarya 1998 g.)* [The forest fund of Russia (according to the state forest fund accounting as of January 1, 1998)]. Moscow. VNIIClesresurs, 1999. 649 p.
4. *Lesnoy fond SSSR (po uchetu na 1 yanvarya 1988 g.)* [The forest fund of USSR (accounting on January 1, 1988)]. Moscow, 1990, 1991. T.1. pp. 1005; T.2. 1021 p.
5. *Gosudarstvennyy uchet lesnogofonda* [State records of forest fund]. *Feder. agentstvo lesnogo khoz-va* [Federal Forestry Agency]. Moscow. EcoService, 2007. 879 p.
6. Romanov E.M., Eremin, E.V., Nureeva, T.V. *Metodika opredeleniya otsenochnykh pokazateley iskusstvennykh nasazhdeniy pri ustoychivom upravlenii vosproizvodstva lesa* [Methodology for determining estimated figures of the artificial plantations in the sustainable management of forest reproduction]. Joshkar-Ola. MarGTU, 2009. 40 p.
7. Sabanin A.A., Tovkach, L.N. *Kvoprosu o formirovanii khozyaystvenno-tselesoobraznykh drevostoev* [On the formation of economically expedient of forest stands]. http://science-bsea.bgita.ru/2010/les_komp_2010/sabanin_vopros.htm
8. Ohotin N.N. *Rost, produktivnost' i sortimentnaya struktura lesnykh kul'tur sosny yuzhno-taezhnykh lesov Kirovkoy oblasti: Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk.* [Growth, productive and CTL structure forest plantations of a pine of southern taiga forests in Kirov region: Abstract of dis. Cand. agricultural Sciences]. Joshkar-Ola, 2009. p. 24.
9. Nureeva T.V., Belousov, A.A. *Perspektivy vyrashchivaniya bioenergeticheskikh plantatsiy na neispol'zuemykh sel'skokhozyaystvennykh zemlyakh Kirovskoy oblasti* [Prospects for cultivation of bioenergy plantations on unused agricultural land in Kirov region]. *Lesovosstanovlenie v Povolzh'e: sostoyanie i puti sovershenstvovaniya: sb. st. nauch.-prakt. konf.* [Forest restoration in the Volga region: current status and ways to improve: collection of articles by scientific and practical conference]. Joshkar-Ola, PGTU, 2013. pp. 125-131.
10. Romanov E.M., Nureeva T.V., Eremin N.V. *Obosnovanie kriteriev i pokazateley perevoda lesnykh kul'tur v rezhim uskorennogo lesovyrashchivaniya* [Justification of criteria and indicators the transfer of plant forest to accelerated of forest growing]. *Lesnoy zhurnal* [Proceedings of the universities. Forest Journal]. 2012, №5. pp. 5-11.
11. Romanov E.M., Eremin N.V., Nureeva T.V., Mamaev A.A., Sotneva L.N. *Sostoyanie i povyshenie rezul'tativnosti iskusstvennogo lesovosstanovleniya v Nizhegorodskoy oblasti* [Condition and the improved artificial reforestation in the Nizhny Novgorod region]. *Vestnik MarGTU. Seriya «Les. Ekologiya. Chelovek»* [Herald of MarSTU. Series "Les. Ecology. People"]. 2008, №3. pp. 18-29.
12. Romanov E.M., Eremin N.V., Nureeva T.V. *Sostoyanie i problemy vosproizvodstva lesov Rossii* [State and problems reproduction of forests in Russia]. *Vestnik MarGTU. Seriya «Les. Ekologiya. Chelovek»* [Herald of MarSTU. Series "Les. Ecology. People"]. 2007, №1. pp. 5-11.
13. Romanov E.M., Eremin N.V., Nureeva T.V. *Iskusstvennoe lesovosstanovlenie: monitoring i povyshenie effektivnosti* [Artificial regeneration: monitoring and improving the efficiency]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry].2008, № 1. pp. 31-33

НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА

А.Н. СОБОЛЕВ, *ст. научн. сотр. Соловецкого музея-заповедника, канд. с.-х. наук,*
П.А. ФЕКЛИСТОВ, *проф. каф. экологии и защиты леса САФУ, д-р. с.-х. наук, член-кор. РАЕН*

alex-sobol@mail.ru, pfeklistov@yandex.ru
ФГБУК «Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник»,
Архангельская область, поселок Соловецкий, 164070
ФГАОУ Севеверный (Арктический) федеральный университет им. М В. Ломоносова,
г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, кафедра экологии и защиты леса, 163002

Целью исследования является оценка состояния лесных насаждений островов Арктического региона. В статье приведены результаты изучения видового состава и разнообразия напочвенного покрова сосняков Соловецкого архипелага. Напочвенный покров сосняков Соловков состоит из 57 видов растений. Травяно-кустарничковый ярус состоит из растений 21 семейства. В нем доминирует семейство Ericaceae, которое представлено наибольшим числом видов. Виды данного семейства в сосняках выступают в качестве доминантных. В соответствии с фитоценотической приуроченностью в этом ярусе преобладают лесные виды, значительное число видов относится к болотно-лесным и болотным, опушечно-лесным и опушечно-боровым. По географической принадлежности большая часть видов является циркумбореальными и субциркумбореальными. 70 % видов принадлежит арктической, умеренно теплой природной зоне. Распределение видов растений по жизненным формам продемонстрировало, что доминируют гемикриптофиты (с почками возобновления на поверхности почвы) и хамефиты (с почками возобновления, расположенными в неблагоприятный сезон близко к поверхности почвы). В зависимости от типа леса мохово-лишайниковый ярус в основном формируют зеленые и сфагновые мхи, а также лишайники семейства Cladoniaceae, которое среди остальных семейств представлено наибольшим числом видов. Биоразнообразие напочвенного покрова сосновых насаждений Соловецких островов невысокое. Наибольшее число видов характерно для сосняков кустарничково-сфагновых (в них представлены наиболее влажные условия местопроизрастания), наименьшее – для сосняков брусничных и мохово-лишайниковых (наиболее сухие). Значение выравненности видов растений по обилию высокое, что свидетельствует о низкой межвидовой конкуренции. Наибольших величин выравненность достигает в кустарничково-сфагновых сосняках, что приводит к снижению количества классов доминирования в них до четырех.

Ключевые слова: сосняки, напочвенный покров, видовой состав, видовое разнообразие, острова, Соловки.

Сосновые насаждения на Соловецких островах занимают свыше трети лесопокрытой площади, играют значимую роль в структуре лесов и обладают своеобразными характеристиками (Соболев, Феклистов, 2012). Видовой состав и биоразнообразие – важнейшие показатели любого растительного сообщества, характеризующие его состояние и структуру. Большая часть видов в лесном насаждении представлена в живом напочвенном покрове, который в растительном сообществе репрезентативно характеризует условия местопроизрастания и воздействие экологических факторов (т.е. выполняет индикаторную функцию).

Живой напочвенный покров в наиболее распространенных на Соловках типах соснового леса (черничном, брусничном, кустарничково-сфагновом и мохово-лишайниковом) включает 57 видов растений (30 видов в травяно-кустарничковом ярусе и 27 – в мохово-лишайниковом).

В сосняке черничного типа леса (табл. 1) по относительному обилию или индексу доминирования Балога (Balogh, 1958) (I_B) можно выделить 5 классов видов растений по Штеккеру-Бергману (Stцcker, Bergmann, 1977). Эудоминанты, к которым относится черника (*Vaccinium myrtillus*). Доминанты, в состав которых входит брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), лерхенфельдия извилистая (*Lerchenfeldia flexuosa*) и вороника (*Empetrum nigrum*). Субдоминанты, включающие майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), линнею северную (*Linnaea borealis*), ожику волосистую (*Luzula pilosa*). Рецеденты, состоящие из марьянника лугового (*Melampyrum pratense*), голубики (*Vaccinium uliginosum*), вереска обыкновенного (*Calluna vulgaris*) и багульника болотного (*Ledum palustre*). Остальные виды относятся к субрецедентам, имеющим относительное обилие менее 1 %.

В брусничном типе леса также можно выделить 5 классов видов растений. Эудоминанты, к которым относится брусника (*Vaccinium vitis-idaea*). Доминанты, в состав которых входит вороника (*Empetrum nigrum*) и

Таблица 1

Относительное обилие видов растений травяно-кустарничкового яруса
The relative abundance of plant species of grasses and tiers

Виды растений	Отн. обилие в сосняках, %			
	черничн.	брусничн.	куст.-сф.	мох.-лиш.
сем. Betulaceae				
Betula nana	–	–	9,51	0,24
сем. Campanulaceae				
Campanula rotundifolia	–	0,18	–	–
сем. Caprifoliaceae				
Linnaea borealis	3,74	0,38	–	1,74
сем. Compositae				
Solidago virgaurea	0,45	0,18	–	–
сем. Cornaceae				
Chamaepericlymenum suecicum	0,82	0,53	–	–
сем. Cyperaceae				
Carex sp. (*globuralis ?*)	–	–	1,25	–
Eriophorum vaginatum	–	–	7,45	–
сем. Droseraceae				
Drosera rotundifolia	–	–	2,72	–
сем. Empetraceae				
Empetrum nigrum	9,54	22,42	11,83	24,85
сем. Equisetaceae				
Equisetum silvaticum	0,03	–	–	–
сем. Equisetaceae				
Arctostaphylos uva–ursi	–	1,43	–	6,49
Arctous alpina	0,24	1,20	–	4,48
Calluna vulgaris	1,58	7,12	20,75	7,82
Ledum palustre	1,56	1,12	6,85	–
Oxycoccus palustris	0,12	–	11,24	–
Vaccinium myrtillus	36,61	17,44	–	10,97
Vaccinium uliginosum	1,71	0,26	8,25	0,74
Vaccinium vitis-idaea	18,04	41,91	0,76	38,63
сем. Graminaea				
Lerchenfeldia flexuosa	13,20	3,12	6,34	2,91
Milium effusum	0,12	–	–	–
сем. Juncaceae				
Luzula pilosa	3,56	0,71	–	1,11
сем. Leguminosae				
Trifolium pratense	0,27	–	–	–
сем. Liliaceae				
Maianthemum bifolium	4,00	–	–	–
сем. Lycopodiacaea				
Lycopodium annotium	0,08	–	–	–
сем. Onagraceae				
Chamerion angustifolium	0,43	–	–	–
сем. Orchidaceae				
Dactylorhiza maculata	–	–	0,13	–
сем. Oxalidaceae				
Oxalis acetosella	0,01	–	–	–
сем. Primulaceae				
Trientalis europaea	0,82	0,71	–	–
сем. Rosaceae				
Rubus chamaemorus	0,90	-	12,81	–
сем. Scrophulariaceae				
Melampyrum pratense	2,20	1,30	0,11	0,01

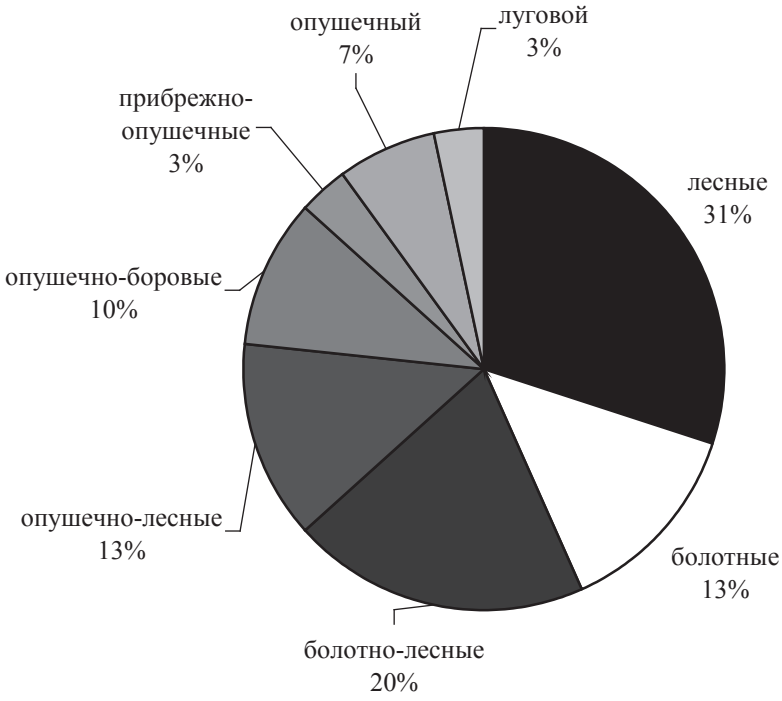


Рис. 1. Приуроченность видов растений травяно-кустарничкового яруса к тем или иным фитоценотическим элементам
Fig. 1. Confinement of species of grasses and tiers to the different elements phytocenotic

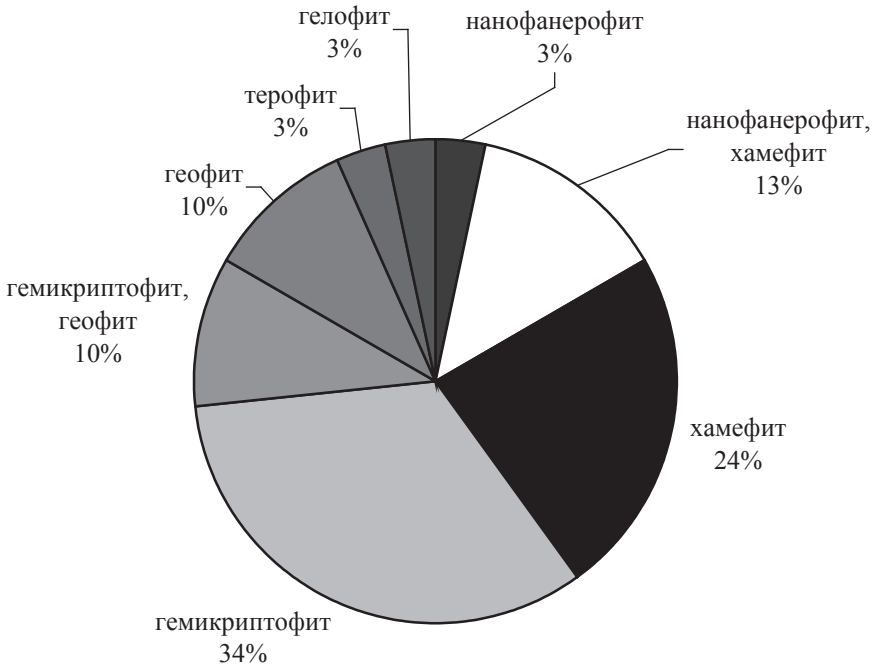


Рис. 2. Распределение видов растений травяно-кустарничкового яруса по жизненным формам
Fig. 2. Distribution of species of grasses and tiers on life forms

черника (*Vaccinium myrtillus*). Субдоминанты, включающие вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*) и лерхенфельдию извилистую (*Lerchenfeldia flexuosa*). Рецеденты, состоящие из толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva-ursi*), марьянника лугового (*Melampyrum pratense*), арктоуса альпийского (*Arctous alpina*) и багульника болотного (*Ledum palustre*). Остальные виды относятся к субрецедентам, имеющим относительное обилие менее 1 %.

В кустарничково-сфагновом типе леса можно выделить 4 класса видов растений. Доминанты, в состав которых входит вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*), морошка (*Rubus chamaemorus*), вороника (*Empetrum nigrum*) и клюква болотная (*Oxycoccus palustris*). Субдоминанты, включающие березу карликовую (*Betula nana*), голубику (*Vaccinium uliginosum*), пушицу влагалищную (*Eriophorum vaginatum*), багульник болотный (*Ledum palustre*) и лерхенфельдию извилистую (*Lerchenfeldia flexuosa*). Рецеденты, состоящие из росянки круглолистной (*Drosera rotundifolia*) и осоки (*Carex sp*.). Остальные виды относятся к субрецедентам, имеющим относительное обилие менее 1 %.

В мохово-лишайниковом типе леса можно выделить 5 классов видов растений. Эудоминанты, к которым относится брусника (*Vaccinium vitis-idaea*). Доминанты, в состав которых входит вороника (*Empetrum nigrum*) и черника (*Vaccinium myrtillus*). Субдоминанты, включающие вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*), толокнянка обыкновенная (*Arctostaphylos uva-ursi*) и арктоус альпийский (*Arctous alpina*). Рецеденты, состоящие из лерхенфельдии извилистой (*Lerchenfeldia flexuosa*), линнеи северной (*Linnaea borealis*) и ожики волосистой (*Luzula pilosa*). Остальные виды относятся к субрецедентам, имеющим относительное обилие менее 1 %.

В соответствии с фитоценотической приуроченностью в травяно-кустарничковом ярусе преобладают лесные виды, значительное число которых относится к болотно-лесным и болотным, опушечно-лесным и опушечно-боровым (рис. 1). Виды, относящиеся к другим фитоценотическим элементам (опушечный, прибрежно-опушечный, луговой), представлены единично.

Для решения вопроса о путях формирования флоры напочвенного покрова сосняков Соловецкого архипелага необходимо проанализировать современное географическое распространение составляющих ее видов растений. По географической принадлежности большая часть (15) видов травяно-кустарничкового яруса является циркумбореальными и субциркумбореальными. По 3–4 вида относится к евроазиатским и европейским, западно-азиатским. Остальные ареалы представлены единичным числом видов.

Из общего числа видов растений травяно-кустарничкового яруса 21 вид принадлежит арктической, умеренно теплой природной зоне, 9 видов – умеренно теплой природной зоне.

Распределение видов растений травяно-кустарничкового яруса по жизненным формам (рис. 2), согласно C. Raunkiaer (1934), продемонстрировало, что доминируют гемикриптофиты (с почками возобновления на поверхности почвы) и хамефиты (с почками возобновления, расположенными в неблагоприятный сезон близко к поверхности почвы). В пределах 3–4 видов относится к нанофанерофитам (почки возобновления находятся на высоте от 0,25 до 2 м), хамефитам; гемикриптофитам, геофитам (почки возобновления или верхушки побегов погружены в почву) и геофитам. Остальные жизненные формы представлены единичными видами.

В мохово-лишайниковом ярусе по относительному обилию в черничном типе леса можно выделить 5 классов видов растений. Эудоминанты, к которым относится *Pleurozium schreberi*. Доминанты, в состав которых входит *Dicranum scoparium* и *Hylocomium splendens*. Субдоминанты, включающие *Cladonia rangiferina*. Рецеденты, состоящие из *Polytrichum juniperinum*, *Cladonia sylvatica*, *Cladonia coccifera*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Dicranum polysetum*, *Ptilium crista-castrensis*, *Polytricum commune* и *Cladonia elongata*. Остальные виды относятся к субрецедентам, имеющим относительное обилие менее 1 %.

В брусничном типе леса также можно выделить 5 классов видов растений. Эудоминанты, к которым относится *Pleurozium schreberi*. Доминанты, в состав которых входит *Cladonia rangiferina* и *Dicranum scoparium*. Субдоминанты, включающие *Dicranum polysetum*, *Cladonia sylvatica*, *Polytrichum juniperinum* и *Hylocomium splendens*. Рецеденты, состоящие из *Cladonia elongata* и *Cladonia coccifera*. Остальные виды относятся к субрецедентам, имеющим относительное обилие менее 1 %.

Таблица 2

Показатели биоразнообразия в сосновых насаждениях
Biodiversity indicators in pine plantations

Виды растений	Сосн. черничн.	Сосн. брусничн.	Сосн. куст.-сф.	Сосн. мох.-лиш.
Живой напочвенный покров				
Количество видов	15,88±1,28	12,22±1,28	17,00	14,53±1,11
Изменчивость, %	33,2	31,4	–	29,5
Травяно-кустарничковый ярус				
Количество видов	9,94±0,71	6,33±0,93	11,00	5,93±0,64
Изменчивость, %	29,4	44,0	–	42,0
Индекс Шеннона	1,75±0,05	1,32±0,10	2,14	1,39±0,09
Изменчивость, %	12,8	23,1	–	26,4
Показатель выравненности	0,78±0,02	0,75±0,05	0,89	0,83±0,02
Изменчивость, %	9,2	18,3	–	11,5
Мохово-лишайниковый ярус				
Количество видов	5,94±0,70	5,89±0,79	6,00	8,60±0,64
Изменчивость, %	48,9	40,2	–	28,8
Индекс Шеннона	1,34±0,08	1,34±0,13	1,55	1,63±0,06
Изменчивость, %	23,5	29,9	–	14,5
Показатель выравненности	0,81±0,02	0,81±0,05	0,86	0,77±0,02
Изменчивость, %	9,0	18,0	–	9,7

В кустарничково-сфагновом типе леса можно выделить 4 класса видов растений. Эудоминанты, к которым относится *Sphagnum sp*. Доминанты, в состав которых входит *Polytricum commune*. Субдоминанты, включающие *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum sp*., *Sphagnum capillifolium*, *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum fuscum*, *Dicranum scoparium* и *Polytrichum juniperinum*. Рецеденты, состоящие из *Pleurozium schreberi*. Остальные виды относятся к субрецедентам, имеющим относительное обилие менее 1 %.

В мохово-лишайниковом типе леса можно выделить 5 классов видов растений. Эудоминанты, к которым относится *Cladonia sylvatica*. Доминанты, в состав которых входит *Cladonia rangiferina* и *Pleurozium schreberi*. Субдоминанты, включающие *Dicranum scoparium*, *Cladonia elongata*, *Cladonia alpestris* и *Cladonia coccifera*. Рецеденты, состоящие из *Cladonia gracilis* и *Cladonia sp*. Остальные виды относятся к субрецедентам, имеющим относительное обилие менее 1 %.

Расчет средних значений показателей биоразнообразия в различных типах сосняков (табл. 2) показал, что в большинстве своем они достоверны. Критерий Стьюдента расчетный ($t1$) значительно больше табличного и колеблется от 6,8 до 45,9.

Количество видов на пробных площадях (видовое богатство) в напочвенном покрове в разных типах сосновых насаждений колеблется от 12 до 17. Это ниже, чем в пригородных лесах г. Архангельска, где в сосняках черничных наблюдается 21 вид (Бурова, Феклистов, 2007). Наибольшее число видов характерно для сосняков кустарничково-сфагновых, наименьшее – для сосняков брусничных и мохово-лишайниковых. Это говорит о том, что с ростом влажности почвы количество видов увеличивается, а с ее снижением – уменьшается. Согласно А.В. Тюрину (1961), изменчивость этого показателя для сосняка мохово-лишайникового – средняя, для черничного и брусничного типов леса – большая. Но отличия между ними незначительные.

В травяно-кустарничковом ярусе количество видов колеблется от 6 до 11. Это сопоставимо с пригородными лесами г. Петрозаводска (средняя тайга), где в сосняках чернично-брусничных их число составляет 10 видов, а в сосняках бруснично-черничных – 7 (Кравченко, 1991). И значительно ниже, чем в сосновых лесах о. Валаам (средняя тайга), где в сосняке черничном количество видов

колеблется от 52 до 70, сосняке брусничном – от 48 до 61 и в сосняке лишайниково-каменистом – от 51 до 60 (Кравченко, 1991). Индекс Шеннона изменяется от 1,32 до 2,14. Наибольших значений показатели разнообразия достигают в сосняке кустарничково-сфагновом (11 видов, индекс Шеннона равен 2,14), наименьших в сосняках брусничном и мохово-лишайниковом (6 видов, индекс Шеннона равен 1,32–1,39). Изменчивость числа видов, по А.В. Тюрину (1961), для сосняка черничного – средняя, брусничного и мохово-лишайникового – большая. Изменчивость индекса Шеннона для всех типов леса – средняя и ниже, чем для количества видов. Это связано с более выравненным характером индекса Шеннона. Показатель выравненности имеет значительные величины, колеблется от 0,75 до 0,89. Это говорит о высокой выравненности видов растений по обилию и свидетельствует о низкой межвидовой конкуренции. Изменчивость показателей видового разнообразия выше для сосняков брусничного и мохово-лишайникового типов леса, что указывает на более значительное колебание биоразнообразия и соответственно условий среды в этих насаждениях.

Количество видов мохово-лишайникового яруса колеблется от 6 до 9, а индекса Шеннона – от 1,34 до 1,63. Для сосняков черничного и кустарничково-сфагнового эти значения меньше, чем в травяно-кустарничковом ярусе. Для брусничного – сопоставимы. А для мохово-лишайникового – больше и достигают максимальных величин в данном ярусе по сравнению с другими типами леса. Все это является следствием значительного снижения конкуренции со стороны растений травяно-кустарничкового яруса в этом типе насаждения. Показатель выравненности для сосняков, как и в предыдущем случае, имеет высокие значения и изменяется от 0,77 до 0,86. Изменчивость показателей биоразнообразия имеет схожий с травяно-кустарничковым ярусом характер, только акцент смещен в сторону мохово-лишайникового типа леса. Для него характерны менее значительные величины изменчивости.

Таким образом, живой напочвенный покров в сосновых насаждениях Соловецкого архипелага включает 57 видов растений, из которых 30 видов входит в состав травяно-кустарничкового яруса, а 27 видов – мохово-лишайникового яруса.

Травяно-кустарничковый ярус состоит из растений 21 семейства. В наибольшей степени, восемью видами, представлено семейство вересковые (*Ericaceae*). Виды данного семейства в сосняках выступают в качестве доминантных: черника, брусника и вереск обыкновенный обладают значительным обилием (индекс доминирования составляет 20,8–41,9 %). Остальные семейства представлены лишь двумя (злаки, *Graminaea* и осоки, *Cyperaceae*) или одним видом растений. Среди них довольно высокого обилия достигают водяниковые (*Empetraceae*) (вороника, I_B = 9,5–24,9 %) и злаки (*Graminaea*) (лерхенфельдия извилистая, I_B = 2,9–13,2 %), в кустарничково-сфагновых типах леса – розоцветные (*Rosaceae*), березовые (*Betulaceae*) и осоковые (*Cyperaceae*). Виды остальных семейств не имеют существенного обилия или редки.

В соответствии с фитоценотической приуроченностью преобладают лесные виды, значительное число видов относится к болотно-лесным и болотным, опушечно-лесным и опушечно-боровым. По географической принадлежности большая часть видов является циркумбореальными и субциркумбореальными. Из общего числа видов растений 21 вид принадлежит арктической, умеренно-теплой природной зоне, 9 видов – умеренно теплой природной зоне. Распределение видов растений по жизненным формам продемонстрировало, что доминируют гемикриптофиты (с почками возобновления на поверхности почвы) и хамефиты (с почками возобновления, расположенными в неблагоприятный сезон близко к поверхности почвы).

В зависимости от типа леса мохово-лишайниковый ярус в основном формируют зеленые и сфагновые мхи, а также лишайники семейства *Cladoniaceae*, которое среди остальных семейств представлено наибольшим (восемью) числом видов. Также достаточно много (шесть) видов у мхов семейства *Sphagnaceae*. Остальные семейства представлены 1–3 видами растений.

Биоразнообразие напочвенного покрова сосновых насаждений Соловецких островов невысокое, количество видов ниже, чем в пригородных лесах города Архангельска или на острове Валаам. Наибольшее число видов характерно для сосняков кустарничково-сфагновых (в них представлены наиболее влажные условия местопроизрастания), наименьшее – для сосняков брусничных и мохово-лишайниковых (наиболее сухие). Значение выравненности видов растений по обилию высокое, что свидетельствует о низкой межвидовой конкуренции. Наибольших величин выравненность достигает в кустарничково-сфагновых сосняках, что приводит к снижению количества классов доминирования в них до четырех.

Библиографический список

1. Соболев, А.Н. Состояние, структура и характер роста естественных сосновых насаждений Соловецкого архипелага / А.Н. Соболев, П.А. Феклистов // Современные проблемы притундровых лесов: материалы Всероссийской конференции с международным участием, 4–9 сентября 2012 г. / Федер. гос. автоном. образоват. учреждение высш. проф. образования Сев. (Арк.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова и др. – Архангельск, 2012. – С. 180-185.
2. Бурова, Н.В. Антропогенная трансформация пригородных лесов / Н.В. Бурова, П.А. Феклистов. – Архангельск : АГТУ, 2007. – 264 с.
3. Тюрин, А.В. Основы вариационной статистики в применении к лесоводству / А.В. Тюрин. – М., Л. : Гослесбумиздат, 1961. – 103 с.
4. Кравченко, А.В. Влияние рекреации на некоторые лесные кустарнички семейства вересковых / А.В. Кравченко // Изучение лекарственных растений Карелии. – Петрозаводск: Карельский научный центр АН СССР, 1991. – С. 104–124.
5. Balogh, J. Lebensgemeinschaften der Landtiere / J. Balogh. – Berlin : Akad-Verl; Budapest : Verl. ung. Akad. Wiss, 1958. – 560 p.
6. Stцcker, G. Ein Modell der Dominanzstruktur und seine Anwendung / G. Stцcker, A. Bergmann // Arch. Naturschutz u. Landschaftforsch. – Berlin: [s. n.], 1977. – № 17(1). – S. 1-26.
7. Raunkiaer, C. The life forms of plants and statistical plant geography / C. Raunkiaer. – Oxford, 1934. – 632 p.

SOIL COVER IN PINE FORESTS ON THE SOLOVKI ARCHIPELAGO

Sobolev A.N., Cand. of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the «Solovki State Historical and Architectural Museum-Reserve», Feklistov P.A., Dr of Agricultural Sciences, professor, corresponding member of the Academy of Natural Sciences. Head of the Department of Ecology and Forest Protection of NArFU,

alex-sobol@mail.ru, pfeklistov@yandex.ru
Federal State Organization Culture «Solovki State Historical and Architectural Museum-Reserve», Arkhangelsk region, village Solovetsky, 164070
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, nab. North. Dvina, 17, Department of Ecology and Forest Protection, 163002

The aim of this study is the evaluation of the forest on the Arctic islands. The study represents the results of research the species composition as well as the diversity of the ground cover in pine forests on the Solovki archipelago. The ground cover of pine forests on Solovki consists of 57 species of plants. The grass-shrub layer consists of 21 families of plants. The family Ericaceae prevails here. This family is represented by the largest number of species. Species of this family prevail in the pine forests. In accordance with phytocoenotic confinement forest species predominate in this tier, a significant number of those belong to the swamp-forest and swamp, forest-margin and margin-pine forest. Due to geographic accessories most species are circumboreal and subcircumboreal. 70 % of them belong to the arctic, temperate warm natural area. Distribution of plant species on the forms of life (Raunkiaer, 1934) demonstrates the predominance of hemicryptophytes (with regeneration buds on the soil surface) and hamefity (with regeneration buds, which are located close to the surface in an unfavorable season). Due to the type of forest moss tier as well as lichen tier are mainly composed of mosses Bryidae and Sphagnaceae and lichens of the family Cladoniaceae. They represent the largest number of species. Biodiversity of the ground cover of pine forests Solovetsky Islands is low. The greatest number of species is typical for pine shrub-sphagnum (with the wettest conditions of the site) and the smallest one – for pine cranberry and moss-lichen (with the driest conditions). The evenness of plant species abundance is high, and that indicates the low interspecific competition. The highest uniformity is in shrub-sphagnum pine forests, which reduces the number of classes in their dominance to four.

Key words: pine forest, soil cover, species composition, species diversity, islands, Solovki

References

1. Sobolev A.N., Feklistov P.A. *Sostoyanie, struktura i kharakter rosta estestvennykh sosnovykh nasazhdeniy Solovetskogo arkhipelaga* [State, structure and growth pattern of natural pine stands on the Solovki archipelago]. *Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennye problemy pritundrovykh lesov»* [Materials of All-Russian conference with international participation «Modern problems of pre-tundra forests»]. Arkhangelsk, 2012, pp. 180-185.

2. Burova N.V., Feklistov P.A. *Antropogennaya transformatsiya prigorodnykh lesov* [Anthropogenic transformation of suburban forests]. Arkhangelsk, AGTU Publ., 2007. 264 p.
3. Tyurin A.V. *Osnovy variatsionnoy statistiki v primenenii k lesovodstvu* [Basics of variation statistics as applied to forestry]. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1961. 103 p.
4. Kravchenko A. V. *Vliyanie rekreatsii na nekotorye lesnye kustarnichki semeystva vereskovykh* [Impact recreation on some forest dwarf shrubs family *Ericaceae*]. *Izuchenie lekarstvennykh rasteniy Karelii* [Study of medicinal herbs of Karelia]. Petrozavodsk, 1991. pp. 104-124.
5. Balogh J. Lebensgemeinschaften der Landtiere. Berlin : Akad-Verl; Budapest : Verl. ung. Akad. Wiss, 1958. 560 p.
6. Stцcker G., Bergmann A. Ein Modell der Dominanzstruktur und seine Anwendung. Arch. Naturschutz u. Landschaftforsch. Berlin: [s. n.], 1977. № 17(1). S. 1-26.
7. Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford, 1934. 632 p.

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ В ЗОНЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ НА ПРИМЕРЕ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

И.И. ДРОЗДОВ, *проф. каф. искусственного лесовыращивания и механизации лесохозяйственных работ МГУЛ, д-р с.-х. наук, акад. РАЕН,*
А.А. ПРИСТАВКО, *асп. каф. искусственного лесовыращивания и механизации лесохозяйственных работ МГУЛ, гл. инженер проекта ФГУП «Рослесинфорг»,*
И.А. ПРИСТАВКО, *асс. каф. лесных культур и почвоведения, канд. с.-х. наук БГИТА*

pristavko_andrei@list.ru, ivan.pristavko@yandex.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»,
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ
ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия»,
241037, г. Брянск, проспект Станке Димитрова, 3
ФГУП Рослесинфорг 109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 45, стр. 1

При решении проблемы воспроизводства лесных ресурсов искусственное лесовозобновление приобретает большие объемы и значимость. Программой исследования предусматривалось изучение особенностей роста лесных культур сосны обыкновенной в зоне широколиственных лесов. В статье приводятся результаты обработки данных, полученных при проведении измерений на 10 пробных площадях, заложенных в лесных культурах сосны обыкновенной, созданных на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования. Приводятся показатели средних высот, средних диаметров, сохранности лесных культур и их зависимость от первоначальной густоты, схемы смешения, способа создания, плодородия почвы. Анализ и статистическая обработка полученных результатов позволяют сделать следующие выводы. Чем больше в схемах смешения пород присутствие лиственных пород, тем выше средняя высота и средний диаметр сосны в культурах одного возраста, средняя высота и средний диаметр оказался меньше в объектах исследования, в которых лесные культуры создавались механизированным способом, и в результате почвенного анализа было выявлено меньшее содержание гумуса. При более плотной посадке культур усиливаются конкурентные взаимоотношения деревьев, и сохранность деревьев сосны оказывается ниже, в смешанных культурах усиливается положительное влияние лиственных пород и сохранность деревьев сосны выше. На землях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования, определенным преимуществом в росте обладают смешанные сосново-березовые культуры. Данные насаждения более устойчивы, формируют больший диаметр и высоту, имеют более высокую сохранность, по сравнению с чистыми культурами.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна, зона широколиственных лесов, рост лесных культур.

Одной из основных проблем лесного хозяйства России является воспроизводство лесных ресурсов, что осуществляется за счет естественного и искусственного лесовозобновления. Последнее направление приобретает все большие объемы и значимость. При этом целенаправленно решается комплекс задач – создание высокопродуктивных насаждений наиболее ценного видового состава, выполнение ими экологических, средообразующих и рекреационных функций [4].

Е.М. Романов, Н.В. Еремин, Т.В. Нуреева [5] отмечают, что наиболее активным способом лесовосстановления хозяйственно ценных древесных пород на площадях с затрудненными для естественного возобновления условиями признано создание лесных культур. Этот способ позволяет сократить сроки «простоя» земли и обеспечить восстановление леса в течение 7–10 лет; повысить производительность выращиваемого насаждения за счет использования семян и посадочного материала с наследственными

свойствами, а также в результате применения соответствующей агротехники; создать высокополнотные насаждения с возможностью получения древесины при проведении рубок ухода; раньше и полнее использовать защитные, природоохранительные и экологические функции леса.

Программой исследования предусматривалось изучение особенностей роста лесных культур сосны обыкновенной в зоне широколиственных лесов.

Исследования проводились на участках культур сосны обыкновенной ГКУ «Злынковское лесничество» Брянской области.

Объект исследования – наиболее характерные распространенные, хозяйственно-важные и производственные культуры сосны обыкновенной.

Сбор исходного материала производился методом обследования участков и закладки пробных площадей на основе материалов лесоустройства и книги лесных культур.

На основании полученных данных сделано заключение о пригодности участков для закладки пробных площадей. Было подобрано 10 участков с культурами хорошего и удовлетворительного состояния, на которых были заложены временные пробные площади в соответствии с ГОСТ 16128-70 «Площади пробные лесоустроительные (метод закладки)» [2].

Пробные площади имели, как правило, прямоугольную форму с количеством деревьев главной породы (сосна обыкновенная), обеспечивающим точность нахождения среднего диаметра на уровне 3 % [1]. Длинная сторона пробной площади направлена вдоль рядов. Длины сторон пробной площади измеряли мерной лентой с точностью до 0,1 м. Для установления схемы посадки было выполнено по 10 измерений ширины междурядий и расстояний между растениями в ряду (шаг посадки).

На пробных площадях производился сплошной перечет деревьев по диаметру с точностью до 1 см при помощи мерной вилки, у каждого пятого дерева измерялась высота с применением высотомера Suunto PM-5. По полученным данным строился график высот. На основании данных измерительной таксации по общепринятым методам [1] рассчитывали таксационные характеристики древостоев (средний диаметр, высота, полнота, запас).

Статистическая обработка полевого материала производилась на персональном компьютере для выявления средних показателей роста сосновых культур. Для этой цели применялась программа «Статистика», разработанная доцентом кафедры лесных культур почвоведения Брянской государственной инженерно-технологической академии С.И. Марченко и средства электронной таблицы «Microsoft Excel». Показатель существенности различия *t* определяется по формуле

$$t=\frac{M_{x1}-M_{x2}}{\sqrt{m^2_{Mx1}+m^2_{Mx2}}}, \quad (1)$$

где M_x – средняя величина признака;

$\pm m_{Mx}$ – ошибка средней величины признака;

Информация о местоположении временных пробных площадей представлена в табл. 1.

Таксационная характеристика лесных культур сосны обыкновенной представлена в табл. 2.

Наблюдения показали, что все рассматриваемые участки лесных культур сосны обыкновенной характеризуются хорошим ростом, отсутствием ослабленных деревьев и произрастают по I^a и I классам бонитета. Лучший рост сосны обыкновенной отмечается в условиях свежей простой и сложной субори.

С целью установления физико-химических свойств верхнего корнеобитаемого слоя почвы на каждой пробной площади была заложена одна прикопка глубиной около 30 см. Изученные культуры сосны обыкновенной произрастают на дерново-подзолистых антропогенно-измененных (старопахотных) почвах. В результате лабораторного анализа отобранных образцов почвы для верхнего слоя 0–30 см определялись следующие агрохимические показатели: pH, содержание калия, фосфора, гумуса (табл. 3).

По уровню кислотности рассматриваемые почвы имеют сильнокислую и среднекислую реакцию среды, что характерно для дерново-подзолистых почв [9]. В основном для данных почв характерна низкая и средняя

Таблица 1

Информация о местоположении временных пробных площадей
Information about the location of temporary plots

№ п/п	Лесничество	Участковое лесничество	Номер квартала	Номер выдела	Площадь пробы, га
1	Злынковское	Климовское	3	9	0,31
2	Злынковское	Климовское	5	6	0,15
3	Злынковское	Климовское	4	27	0,13
4	Злынковское	Климовское	6	17	0,15
5	Злынковское	Климовское	4	7	0,13
6	Злынковское	Климовское	4	20	0,07
7	Злынковское	Климовское	22	6	0,06
8	Злынковское	Климовское	4	7	0,11
9	Злынковское	Климовское	108	3	0,36
10	Злынковское	Климовское	108	6	0,21

Таблица 2

Таксационная характеристика лесных культур сосны обыкновенной
Taxation characteristics of Scots pine plantations

Схема смешения пород	Состав лесных культур	Способ обработки почвы	Способ посадки	Размещение посадочных мест	Возраст, лет	ТЛУ	Порода	Число стволов на 1 га, шт.	Средние		Сумма площадей сечения, $м^2$/га	Полнота	Запас, $м^3$/га
									высота, м	диаметр, см			
6рС2рБ 1рД1рБ	6С3Б1Д	бороздная	ручная	2,8×0,7	46	$В_2$	С Б Д	319 265 87	22,4 23,1 10,9	22,3 23,6 12,5	12,44 11,53 1,07 25,04	0,34 0,44 0,04 0,82	131,9 119,3 6,7 257,9
6рС4рЕ	6С4Е	бороздная	ручная	1,5×0,7	46	$В_2$	С Е	587 427	21,7 18,5	21,2 15,7	20,71 8,83 29,54	0,56 0,22 0,78	214,2 77,6 291,8
7рС3рБ	7С3Б	бороздная	механизированная	2,2×0,7	29	$А_2$	С Б	1323 508	14,6 15,4	12,9 11,0	17,2 4,85 22,05	0,6 0,23 0,83	132,7 36,1 168,8
7рС3рБ	7С3Б	бороздная	ручная	2,8×0,8	29	$В_2$	С Б	980 373	16,0 16,2	14,8 12,5	16,8 4,56 21,36	0,59 0,22 0,81	138,6 34,9 173,5
6рС4рБ	6С4Б	бороздная	ручная	2,8×0,7	15	$С_2$	С Б	1023 731	9,8 11,8	10,7 8,9	9,16 4,56 13,72	0,52 0,32 0,84	51,6 27,0 78,6
6рС4рБ	6С4Б	бороздная	механизированная	2,2×0,7	15	$В_2$	С Б	2086 1000	7,1 9,4	7,1 6,7	8,34 3,49 11,83	0,5 0,25 0,75	38,2 17,4 55,6
7рС3рБ	7С3Б	бороздная	механизированная	3,5×0,7	13	$В_2$	С Б	2698 654	8,7 8,6	7,9 6,2	13,10 1,99 15,09	0,71 0,13 0,84	70,1 9,3 79,4
6рС4рБ	6С4Б	бороздная	ручная	2,8×0,7	13	$В_2$	С Б	1218 676	9,3 9,1	9,2 8,3	8,18 3,65 11,83	0,52 0,28 0,80	45,1 17,1 62,2
7рС3рБ	6С4Б	сплошная	ручная	2,8×0,7	72	$В_3$	С Б	428 131	24,2 24,8	25,9 24,6	22,58 6,26 28,84	0,52 0,21 0,73	254,4 69,1 323,5
10С	10С	сплошная	ручная	1,5×0,7	72	$В_3$	С	739	22,5	23,9	33,22	0,77	351,2

Таблица 3

Физико-химические свойства верхнего слоя (0–30 см) дерново-подзолистых почв на пробных площадях

Physico-chemical properties of the upper layer (0–30 cm) of sod-podzolic soils on the test areas

Механический состав	pH_{KCl}	Гумус, %	Запас элементов, кг/га		
			азот	фосфор	калий
песок	4,1	0,76	11,9	171,6	39
песок	4,4	0,62	9,7	202,8	32,4
песок	4,5	0,47	7,3	342,0	42,9
песок	4,5	0,49	7,6	214,5	36,3
супесь	4,4	0,43	6,7	408,3	53,4
песок	4,7	0,12	1,9	344,4	35,1
супесь	4,6	0,46	7,2	436,8	30,0
песок	4,6	0,50	7,8	266,4	27,3
песок	4,4	0,39	6,1	519,9	79,2
супесь	4,6	0,49	7,6	211,8	39,0

Таблица 4

Результаты сравнительного анализа средней высоты культур сосны по объектам исследования

A comparative analysis of the average height of pine on the objects of research

№ п/п	Схема смешения пород	ТЛУ	Возраст, лет	Бонитет	Средняя величина, м	Осн. ошибка средней величины	Количество наблюдений	Коэффициент существенности различий
1	6рС2рБ 1рД1рБ	B_2	46	I	22,4	0,65	50	0,82
2	6рС4рЕ	B_2	46	I	21,7	0,55	50	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,98; 99 % – 2,63; 99,9 % – 3,39.								
3	7рС3рБ	A_2	29	I	14,6	0,25	50	3,73
4	7рС3рБ	B_2	29	I	16,0	0,28	50	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,98; 99 % – 2,63; 99,9 % – 3,39.								
5	6рС4рБ	C_2	15	I	9,8	0,25	50	8,27
6	6рС4рБ	B_2	15	I	7,1	0,21	50	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,98; 99 % – 2,63; 99,9 % – 3,39.								
7	7рС3рБ	B_2	13	I^a	8,7	0,27	50	1,09
8	6рС4рБ	B_2	13	I^a	9,3	0,48	50	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,98; 99 % – 2,63; 99,9 % – 3,39.								
9	7рС3рБ	B_3	72	I	24,2	0,61	50	2,24
10	10С	B_3	72	I	22,5	0,45	40	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,99; 99 % – 2,63; 99,9 % – 3,40.								

обеспеченность в подвижном фосфоре и очень низкая в обменном калии (по Кирсанову).

В целом изученные почвенные условия благоприятны для роста сосны обыкновенной, которая произрастает здесь по I^a–I классам бонитета.

Средняя высота культур сосны в объектах исследования представлена в табл. 4.

Опад лиственных пород ускоряет процесс разложения лесной подстилки в сосновых культурах и тем самым возврат в почву основных элементов минерального питания, необходимых для роста и развития сосны, протекает быстрее. Анализ полученных данных согласуется с исследованиями ряда авторов, указывающих на положительную роль лиственных пород в смешанных культурах сосны. Чем больше в схемах смешения пород присутствие лиственных пород, тем выше средняя высота сосны в культурах одного возраста (пробные площади 1–2, 7–8, 9–10). Причем, существенные различия на 95 % уровне значимости

Таблица 5

Результаты сравнительного анализа диаметров культур сосны по объектам исследования
A comparative analysis of the diameters of pine on the objects of research

№ п/п	Схема смешения пород	ТЛУ	Возраст, лет	Бонитет	Средняя величина, см	Осн. ошибка средней величины	Количество наблюдений	Коэффициент существенности различий
1	6рС2рБ 1рД1рБ	B_2	46	I	22,3	0,47	183	1,65
2	6рС4рЕ	B_2	46	I	21,2	0,47	202	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,97; 99 % – 2,59; 99,9 % – 3,32.								
3	7рС3рБ	A_2	29	I	12,9	0,26	215	4,44
4	7рС3рБ	B_2	29	I	14,8	0,34	204	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,97; 99 % – 2,59; 99,9 % – 3,31.								
5	6рС4рБ	C_2	15	I	10,7	0,27	230	10,71
6	6рС4рБ	B_2	15	I	7,1	0,20	216	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,97; 99 % – 2,59; 99,9 % – 3,31.								
7	7рС3рБ	B_2	13	I^a	7,9	0,18	198	4,11
8	6рС4рБ	B_2	13	I^a	9,2	0,26	205	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,97; 99 % – 2,59; 99,9 % – 3,31.								
9	7рС3рБ	B_3	72	I	25,9	0,48	212	3,47
10	10С	B_3	72	I	23,9	0,32	185	
Критич. значения t для уровней значимости: 95 % – 1,97; 99 % – 2,59; 99,9 % – 3,32.								

были отмечены только у чистых (ПП № 10) и смешанных (ПП № 9) культур сосны обыкновенной в приспевающем возрасте. Кроме того, как отмечает А.Р. Родин [4], при создании смешанных сосновых лесных культур доля участия березы должна составлять 2–3 единицы, что способствует формированию более продуктивного насаждения.

Коэффициент существенности различия, значимый на 99,9 %, по средней высоте для культур в 29-летнем (t_s = 3,73), и 15-летнем (t_{st} = 8,27) возрасте оказался самым высоким, хотя схемы смешения пород одинаковые. Это можно связать со способом посадки лесных культур. Во всех объектах исследования при механизированном способе посадки средние высоты оказались ниже. Кроме того, при химическом анализе образцов почвы в объектах исследования с низким содержанием гумуса средние высоты одновозрастных лесных культур сосны оказались ниже.

Данные среднего диаметра культур сосны в объектах исследования представлены в табл. 5.

Рост по диаметру связан с последующей густотой культур. Чем меньше густота верхнего полога, тем интенсивнее деревья растут по диаметру. Эта закономерность согласуется с выводами А.К. Полякова [6] о том, что в одновозрастных культурах с увеличением густоты стояния деревьев уменьшается средний диаметр.

С увеличением дифференциации стволов в смешанных культурах за счет роста сосны древесный полог приобретает ярусность или ярко выраженную ступенчатость. Это приводит к увеличению освещенности крон деревьев перового яруса, а соответственно и к повышению продуктивности световой хвои [7].

Из изложенного следует, что в смешанных культурах диаметр сосны выше, чем в чистых культурах.

Это подтверждается и проведенными исследованиями. Чем больше в схемах смешения пород присутствие лиственных пород, тем выше средний диаметр сосны в культурах одного возраста. Так выявлены существенные различия со значимостью 99,9 % в диаметрах сравнительных культур сосны в 13-ти (t_{st} = 4,11) и 72-летнем (t_{st} = 3,47) возрастах.

Как и в случае со средней высотой сосны, средний диаметр оказался меньше в объектах исследования, в которых лесные культуры создавались механизированным способом, и в результате почвенного анализа было выявлено меньшее содержание гумуса.

Таблица 6

Густота культур сосны обыкновенной в объектах исследования
Density cultures of Scots pine in the objects of study

Схема смешения пород	ТЛУ	Возраст, лет	Размещение посадочных мест, м	Число стволов, шт./га			% сохранности
				порода	посажено	сохранилось	
6рС2рБ 1рД1рБ	B_2	46	2,8×0,7	С Б Д 5102	3061 1531 510	319 265 87	10,4 17,3 17,1
6рС4рЕ	B_2	46	1,5×0,7	С Е 9524	5714 3810	587 427	10,3 11,2
7рС3рБ	A_2	29	2,2×0,7	С Б 6494	4546 1948	1323 508	29,1 26,1
7рС3рБ	B_2	29	2,8×0,8	С Б 4464	3125 1339	980 373	31,3 27,9
6рС4рБ	C_2	15	2,8×0,7	С Б 5102	3061 2041	1023 731	33,4 35,8
6рС4рБ	B_2	15	2,2×0,7	С Б 6494	3896 2598	2086 1000	53,5 38,5
7рС3рБ	B_2	13	3,5×0,7	С Б	2857 1225	2698 654	94,4 53,4
6рС4рБ	B_2	13	2,8×0,7	С Б	3061 2041	1218 676	39,8 33,1
7рС3рБ	B_3	72	2,8×0,7	С Б	3571 1531	428 131	12,0 8,6
10С	B_3	72	1,5×0,7	С	9524	739	7,6

Сохранность – важный лесокультурный показатель, характеризующий состояние лесных культур в момент формирования древостоя. Сохраняемость определяется отношением посадочных мест в настоящее время к первоначальной густоте и выражается в %. Густота культур сосны обыкновенной в объектах исследования представлена в табл. 6.

В возрасте 13 лет в смешанных сосново-березовых культурах при плотной посадке, т.е. при размещении посадочных мест на лесокультурной площади 2,8×0,7 м, сохранность сосны составила 39,8 % (проба № 8), а с размещением 3,5×0,7 м – 94,4 % (проба № 7). Это объясняется тем, что при меньшей ширине междурядья усиливаются конкурентные отношения между растениями, что приводит к самоизреживанию деревьев главной породы. Эта тенденция наблюдается и на остальных объектах исследования, за исключением 15-летнего возраста. Здесь сохранность сосны на пробе № 6 с размещением 2,2×0,7 оказалась выше, чем на пробе № 5 с размещением 2,8×0,7, культуры на пробе № 6 отстают в росте, показатель существенности различий по высоте и диаметру составляет 8,27 и 10,71 соответственно.

Об аналогичном явлении говорит и А.И. Писаренко [8], отмечая, что в перегущенных культурах усиливаются конкурентные взаимоотношения деревьев, тормозится рост главной породы. Допускать эти конкурентные отношения нельзя, т.к. они понижают продуктивность создаваемых искусственных лесонасаждений.

Анализируя сохранность чистых и смешанных сосновых культур в 72-летнем возрасте, следует отметить и тот факт, что в смешанных сосново-березовых культурах сохранность составила 12 %, а в чистых оказалась меньше

(7,6 %). Это объясняется тем, что лиственные породы положительно влияют на рост и устойчивость сосен, т.к. образуют в почве мягкий гумус и предохраняют сосну от энтомо- и фитовредителей (корневая губка, подкорный клоп). Лесная подстилка лиственных пород в насаждениях выполняет роль мульчирования. Ее слой уменьшает промерзание почвы, она имеет высокую влагоемкость, защищает почву от чрезмерного испарения влаги и сильного нагревания, предотвращает заклеивание почвенных скважин и капилляров, способствует превращению поверхностного стока воды во внутрипочвенный, служит источником обогащения грунта питательными веществами. Кроме того, опад в смешанных насаждениях разлагается в 1,5–2 раза быстрее, чем в чистых древостоях.

В результате проведенных исследований было установлено, что на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования, определенным преимуществом в росте обладают смешанные сосново-березовые культуры. Данные насаждения более устойчивы, формируют больший диаметр и высоту, имеют более высокую сохранность по сравнению с чистыми культурами.

Библиографический список

1. Верхунов, П.М. Таксация леса: учеб. пособие / П.М. Верхунов, В.Л. Черных. – Йошкар-Ола : Мар. гос. тех. ун-т, 2007. – 396 с.
2. ГОСТ 16128–70. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. – М. : Издательство стандартов, 1971. – 23 с.
3. Итешина, Н.М. Лесорастительные свойства дерново-подзолистых почв Прикамья / Н.М. Итешина, А.Д. Корепанов, А.В. Петров // Вестн. Удмурт. ун-та. – 2011. – № 3. – С. 132–135.
4. Родин, А.Р. Лесные культуры: учеб. для вузов спец. 260400 / А.Р. Родин. – М. : МГУЛ, 2002. – 268 с.
5. Романов, Е.М. Искусственное лесовосстановление: мониторинг и повышение эффективности / Е.М. Романов, Н.В. Еремин, Т.В. Нуреева // Лесное хоз-во. – 2008. – № 1. – С. 31–33.
6. Поляков, А.К. Определение оптимальной густоты сосны в свежей субори / А.К. Поляков // Лесное хоз-во. – 1973. – № 12 – С. 14–18.
7. Шутов, И.В. Значение неравномерного размещения деревьев в культурах сосны / И.В. Шутов, Л.Н. Товкач, Н.М. Минакова // Лесное хоз-во. – 2001. – № 4 – С. 25–27.
8. Писаренко, А.И. Создание искусственных лесов / А.И. Писаренко, М.Д. Мерзленко. – М.: Агропромиздат, 1990. – 270 с.
9. Постановление Администрации Брянской области от 06.04.2011 № 304 (ред. от 27.04.2012) «Об утверждении Лесного плана Брянской области в новой редакции».
10. Сухоруков, А.С. Успешность роста и состояния сосны в смешанных культурах / А.С. Сухоруков // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2010. – № 1. – С. 17–21.
11. Биржов, А.В. Общая фитомасса лесных культур сосны различной густоты посадки к возрасту спелости в Брянском лесном массиве / А.В. Биржов, В.И. Шошин // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2009. – № 2. – С. 24–27.

GROWTH PINE FOREST IN THE ZONE BROADLEAF FORESTS IN THE EXAMPLE OF BRYANSK AREA

Drozdov I.I., Prof. of artificial forest growing mechanization of forest operations Doctor of Agricultural Sciences, Academy of Natural Sciences, MSFU, Pristavko A.A., graduate student artificial forest growing mechanization of forest operations, MSFU, Chief Project Engineer FSUE «Roslesinforg», Pristavko I.A., Assistant of the Department of Soil Science and forest crops, Candidate of Agricultural Sciences Bryansk State Academy of Engineering and Technology

pristavko_andrei@list.ru, ivan.pristavko@yandex.ru
Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia
Federal State Unitary Enterprise Roslesinforg, 109316, Moscow, Volgograd Prospect, 45, build. 1
Bryansk State Academy of Engineering and Technology, 241037, Bryansk Prosp. Stanke Dimitrov, 3

In addressing reproduction of forest resources artificial reforestation acquires large volumes and significance. Research program envisaged the study of features of the growth of Scots pine plantations in the deciduous forest zone. The results of the data obtained during the measurements on 10 test plots embedded in Scots pine forest plantations established on lands runaway agricultural use. Figures are the average heights, average diameters of conservation of forest crops and their dependence on the initial density, mixing schemes, ways to create soil fertility. Analysis and statistical analysis of the results obtained suggest the following conclusions. The more mixing schemes hardwood species presence, the higher the average height and average diameter pine in cultures of the same age, average height and average diameter was smaller in the test subjects, in which forest plantations created by mechanized means and as a result of soil analysis revealed a lower content humus. In more dense planting crops intensified competitive relationship trees, pine trees and safety is lower in mixed cultures enhanced the positive impact of hardwood and pine trees above safety. On land runaway agricultural use, a definite advantage in growth have mixed pine-birch culture. These plantings are more stable form and a diameter greater height have a higher safety as compared with pure cultures.

Key words: forest plantations, pine, zone of deciduous forests, crop forest plantations

References

1. Verkhunov P.M., Chernykh V.L. *Taksatsiya lesa* [Valuation of the forest: a tutorial]. Yoshkar-Ola : Mariyskiy Gos. Tekh. Univ., 2007. 396 p.
2. GOST 16128–70. *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metody zakladki* [State Standard 16128-70. Square test forest management. Methods of bookmarks]. Moscow, Standartinform Publ., 1971. 23 p.
3. Iteshina N.M., Korepanov A.D., Petrov A.V. *Lesorastitel'nye svoystva dernovo-podzolistykh pochv Prikam'ya* [Forest vegetative properties of soddy-podzolic soils of Prikamye]. *Vestnik udmurtskogo universiteta* [Bulletin of Udmurt University], 2011, no.3, pp. 132-135.
4. Rodin A.R. *Lesnye kul'tury* [Forest culture: studies]. Moscow: MFSU, 2002. 268 p.
5. Romanov E.M., Eremin N.V., Nureeva T.V. *Iskusstvennoe lesovosstanovlenie: monitoring i povyshenie effektivnosti* [Artificial regeneration: monitoring and improving the efficiency]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2008, no.1, pp. 31-33.
6. Polyakov A.K. *Opredelenie optimal'noy gustoty sosny v svezhey subori* [Determination of the optimal density of pine fresh subordi]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1973, no.12, pp. 14-18.
7. Shutov I.V., Tovkach L.N., Minakova N.M. *Znachenie neravnomernogo razmeshcheniya derev'ev v kul'turakh sosny* [Value of uneven allocation of trees in pine cultures]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2001, no.4, pp. 25-27.
8. Pisarenko A.I., Merzlenko M.D. *Sozdanie iskusstvennykh lesov* [The creation of artificial forests]. Moscow, Agropromizdat, 1990. 270 p.
9. Decree of the Administration of the Bryansk region of 06.04.2011 N 304 (amended on 27.04.2012) «On approval of Forest plan of the Bryansk region in the new edition».
10. Sukhorukov A. S. *Uspeshnost' rosta i sostoyaniya sosny v smeshannykh kul'turakh subori* [Growth and success of the state of pine in mixed cultures]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2010, no.1, pp. 17-21.
11. Birzhov A.V., Shoshin V.I. *Obshchaya fitomassa lesnykh kul'tur sosny razlichnoy gustoty posadki k vozrastu spelosti v Bryanskom lesnom massive* [Total phytomass pine plantations of different planting density by the age of maturity in the Bryansk woodland]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2009, no.2, pp. 24-27.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

А.И. СМИРНОВ, *генеральный директор ООО «Разносервис»*

3642737@mail.ru

ООО «Разносервис», 103051, г. МОСКВА, пер. ЛИХОВ, д. 10

Разработанные к настоящему времени технологии выращивания основных лесообразующих пород, в том числе сосны, включают различные способы стимулирования роста сеянцев с помощью химических и биологических средств. В то же время альтернативой химическому воздействию на растения являются физические методы, такие как постоянное или переменное магнитное поле, СВЧ, радиоволны, лазер и т.д. В настоящее время известно, что электромагнитное поле искусственного происхождения является важным значимым экологическим фактором с высокой биологической активностью. Положительные результаты предыдущих исследований по обработке семян сосны и ели показали перспективность использования электромагнитного поля для стимуляции прорастания семян и позволили предположить возможность использования их на вегетирующих сеянцах. В данной работе изучали влияние низкочастотных электромагнитных полей на рост сеянцев сосны обыкновенной. Обработку сеянцев в посевном отделении питомника проводили с помощью генератора с источником питания от 12 Вольт постоянного тока. В результате обработки усилился рост сеянцев в высоту. Сеянцы имели более развитую корневую систему и массу, превышающую контроль в 2 раза. Обработка сеянцев сосны электромагнитными полями низкой частоты показала перспективность данного способа при выращивании посадочного материала с целью ускорения роста.

Ключевые слова: сеянцы, электромагнитное поле.

Государственной программой Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2012–2020 гг. в числе приоритетных направлений отмечается повышение эффективности использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов. В том числе планируется значительное увеличение доли лесных культур в общем объеме лесовосстановления [1]. Указывается также, что для реализации программы необходимо использовать современные инновационные научно-технические достижения.

Для выполнения задач по лесовосстановлению требуется разработка новых технологий выращивания посадочного материала, позволяющих в короткие сроки получить стандартные сеянцы и саженцы в необходимом количестве. Разработанные к настоящему времени технологии включают различные способы стимулирования роста сеянцев, такие как корневые и внекорневые подкормки их в процессе выращивания минеральными удобрениями, микроэлементами и регулято-

рами роста. Известно, что под воздействием стимуляторов роста и микроэлементов улучшается качество посадочного материала и повышается выход его с единицы площади питомников [2].

Альтернативой химическому воздействию на растения являются физические методы, такие как постоянное или переменное магнитное поле, СВЧ, радиоволны, лазер и т.д.

Проблема воздействия низкочастотного электромагнитного поля (НЧ ЭМП, 10–16 Гц) на различные биологические системы представляет собой одно из актуальных и активно развиваемых научных направлений в экологии. Интерес, проявляемый к данному вопросу, обусловлен, прежде всего, тем, что к низкочастотному электромагнитному полю чувствительны биологические системы с различным уровнем организации: от микроорганизмов до растений и животных, включая человека.

В настоящее время мировой общественностью признано, что электромагнитное поле искусственного происхождения является важным значимым экологическим фактором с высокой биологической активностью [3].

Сегодня ЭМП низкой интенсивности активно внедряются в различные сферы деятельности человека: промышленность, медицину, сельское хозяйство и т.д. В первую очередь, посредством применения электромагнитного воздействия, стремятся повысить урожайность различных сельскохозяйственных культур, уменьшить количество вносимых минеральных удобрений, сгладить или полностью убрать побочное действие определенных химических средств и т.д. [4].

В результате многочисленных исследований выяснено, что электромагнитные волны оказывают существенное воздействие на биологические объекты, проявляющиеся в многообразии индуцированных эффектов. Как слабые, так и сильные ЭМП оказывают достаточно выраженное влияние на морфологические, физиологические, биохимические и биофизические характеристики многих растений. Влияют на рост, развитие и размножение растительных объектов [5].

Особое внимание заслуживает изучение цитогенетических эффектов ЭМП, в частности, их действие на митоз как на один из важнейших и фундаментальных процессов, происходящих в живых организмах. Митотическое деление клеток является основой их пролиферации. Пролиферативные процессы в тканях растений в значительной степени определяют морфологические признаки растений и их физиологические характеристики, проявляющиеся в темпах развития и урожайности

Так, выявлено существенное стимулирующее влияние ЭМП малой напряженности на прорастание семян пшеницы, кукурузы и амаранта [5]. Встречаются интересные результаты исследований по повышению всхожести семян зерновых культур (пшеницы, ячменя, овса др.), подвергнутых предпосевному УВЧ-облучению, а также другие данные о стимулирующих эффектах микроволн. Значительно меньше исследований по изучению влияния электромагнитного излучения на целое растение [4, 6].

Механизм действия электромагнитного излучения на живые организмы до сих пор окончательно не расшифрован. Существует несколько гипотез, объясняющих биологическое действие электромагнитного поля. В основном они сводятся к индуцированию токов в тканях и непосредственному воздействию поля на клеточном уровне, в первую очередь с его влиянием на мембранные структуры. Предполагается, что под действием электромагнитного поля может изменяться скорость диффузии через биологические мембраны, ориентация и конформация биологических макромолекул, кроме того, состояние электронной структуры свободных радикалов. Помимо изменения проницаемости биологических мембран и ускорения активного транспорта катионов натрия под влиянием электромагнитного излучения происходит активация перекисного окисления ненасыщенных жирных кислот и разобщение процессов окисления и фосфорилирования в митохондриях.

По-видимому, механизмы биологического действия электромагнитного поля имеют, в основном, неспецифический характер и связаны с изменением активности регуляторных систем организма.

Таблица

Результаты замеров сеянцев сосны после внекорневой обработки
Measurement results of pine seedlings after foliar treatment

Вариант опыта	Длина корня, см, $M \pm m$	Высота, см, M $\pm m$	Масса корней, мг	Масса надземной части (ствол+ хвоя), мг	Масса целого растения, мг
Контроль	9,5±0,23 100	3,8±0,11 100	18,5 100	90,9 100	109,4 100
Опыт – ЭМП	11,2±0,20 118*	5,6±0,16 147*	46,1 249	180,8 199	226,9 207

Примечание: 1. В знаменателе – % относительно контроля, 2. *– различие достоверно на 5 %-ом уровне значимости ($t_{факт.} \geq t_{табл.}$)

В большей степени изучено влияние электромагнитных полей на прорастание семян, в основном сельскохозяйственных культур, в том числе зерновых. Увеличивая проницаемость клеток прорастающих семян пшеницы для входа воды и нитратов, электромагнитное поле ускоряет их прорастание [7, 8].

Использование электромагнитных полей, как при предпосевной подготовке семян, так и в период вегетации растений, повышает сопротивляемость растений к стрессовым факторам, увеличивает коэффициент использования питательных веществ из почвы, что приводит к росту урожайности культур. Показано, что воздействие электромагнитного поля увеличивает количество продуктивных стеблей, количество колосков, среднюю длину растений и колоса, увеличивает количество зерен в колосе и соответственно массу зерна. Все это приводит к увеличению урожайности на 10–15 % [9].

При обработке семян хвойных пород (сосны и ели) электромагнитными полями низкой частоты повышаются посевные качества: энергия прорастания и всхожесть. При этом эффект зависит как от начального качества семян, так и от длительности периода от проведения обработки до посева. Сделаны выводы о том, что предпосевную обработку семян электромагнитными полями целесообразно применять в основном на семенах, подвергнутых длительному хранению и имеющих низкие посевные качества. Положительный эффект от обработки проявляется в повышении всхожести семян на 10–20 % (10).

Полученные в опытах с семенами положительные результаты позволили предположить, что обработка электромагнитными полями сеянцев в процессе выращивания может привести к усилению их роста. По разработанной технологии «ПОСиК» в питомнике Куровского участкового лесничества Орехово-Зуевского филиала ГАУ МО «Центрлесхоз» (Московская область) в первую половину августа 2013 г. была выполнена обработка сеянцев сосны первого года выращивания. Производственные посевы по 6-строчной схеме (сдвоенные).

Площадь обработанных сеянцев составила около 500 кв.м. Для обработки использовали генератор электромагнитных сигналов низкой частоты (от 1 до 16 Герц) в течение 11 минут. Генератор представляет собой небольшой прибор весом 2 кг с источником питания от 12 Вольт постоянного тока (аккумулятор автомобиля).

Создаваемое электромагнитное поле включает все 768 параметров естественного внешнего поля, воспринимаемые биообъектом как управляющие. При проведении обработки излучатели (антенны) устанавливали непосредственно на поле с сеянцами (между гряд), с таким расчетом, чтобы электромагнитным полем была охвачена половина посевов. В целом обработана площадь около 500 кв.м. Вторая, необработанная часть поля служила контролем.

Перед обработкой на опытной и контрольной части поля были выделены по 5 учетных площадок протяженностью 1 м (по 2 посевной строки), на которых проведен замер высот сеянцев. Средние высоты сеянцев на опытных и контрольных учетных площадках отличались несущественно и составляли соответственно 3,2 и 3,0 см.

В конце вегетационного сезона (середина октября) с опытных и контрольных площадок был проведен отбор сеянцев для замера биометрических показателей. Количество сеянцев, отобранных для замера, составляло от 30 до 40 шт. Результаты опытов отражены в таблице.

Замер сеянцев показал, что за период с момента обработки до отбора сеянцев существенно изменилась их высота. Причем, прирост в опытном варианте составил в среднем 2,4 см, а в контрольном – 0,8 см. В связи с усиленным ростом сеянцев за 2 месяца после обработки существенно увеличилась и их масса по сравнению с контролем. Различие составило по массе надземной части 99 %.

Следует отметить, что внекорневая обработка сеянцев электромагнитным полем положительно отразилась не только на росте сеянцев в высоту, но и на усилении роста корней, на что указывают данные таблицы. Длина корней была больше, чем в контроле, на 18 %, масса их превышала контроль почти в 2,5 раза (на 149 %).

Таким образом, проведенные исследования по обработке сеянцев сосны электромагнитными полями низкой частоты показали эффективность данного метода для стимуляции их роста. Принцип метода заключается в воздействии на морфологическую программу развития растения с помощью наведенного электромагнитного поля. При этом искусственное вмешательство в программу роста растений (обработка) не меняет сложившейся технологии ухода за ними. Предлагаемый метод технологичен, не требует капитальных затрат и в то же время является экологически безопасным по сравнению с традиционными методами химической стимуляции растений.

Библиографический список

1. Программа развития лесного хозяйства Российской Федерации http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/finance/docs/.
2. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала /А.Р. Родин [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989.–78 с.
3. Пресман, А.С. Электромагнитное поле и жизнь. – М.: Наука, 2003. – 215 с.
4. Беляченко, Ю.А. Пролиферация клеток растений при воздействии низкочастотного магнитного поля : дисс... канд. биол. наук : 03.00.05, 03.00.16 / Беляченко Ю.А. – Саратов, 2009.– 112 с.
5. Любимов, В.В. Биотропность естественных и искусственно созданных электромагнитных полей. Аналитический обзор. Препринт No.7 (1103) М.: ИЗМИРАН, 1997. – 85 с.
6. Комиссаров, Г.Г. Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений. // Докл. АН. – 2006. – Т. 406. – № 1. – С. 108–110.
7. Голдаев, В.К. Электрическое поле и урожай // Сельское хозяйство.– 1980.– № 4. – С. 30–31.
8. Ксенз, Н.В. Анализ электрических и магнитных воздействий на семена /Н.В. Ксенз, С.В. Качеишвили // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000.–№ 5.–С. 10–12.
9. Казакова, А.С. Влияние предпосевной обработки семян ярового ячменя электромагнитным полем переменной частоты на их посевные качества / А.С. Казакова, М.Г. Федорищенко, П.А. Бондаренко //Технология, агрохимия и защита сельскохозяйственных культур: Межвуз. сб. науч. тр., Зерноград, 2005. Изд. АЧГАА. – С. 207–210.
10. Пентелькина, Н.В. Изучение влияния электромагнитного поля на прорастание семян хвойных пород / Н.В. Пентелькина, Н.Е. Проказин, А.И. Смирнов //Forestry research institute: тр. СПб научно-исслед. ин-та лес. хоз. – 2013 № 1. – С. 39–43.

THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC POUR ON LOW FREQUENCY TO AN INCREASE IN THE SEEDLINGS OF THE PINE TREE OF USUAL

Smirnov A.I., general manager *SLL* «Raznoservis»

3642737@mail.ru

SLL «Raznoservis», 103051, Moskva, Likhov of mountain pass, 10

Developed to date cultivation technology of basic forest species, including pine, include various ways of stimulating growth of seedlings by chemical and biological agents. At the same time, an alternative to the chemical plants are physical methods, such as a constant or a variable magnetic field, radio waves, MICROWAVES, lasers and so on it is now known that electromagnetic field artificial origin is an important significant ecological factor with high biological activity. The positive results of previous studies on the seed processing of pine and spruce showed that the electromagnetic field to stimulate seed germination and suggest the possibility of using them for vegetating seedlings. This work studied the effect of low frequency electromagnetic fields on the growth of seedlings of Scots pine. Working seedlings in the sowing department of nursery was conducted with the aid of the generator with the power source from 12 volt DCs. As a result working was strengthened an increase in the seedlings into

the height. Seedlings had a more developed root system and a mass, which exceeds control 2 times. Working the seedlings of pine tree by the electromagnetic fields of low frequency showed the prospect of this method with the cultivation of landing material for the purpose of the acceleration of increase. The keywords: seedlings, the electromagnetic field.

Keywords: seedlings, electromagnetic field

References

1. *Programma razvitiya lesnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii* [The programme for the development of the forestry sector of the Russian Federation] [Elektronnyy resurs]. Mode of access: http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/finance/docs/
2. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of growth of forest planting material] A.R.Rodin [i dr.] M. Agropromizdat, 1989. 78 p.
3. Presman, A.S. *Elektromagnitnoe pole i zhizn'*. [The electromagnetic field and life] Moscow. Nauka 2003. 215 p.
4. Belyachenko, Yu.A. *Proliferatsiya kletok rasteniy pri vozdeystvii nizkochastotnogo magnitnogo polya* [Proliferation of plant cells during exposure to low-frequency magnetic field]: dis... kand. biol. nauk : 03.00.05, 03.00.16 Saratov, 2009. 112 p.
5. Lyubimov, V.V. *Biotropnost' estestvennykh i iskusstvenno sozdannykh elektromagnitnykh poley*. *Analiticheskiy obzor*. [Biotropnost′ natural and man-made electromagnetic fields. Analytical review] Preprint No.7 (1103) Moscow. IZMIRAN, 1997. 85 p.
6. Komissarov, G.G. *Vliyanie fluktuiruyushchego elektromagnitnogo polya na rannie stadii razvitiya rasteniy*. [The influence of electromagnetic field on fluktuiruыŝego early stages of plant development] Rep. EN.-2006. Vol. 406, no. 1. pp. 108-110..
7. Goldaev, V. K. *Elektricheskoe pole i urozhay Sel'skoe khozyaystvo*. [Electric field and harvest]. Agriculture. 1980. No 4. pp. 30-31.
8. Ksenz, N.V. *Analiz elektricheskikh i magnitnykh vozdeystviy na semena* [Analysis of electric and magnetic effects on seeds] *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. [mechanization and electrification of agriculture] 2000. № 5. pp. 10-12.
9. Kazakova, A.S. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan yarovogo yachmenya elektromagnitnym polem peremennoy chastoty na ikh posevnye kachestva* [The influence of presowing cultivation of spring barley variable frequency electromagnetic field on their seeding quality] *Tekhnologiya*, *agrokhimiya i zashchita sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*: [technology, chemistry and protection: hunting rituals. sat. researcher. Troy, shakhty, 2005. Ed. AČGAA. pp. 207-210].
10. Pentel'kina, N.V. *Izuchenie vliyaniya elektromagnitnogo polya na prorastanie semyan khvoynykh porod* [To examine the effects of electromagnetic field on germination of seeds of coniferous breeds] Forestry research institute: tr. St. Petersburg scientific Researc. in the forest. Hawes. -2013 № 1. St. Petersburg Publishing House of Polytechnic University, 2013. pp. 39-43.

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН ХВОЙНЫХ ПОРОД

Ф.С. ОРЛОВ, *заместитель генерального директора ООО «Разносервис»*

ap-6@yandex.ru
ООО «Разносервис», 103051, г. МОСКВА, пер. ЛИХОВ, д. 10

В работе изучалось влияние низкочастотного электромагнитного поля на прорастание семян сосны и ели. Технология предпосевной обработки семян «ПОСЭП», которая применялась в постановке описываемых опытов, ранее была опробована автором в сельском хозяйстве. Технология «ПОСЭП» впервые применена для обработки семян сосны и ели в опытах, проведенных во ВНИИЛМ в 2012 г. До этого времени, в течение 7 лет, многочисленные лабораторные и производственные опыты проводились в ведущих научно-исследовательских институтах Российской академии сельскохозяйственных наук, а также в хозяйствах различных форм собственности на территории России, Беларуси и Казахстана. Были проведены эксперименты по предпосевной обработке семян различных сельхозкультур практически во всех климатических зонах. Получены отчеты и отзывы, которые подтверждают эффективность технологии «ПОСЭП». ВНИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха, ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, НИИ сельского хозяйства центральных районов Нечерноземной зоны, Ставропольский НИИ сельского хозяйства и др., на базе этих научных центров проводились исследования по эффективности обработки семян низкочастотным электромагнитным полем. Из лабораторных и производственных опытов, поставленных в сельском хозяйстве, можно сделать вывод о том, что лучшие показатели эффективности технологии «ПОСЭП» проявляются на семенах с низкой полевой всхожестью и низкой энергией прорастания. По мнению автора, этот опыт работы в сельском хозяйстве особенно важен для работы с семенным материалом лесных культур. Известно, что семена деревьев при длительном хранении значительно теряют посевные качества. В представленной работе сделаны выводы о том, что применение слабого низкочастотного электромагнитного поля для повышения биологической активности семян хвойных пород является перспективным направлением в лесном хозяйстве.

Ключевые слова: семена, энергия прорастания, всхожесть, низкочастотное электромагнитное поле.

Известно, что одним из основных этапов в восстановлении лесов является выращивание посадочного материала, качество которого напрямую зависит от исходного качества семян. Поэтому сохранение и улучшение посевных качеств семян хозяйственно ценных древесных пород является одной из главных задач лесного хозяйства.

В лесных питомниках России ежегодно заготавливают до нескольких десятков

тонн семян хвойных и лиственных пород. На объемы заготовок оказывают влияние продуктивность деревьев и периодичность плодоношения различных пород. Время между сбором и посевом семян колеблется от нескольких дней до нескольких лет. Известно, что длительное хранение семян приводит к снижению их посевных качеств: энергии прорастания и всхожести [8]. Старение семян выражается в снижении их биологической активности и повышенной чувствительности к патогенной микрофлоре. В результате семена переходят в более низкую качественную категорию [3, 6].

В настоящее время применяются проверенные методы повышения всхожести семян древесных пород: это и стратификация (снегование), скарификация (механическое нарушение семенного покрова), замачивание в растворах микроэлементов и стимуляторов роста. Эти методы давно и хорошо изучены и широко используются при выращивании посадочного материала древесных пород в питомниках. К мало изученным методам относятся воздействие на семена древесных пород физических факторов.

При выборе метода для повышения всхожести семян нужно руководствоваться его доступностью, простотой применения и экологической чистотой. Так, для каждого физического способа воздействия необходимо специальное оборудование, которое для широкого применения не всегда удобно и не всегда безопасно для здоровья человека. К таким физическим методам относятся гамма и бетта-облучение, рентгеновское и ультрафиолетовое облучение, СВЧ и радиочастотное облучение. К экологически чистым, простым в применении и безопасным для людей методам можно отнести обработку семян слабым низкочастотным электромагнитным полем.

В течение длительного времени во всем мире активно исследуются явления связанные с воздействием электромагнитных сигналов различных характеристик на живые системы. В результате работ ряда исследователей установлена высокая чувствительность биологических систем к воздействию на них электромагнитных полей слабой интенсивности и низкочастотного диапазона. По мнению некоторых авторов, повышенная чувствительность семян к низкочастотному магнитному полю объясняется воздействием на электрические и магнитные взаимосвязи клеточных и внутриклеточных структур семян, что приводит к активизации метаболических процессов в клетках, повышает проницаемость клеточных мембран и усиливает активность гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов. Это, в свою очередь, обеспечивает более быстрое и полное поступление питательных веществ к зародышу, увеличение скорости клеточного деления и активизацию ростовых процессов. При этом отмечается устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов среды в период критической фазы прорастания. Этим и объясняется повышение всхожести старых семян сосны и ели и отсутствие на них микрофлоры [7].

Известно также, что обработка семян низкочастотным электромагнитным полем способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур [1, 2]. В результате воздействия этого метода «раскрывается» генетический и физиологический потенциал ослабленных семян, выражающийся не только в увеличении урожайности, но и в улучшении его качественных характеристик.

Вместе с тем отмечается, что все виды электромагнитных излучений при воздействии на семена имеют зоны стимуляции и угнетения. В связи с этим для применения данного метода с целью получения стимулирующего эффекта необходим индивидуальный подбор режимов обработки (частотных характеристик, мощности выходного сигнала, величины индукции, экспозиции и т.д.) в зависимости от породы, физиологического состояния и исходного качества семян.

Для лесного хозяйства это новое и неизученное направление.

Автором статьи совместно с сотрудником ООО «Разносервис» Смирновым А.И. и сотрудником ВНИИЛМ Пентелькиной Н.В. проведены исследования влияния низкочастотного электромагнитного поля на прорастание семян сосны и ели.

Обработка семян выполнялась по технологии «ПОСЭП « с помощью генератора «Рост-Актив». Для определения посевных качеств (энергии прорастания и всхожести) семена проращивали в лабораторных условиях по ГОСТ 13056.6-75 (Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести). Энергию прорастания семян сосны определяли на 7-й день, ели – на 10-й день, всхожесть семян сосны и ели определяли на 15-й день. Контролем служили необработанные семена. Дополнительно на 15-й день проращивания проводили замер длины проростков. Известно, что одним из важных показателей качества семян является сила роста проростков или «сила семян» – свойство семени, обеспечивающее не только дружное прорастание, но и дальнейшее нормальное развитие проростков. Сила роста характеризуется скоростью роста проростка, устойчивостью его к неблагоприятным условиям выращивания, скоростью удлинения корешка и гипокотиля [5].

Технология «ПОСЭП» основана на воздействии низкочастотного электромагнитного поля на морфологическую программу развития растения. Для предпосевной обработки семян сосны и ели применялся генератор «Рост-Актив», частотные характеристики от 9 до 19 Герц, вес 1 кг. Питание 12/220 V/. Время включения генератора и экспозиция рассчитываются автором технологии на основе имеющихся у него математических алгоритмов и компьютерных программ и привязано к географической точке Земли (координаты JPS), где будет проводиться предпосевная обработка семян.

Задача исследований состояла в следующем:

– определить оптимальные сроки обработки семян низкочастотным электромагнитным полем и интервал между обработкой и посевом;

– проанализировать влияние обработки семян низкочастотным электромагнитным полем в зависимости от исходного качества семян и их состояния в момент обработки.

Для эксперимента были отобраны семена сосны и ели из разных партий, различающиеся между собой происхождением, сроками сбора и разными посевными качествами (1, 2 класс и некондиционные). Эксперимент был заложен в два срока: в ноябре (семена находились в состоянии покоя) и в феврале-марте (на стадии пробуждения семян).

И в первый, и второй срок результаты показали, что различные по качеству семена по-разному реагировали на обработку их низкочастотным электромагнитным полем. Эффект зависел также и от промежутка времени между проведением обработки и посевом.

Так, необработанные некондиционные семена сосны (сбор 2006 г.) имели всхожесть всего 4 %, после обработки их низкочастотным электромагнитным полем данный показатель увеличился на 10 и 18 % и составил соответственно 14 и 22 %. Большая всхожесть была при меньшем интервале между обработкой и посевом семян (рис. 1).

Семена ели и сосны 2-го класса качества после обработки низкочастотным генератором имели всхожесть на 10 % больше, чем в контроле, причем энергия прорастания была больше, в результате чего уже на 7-й день проращивания этот показатель у обработанных семян достиг максимальных значений.

Обработка семян ели 1-го класса качества положительных результатов не дала. Всхожесть семян была меньше, чем в контроле.

Существенный положительный эффект отмечен при обработке некондиционных семян сосны и ели со сроком хранения 9 лет. После обработки электромагнитным полем всхожесть увеличилась на 22 %.

Существенным отличием качества семян во второй срок эксперимента (весной) было не только повышение всхожести семян, но и увеличение линейных показателей проростков обработанных семян по сравнению с необработанными (рис. 2).

Отмечено, что обработка семян электромагнитным полем осенью менее эффективна по сравнению с весенней обработкой, что связано с вынужденным покоем семян осенью и началом выхода из него весной.

При обработке электромагнитным полем семян, находящихся в различном физиологическом состоянии: сухие семена, проклюнув-

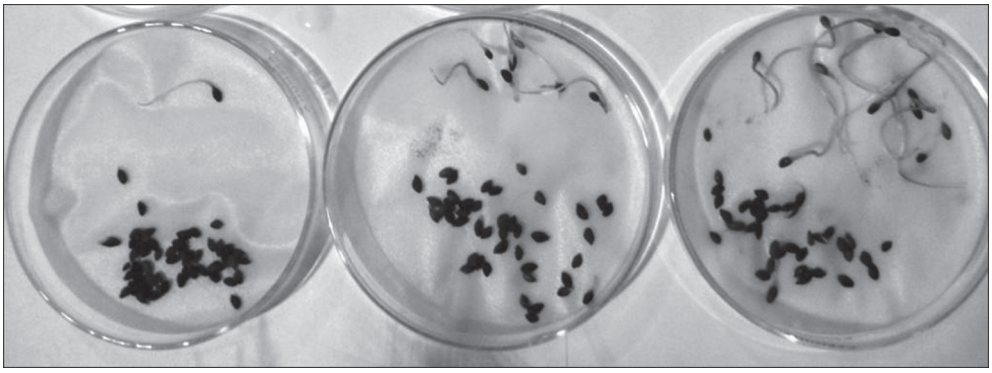


Рис. 1. Проростки некондиционных семян сосны (сбор 2006 г.): слева – направо: контроль (необработанные семена); семена, высеянные через 17дней после обработки генератором «Рост-Актив»; семена, высеянные через 3 дня после обработки генератором «Рост-Актив»

Fig. 1. Substandard pine seed sprouts (collection 2006): on the left – for example in: control (untreated seeds); seeds sown through 17dney after treatment generator «Rost-Aktiv»; seeds sown after 3 days of processing generator «Rost-Aktiv»

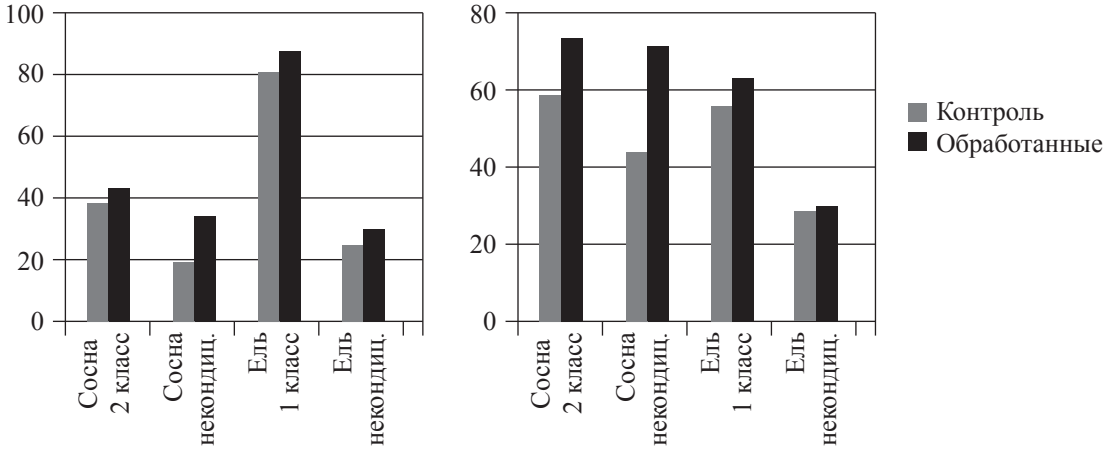


Рис. 2. Всхожесть семян (%) после обработки электромагнитным полем (слева); Длина проростков (мм) после обработки семян электромагнитным полем (справа)

Fig. 2. Seed germination (%) after treatment with electromagnetic field (left); Seedling length (mm) after seed treatment with electromagnetic field (right)

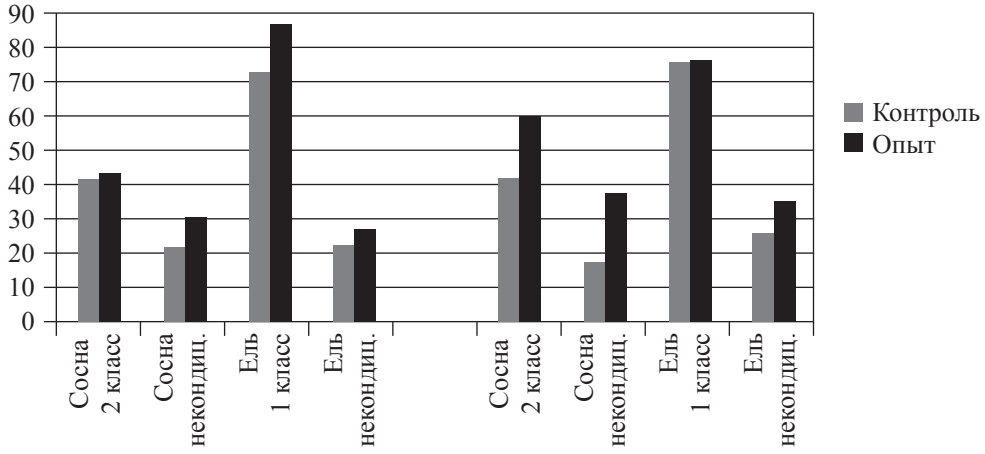


Рис. 3. Всхожесть (%) после обработки семян в сухом состоянии (слева) и в воде (справа)

Fig. 3. Germination (%) after processing of seeds in the dry state (left) and in de (right)

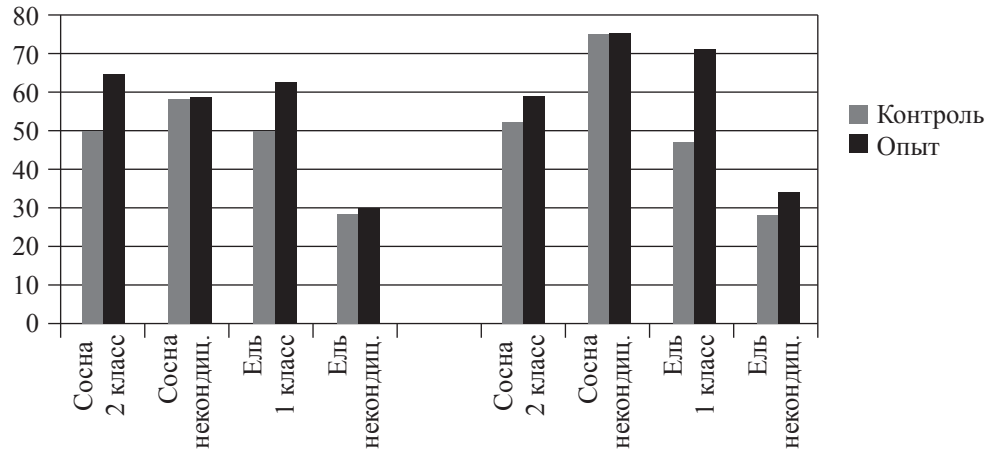


Рис. 4. Длина проростков (мм) после обработки семян в сухом состоянии (слева) и в воде (справа)
Fig. 4. Seedling length (mm) after treatment of seeds in the dry state (left) and in the water (to the right)

Рис. 5. Степень зараженности некондиционных семян ели фитопатогенами на 5-й день проращивания: слева – контроль; справа – после обработки по технологии «ПОСЭП»
Fig. 5. Degree of infestation of substandard seeds eaten plant pathogens on the 5th day of germination: Left – control; Right – after processing technol-ogy «POSEP»

шиеся семена на стадии прорастания (на 5-й день проращивания в воде) и семена, помещенные в воду, получены следующие результаты.

На стадии прорастания семян обработка повлияла отрицательно. Так, энергия прорастания и всхожесть семян ели 1-го класса качества были на 10 % ниже, чем в контроле. А у семян сосны показатели качества были на уровне контроля, но длина проростков – существенно меньше.

При обработке электромагнитным полем сухих семян ели 1-го класса положительный эффект проявился по всем показателям (рис. 3 и 4) Всхожесть их увеличилась по сравнению с контролем на 14 %, а длина проростков достоверно превышала контрольные значения на 24 %. В варианте с некондиционными семенами эффект проявился только по отношению к всхожести, которая повысилась на 6 %.

Семена сосны 2-го класса качества после обработки электромагнитным полем имели более высокие показатели энергии прорастания, за счет чего к концу проращивания длина проростков была существенно больше, чем у необработанных семян (на 30 %).

У некондиционных семян сосны после обработки всхожесть повысилась на 10 %, но темпы роста проростков были на уровне контроля.

После обработки семян, находящихся в момент электромагнитного воздействия

Таблица

Сравнение показателей качества семян после обработки их в различном физиологическом состоянии (по сравнению с контролем)

Comparison of the quality of the seeds after treatment in various physio-logical state (compared to control)

Порода (класс качества)	Обработка в сухом состоянии		Обработка проклюнувшихся семян		Обработка семян в воде	
	Различие по сравнению с контролем, %					
	по всхожести	по длине	по всхожести	по длине	по всхожести	по длине
Сосна (2 класс)	+2	+30	+2	–17	+20	+14
Ель (1 класс)	+14	+24	–10	+4	+2	+50
Ель (некондиц.)	+6	+6	+8	+46	+10	+24
Сона(некондиц.)	+10	+2	0	–6	+20	0

в воде, наибольшее различие по показателям энергии прорастания и всхожести отмечено в вариантах с семенами сосны. Различие по сравнению с контролем составило 20 %. У некондиционных семян ели всхожесть повысилась на 10 %.

Практически у всех семян, за исключением некондиционных семян сосны, после обработки длина проростков была больше, чем в контроле на 14–50 %, с максимальными показателями в варианте с семенами ели 1-го класса качества.

Для удобства сравнения эффективности влияния электромагнитного поля на качество семян при разных способах их обработки в табл. 1 представлены различия опытных показателей по сравнению с контролем.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что наибольшего эффекта можно добиться при обработке семян, находящихся в воде. У всех семян, кроме ели 1-го класса качества, всхожесть повышается на 10–20 %, а линейные показатели проростков – на 14–50 %. Это подтверждает мнение исследователей о положительном влиянии омагниченной воды на растения. Известно, что структура омагниченной воды помогает ей легче и быстрее проникать внутрь клетки и воздействовать на биохимические процессы. В то же время отмечается повышение химической активности кислорода и появление бактерицидных свойств, чем и объясняется ингибирующее действие омагниченной воды на развитие спор гриба, вызывающего фузариоз [4].

При обработке сухих семян ели 1-го класса качества можно получить положительный результат, существенно повысив их всхожесть и силу роста проростков.

Следует отметить также, что на протяжении всего эксперимента некондиционные семена, как сосны, так и ели, в контрольных вариантах сильно поражались грибами-фитопатогенами. Обработка электромагнитным полем способствовала снижению степени заражения, что в конечном результате позволило получить большее количество проросших семян и ускорить рост проростков (рис. 5).

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Низкочастотное электромагнитное поле положительно влияет на посевные и фитосанитарные качества семян сосны и ели. Больший положительный эффект достигается при обработке семян с низкой всхожестью и некондиционных.

2. Наиболее благоприятное время для обработки – весна (период выхода семян из состояния покоя).

3. Интервал между обработкой семян и их посевом не должен превышать 5 дней.

4. Большего положительного эффекта можно добиться при обработке замоченных в воде семян (или подсушенных после стратификации).

В целом предлагаемая автором технология предпосевной обработки семян «ПОСЭП» (ООО «Разносервис») проявила себя положительно в лабораторных условиях, что позволяет надеяться на положительные результаты и в полевых условиях при производстве посадочного материала хвойных пород.

Библиографический список

1. Голдаев, В. К. Электрическое поле и урожай / Сельское хозяйство. – 1980.– № 4. – С. 30 – 31.
2. Кошкина, А.О. Устройство для предпосевной обработки семян тепловым и электромагнитным полем // Современная техника и технологии.– Июнь, 2012 http://technology.snauka.ru/2012/06/985.
3. Орехова, Т.П. Создание долговременного банка семян древесных видов – реальный способ сохранения их генофонда // Хвойные бореальной зоны, XXVII, № 1–2, Красноярск: СибГТУ, 2010. – С. 25–31.
4. Порфирьев, Н.П. Влияние омагниченной воды на активность ферментов, биохимический состав плодов растения-хозяина и возбудителей его заболевания / Н.П. Порфирьев, Н.Е. Руденко // Проблемы орошаемого овощеводства и бахчеводства.– Астрахань, 1986.
5. Родин, А.Р. Лесные культуры. Учебник: под общ. ред. А.Р. Родина / А.Р. Родин, Е.А. Калашникова, С.А. Родин и др. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 440 с.
6. Смирнов, С.Д. Опыт лесного семеноводства и селекции. Обзорная информация ЦБНТИ Госкомлеса.– М., 1974. – С. 20.
7. Старухин, Р.С. Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля / Р.С. Старухин, И.В. Белицин, О.И. Хомутов // Ползуновский вестник. Барнаул, АлтГТУ. – 2009. – № 4. – 2009. – С. 97–103.
8. Холявко, В.С. Дендрология и основы зеленого строительства / В.С. Холявко, Д.А. Глоба-Михайленко. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988.– 287 с.

INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON SOWING QUALITY OF SEEDS OF CONIFERS

Orlov F.S., deputy general director *SLL «Raznoservis»*, *Moscow*

ap-6@yandex.ru

SLL «Raznoservis», 103051, Moskva, Likhov of mountain pass, 10

Work presents materials on studying of influence of low-frequency electromagnetic field on the germination of seeds of pine and spruce. Technology of presowing treatment of seeds «POSEP», which was used in the formulation of the described experiments, the previously been tested by the author in agriculture. A technology called «POSEP» was first used for presowing treatment of seeds of pine and spruce in experiments conducted in Institute of Forest in 2012.Until this time, within 7 years, numerous laboratory and industrial tests were conducted in the leading scientific research institutes of the Russian Academy of Agricultural Sciences, and also in farms of different forms of property on the territory of Russia, Belarus and Kazakhstan.Experiments were carried out for presowing treatment of seeds of various agricultural crops in almost all climatic zones. The received reports and reviews that confirm the efficiency of technology «POSEP». Institute of potato economy named A.G. Lorch – the largest in Russia scientific-methodical center on the problems of potato-growing, Institute of leguminous and cereal crops, Institute of Agriculture of the Central Regions of non Chernozem region, the Stavropol Institute of agriculture and others, on the basis of these research centers conducted research on the effectiveness of treatment of seeds of low-frequency electromagnetic field.Of the laboratory and production experiences delivered in agriculture can be concluded that the best indicators of efficiency technologies «POSEP» appear on seeds with low field germinating capacity and low energy of germination. According to the author, this work experience in agriculture is particularly important to work with the seed of forest cultures. It is known that the seeds of trees with long-term storing them in nurseries significantly lose their sowing qualities.In this workconcluded that the use of weak low-frequency electromagnetic fields to increase the biological activity of seeds of conifers is a perspective direction in forestrysector.

Key words: seeds, energy of germination, germinability, low-frequency electromagnetic field.

References

1. Goldaev, V. K. *Elektricheskoe pole i urozhay* [Electric field and harvest] V.K. Goldaev Sel'skoe khozyaystvo, № 4, 1980, pp. 30-31.
2. Koshkina A.O. *Ustroystvo dlya predposevnoy obrabotki teplovym i elek-tromagnitnym polem semyan* [Device for presowing seed treatment of thermal and electromagnetic field] Sovremennaya tekhnika i tekhnologii, Iyun', 2012, [Elektronnyy resurs]. URL: http://technology.snauka.ru/2012/06/985.
3. Orekhova T.P. *Sozdanie dolgovremennogo banka semyan drevesnykh vidov – real'nyy sposob sokhraneniya ikh genofonda*. [Creating long-term seed Bank woody species – the real way of storing their gene pool.] *Khvoynye boreal'noy zony*, XXVII, № 1–2, Krasnoyarsk: SibGTU, 2010, pp. 25-31.
4. Porfir'ev N.P., Rudenko N.E. *Vliyanie omagnichennoy vody na aktivnost' fermentov*, *biokhimicheskiy sostav plodov rasteniya – khozyaina i vozbuditeley ego zabolevaniya* [The influence of magnetic water on the activity of enzymes biochemical composition of fruits of the host plants and pathogens of the disease] *Problemy oroshaemogo ovoshchevodstva i bakhchevodstva*. Astrakhan. 1986.
5. Rodin A.R., Kalashnikova E.A., Rodin S.A. i dr. *Lesnye kul'tury*. [Wood cultures]. Moscow. VNIILM, 2002, 440 p.
6. Smirnov S.D. *Opyt lesnogo semenovodstva i selektsii*. [The experience of forest seed production and breeding] *Obzornaya informatsiya TsBNTI Goskomlesa*. Moscow: 1974. p.20.
7. Starukhin R.S., Belitsin I.V., Khomutov O.I. *Metod predposevnoy obrabotki semyan s ispol'zovaniem ellipticheskogo elektromagnitnogo polya* [Method presowing treatment of seeds with the use of elliptic electromagnetic field] *Polzunovskiy vestnik*. Barnaul: AltGTU, 2009, № 4, pp. 97-103.
8. Kholyavko V.S. Globa-Mikhaylenko D.A. *Dendrologiya i osnovy zelenogo stroitel'stva*. [Dendrology and fundamentals of green building]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 287 p.

ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СОСТОЯНИЕ ЛЕСНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕЗЕРВАТОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

С.А. ШАВНИН, *директор Ботанического сада УрО РАН, д-р биол. наук,*
В.А. ГАЛАКО, *с. н. с. Ботанического сада УрО РАН, канд. с.-х. наук,*
В.Э. ВЛАСЕНКО, *с. н. с. Ботанического сада УрО РАН, канд. биол. наук,*
В.А. ЛЕБЕДЕВ, *асп. Ботанического сада УрО РАН,*
О.В. ЕРОХИНА, *н. с. Института экологии растений и животных УрО РАН, канд. биол. наук,*
Л.А. ПУСТОВАЛОВА, *н. с. Ин-та экологии растений и животных УрО РАН, канд. биол. наук*

sash@botgard.uran.ru, vadim.galako@botgard.uran.ru, slava.vlasenko@botgard.uran.ru
ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения РАН. 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а
ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН. 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

В результате обследования лесных генетических резерватов, расположенных в основных лесорастительных областях Среднего Урала, получена подробная лесоводственная и флористическая характеристика особо охраняемых природных территорий. Работы по систематизации лесных генетических резерватов проводились в соответствии с принятой на Среднем Урале классификацией Б.П.Колесникова. В качестве основных таксонов были установлены: подобласть, подзона, провинция, район и подрайон Обследование генетических резерватов проводилось с таким расчетом, чтобы представить основные единицы таксонов лесорастительного районирования. В обследованных резерватах выполнено 77 геоботанических описаний, составлены списки сосудистых растений (150 листов) и мхов (50 описаний). При проведении описаний особое внимание уделялось характеристике подроста лесообразующих пород с указанием видового состава, обилия, жизненного состояния. Были выявлены и описаны редкие и исчезающие виды растений, включенные в Красную книгу Свердловской области. При оценке лесоводственной характеристики генетических резерватов, проводимой путем закладки круговых реласкопических площадок с использованием зеркального реласкопа В.Биттерлиха, были отмечены преобладающие типы насаждений, их производительность, структура, запас древостоев на 1 га, основные распространенные типы леса. Значения морфометрических показателей приведены для средних высот и средних диаметров древостоев. Основная таксационная характеристика насаждений обследованных генетических резерватов Свердловской области дает представление о существующем состоянии резерватов. Представленность типов леса в генетических резерватах характеризует полное разнообразие растительности, соответствующее лесорастительным критериям классификации, принятой для Среднего Урала. В дополнение к приведенной лесоводственной и флористической характеристике лесных генетических резерватов проведено лесотипологическое обследование с указанием жизненного состояния древостоев, степени их повреждения от воздействия экзогенных факторов – рекреации, аэротехногенного загрязнения и др. Для каждого учетного дерева определялся класс поврежденности, дефолиация и дехромация кроны, срок жизни хвои. Проведенные исследования позволяют наметить ряд конкретных мероприятий по сохранению и улучшению состояния лесных генетических резерватов.

Ключевые слова: генетический резерват, жизненное состояние, флористический состав, хвойные насаждения, тип леса.

Проблема создания системы лесных генетических резерватов в нашей стране возникла в 80-х годах прошлого века в связи со значительным истощением генетических ресурсов основных видов – лесообразователей. В процессе интенсивной лесоэксплуатации безвозвратно исчезают лучшие хвойные и лиственные насаждения, уменьшается база для естественного и искусственного воспроизводства высококачественных лесов [1].

В соответствии с Решением Исполкома Свердловской области Совета народных депутатов от 25.11.1988 г. № 444 и Положением о выделении лесных генетических резерватов [2] на территории Свердловской области выделено 111 лесных генетических резерватов. Поскольку с момента утверждения данного нормативного правового акта прошло 23 года, данные, содержащиеся в нем, устарели и назрела необходимость проведения инвентаризации лесных генетических резерватов с определением их современного состояния и комплекса мер для их сохранения.

Изучение состояния лесных генетических резерватов Среднего Урала и их сохранность проводилась в пределах лесорастительных областей и лесорастительных округов [3]. Природные условия Среднего Урала благоприятны для лесной растительности, и почти вся территория относится к лесной зоне. Лишь на юго-западе и юго-востоке, где климат теплее и суше, лес сменяется лесостепью. В лесной зоне преобладают хвойные таежные леса, представленные из-за климатической дифференциации макросклонов Урала двумя барьерными формациями: темнохвойной и светлохвойной.

Таблица

Распределение генетических резерватов по типам лесорастительных условий Среднего Урала
Distribution of genetic reserves by type of site condition of the Middle Urals

Название резервата	Лесорастительная область	Лесорастительная провинция	Лесорастительный округ
Красноуфимский № 1 Красноуфимский № 3	Восточно-Европейская равнинная	Уфимского плато	широколиственно-хвойных лесов
Красноуфимский № 2 Артинский № 2	Восточно-Европейская равнинная	Юрюзано-Сылвинская депрессия	северолесостепной
Билимбаевский № 1 Билимбаевский № 2	Уральская горная	Среднеуральская низкогорная	южнотаежный
Кушвинский № 3 Красноуральский	Западно-Сибирская равнинная	Зауральская холмисто предгорная	южнотаежный
Асбестовский № 1 Сухоложский № 1 Свердловский № 1	Западно-Сибирская равнинная	Зауральская холмисто предгорная	сосново-березовых предлесостепных лесов
Каменск-Уральский № 1 Каменск-Уральскай № 2	Западно-Сибирская равнинная	Зауральская холмисто предгорная	северолесостепной
Верхотурский № 1	Западно-Сибирская равнинная	Зауральская равнинная	южнотаежный
Талицкий № 1	Западно-Сибирская равнинная	Зауральская равнинная	сосново-березовых предлесостепных лесов

На западном склоне и в горной полосе преобладают темнохвойные леса из ели и пихты, на восточном – доминируют сосновые леса. Согласно упомянутой классификации Б.П. Колесникова территория Среднего Урала разделена на три лесорастительные области: Восточно-Европейская равнинная, Уральская горно-растительная и Западно-Сибирская. В качестве основных таксонов установлены лесорастительная область, лесорастительная зона и округ, а в качестве вспомогательных – подобласть, подзона, провинция, район и подрайон. В соответствии с этим обследование генетических резерватов было проведено с таким расчетом, чтобы представить основные единицы таксонов лесорастительного районирования. Всего было обследовано 15 генетических резерватов (табл. 1).

Характеристика древостоя изучалась путем закладки круговых реласкопических площадок с помощью зеркального реласкопа В. Биттерлиха [4]. Количество круговых площадок устанавливалось в зависимости от площади выдела, однородности древостоя и его относительной полноты. Площадки закладывались равномерно по площади выдела (участка). По каждому выделу отдельно определялись число полных площадок и число деревьев на них по породам с помощью реласкопа. После обработки данных круговых реласкопических площадок были получены основные таксационные показатели по таксационным выделам генетического резервата. В описанных генетических резерватах выполнено 77 геоботанических описаний, составлены списки видов, собран гербарий сосудистых растений (150 листов) и мхов (50 образцов).

Исследования проводились по стандартным методикам: описание растительности на временных пробных площадках с указанием координат, положение в рельефе, типы почв, флористический состав каждого яруса с обилием и т.д. Особое внимание уделялось характеристике подроста лесообразующих пород: указывался видовой состав, обилие, жизненное состояние. Отмечались признаки антропогенного воздействия на сообщества. Выявлялись редкие и исчезающие виды растений, включенные в Красную книгу Свердловской области [5].

Оценка степени повреждения древостоев от воздействия антропогенных факторов, рекреации, аэротехногенного загрязнения и др. проводилась с использованием российских и зарубежных методик. В результате лесопатологических исследований выработана система

таких достаточно корректных и объективных критериев, как «категория состояния», «классы повреждения», «баллы жизненного состояния» [6, 7]. Все они сопоставимы и заложены в действующие директивные и нормативные документы [8–10]. Обычно принято выделять пять или шесть классов жизненного состояния деревьев, каждому из которых присваивается свой балл. Разница состоит лишь в том, что в последнем случае сухостой разделяется на свежий и старый. Для каждого учетного дерева определялись класс повреждения по шестибальной шкале, дефолиация и дехромация кроны, срок жизни хвои.

1. На Уфимском плато в подзоне широколиственно-хвойных лесов изучено два генетических резервата:

Красноуфимский генетический резерват лесообразующих пород № 1. Генетический резерват находится на территории Афанасьевского участкового лесничества Красноуфимского государственного лесничества. Общая площадь – 994,5 га. На территории резервата представлены сложные насаждения с преобладанием в составе сосны обыкновенной с дополнением ели обыкновенной, березы бородавчатой от одной до четырех единиц. Производительность насаждений характеризуется I–II классами бонитетов, IV–VI классами возраста и относительными полнотами 0,7–0,8 при запасе древесины 300–400 м^3 на 1 га. Средние диаметры и средние высоты древостоев сосны представлены значениями 30–40 см и 27–29 м. Наиболее распространенным типом леса на территории резервата является сосняк-ельник травяно-зеленомошный.

Красноуфимский генетический резерват лесообразующих пород № 3. Генетический резерват расположен на территории Нижне-Иргинского участкового лесничества Красноуфимского государственного лесничества. Общая площадь составляет 988,0 га. Преобладающими насаждениями являются темнохвойные с преобладанием в составе ели обыкновенной и на части выделов – пихты сибирской. Древостои II–III классов бонитета, VI–VII классов возраста с относительной полнотой 0,5–0,7. Запас древесины на 1 га невысокий – 220–320 м^3. Значения морфометрических показателей характеризуются в следующих пределах: средние диаметры – 22–30 см, средние высоты – 21–25 м. Повсеместно на территории резервата представлен тип леса – ельник травяно-зеленомошный.

Типичные растительные сообщества этих резерватов − елово-сосновые и пихтово-еловые леса мелкотравные. Наряду с участием в древесном ярусе широколиственных пород (*Tilia cordata* Mill., *Ulmus glabra* Hunds.) значительна доля неморальных видов и в травянисто-кустарничковом ярусе, часть их относится к эндемичным (*Cicerbita uralensis* (Rouy) Beauverd.) и реликтовым (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott., *Asarum europaeum* L. и др.) элементам флоры. При этом доминирующая роль принадлежит бореальным видам, характерным для темнохвойных лесов (*Oxalis asetosella* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W.Schmidt и др.). На территории этих резерватов обнаружено 6 видов, внесенных в Красную книгу Свердловской области: *Digitalis grandiflora* Mill., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Cicerbita uralensis*, *Goodyera repens* (L.) R. Br., *Lilium pilosiusculum* (Freyn) Miscz, *Platanthera bifolia* (L.) Rich.

2. В лесостепной части Предуралья исследования проводились в 2-х резерватах. Их растительность представлена сосновыми насаждениями разнотравных типов леса.

Красноуфимский генетический резерват лесообразующих пород № 2. Резерват расположен в пределах Пригородного участкового лесничества Красноуфимского государственного лесничества. Общая площадь составляет 972,0 га. В составе насаждений преобладает сосна обыкновенная с включением 5–10 % ели обыкновенной V–VI классов возраста типа леса сосняк злаково-разнотравный, I–II классов бонитета. Древостои среднеполнотные с относительной полнотой 0,6–0,7 и запасом древесины на 1 га 360–440 м^3. Морфометрические показатели сосны обыкновенной по диаметру колеблются в пределах 28–36 см и средним высотам – 25–30 м.

Артинский генетический резерват лесообразующих пород № 2. Генетический резерват расположен в пределах Поташкинского участкового лесничества Красноуфимского государственного лесничества. Площадь

составляет 980,0 га. На территории преобладают чистые сосновые и сосново-березовые древостои состава 10С и 8С2Б V класса возраста, I и, частично, II класса бонитетов с запасом древесины 340–420 м^3 на 1га. Насаждения среднеполнотные с относительной полнотой 0,7–0,8 и значениями средних диаметров 30–34 см и средних высот – 26–29 м. Наиболее распространен тип леса сосняк злаково-разнотравный.

В травянисто-кустарничковом ярусе доминируют бореально-неморальные виды (*Rubus saxatilis* L., *Fragaria vesca* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.) с незначительным участием неморальных (*Galium odorata* (L.) Scop., *Viola mirabilis* L. и др.). В пределах этих резерватов нами найдено 5 видов, внесенных в Красную книгу Свердловской области: *Digitalis grandiflora*, *Epipactis helleborine*, *Goodyera repens*, *Lilium pilosiusculum*, *Platanthera bifolia*. Они отличаются наибольшим видовым разнообразием, имеют сложный состав и структуру сообществ.

3. В южной тайге низкогорий Среднего Урала проведены обследования 2-х генетических резерватов. Типичные растительные сообщества резерватов − сосновые леса с пихтой и елью во втором ярусе разнотравные, а также пихтово-еловые леса мелкотравные.

Билимбаевский генетический резерват лесообразующих пород № 1. Генетический резерват расположен на территории Билимбаевского участкового лесничества Билимбаевского государственного лесничества и имеет площадь 1183,0 га. Насаждения характеризуются сложным и разнообразным составом с преобладанием сосны обыкновенной, ели обыкновенной, пихты сибирской, березы бородавчатой. Бонитет насаждений колеблется в пределах от I-го до III-го при изменениях возрастов древостоев от IV-го до VIII-го классов. Преобладающая относительная полнота древостоев составляет 0,7–0,8 при запасе древесины в пределах от 250 м^3 до 400м^3 на 1 га. Значения средних диаметров и средних высот находятся в пределах, характерных для древостоев данных типов леса. Средние диаметры составляют в пределах резервата 24–40 см, а средние высоты – 24–29 см.

Билимбаевский генетический резерват лесообразующих пород № 2. Расположение генетического резервата – Подволошинское участковое лесничество Билимбаевского государственного лесничества, общая площадь 529,8 га. Преобладают насаждения сложного состава с доминированием сосны обыкновенной. В состав древостоя включаются ель обыкновенная, береза бородавчатая, пихта сибирская, осина обыкновенная.

Для резервата характерны древостои I–II классов бонитета VI–VII классов возраста, высокополнотные – с относительной полнотой 0,7–0,9. Морфометрические показатели преобладающих древесных пород не являются высокими: средние диаметры колеблются в пределах 28–40 см, а средние высоты – 27–29 м, запас древесины на 1 га изменяется от 200 м^3 до 500 м^3.

Древостои на территории Билимбаевского генетических резерватов № 1 и № 2 по принятой шкале оценки жизненного состояния можно охарактеризовать как фоновые (условно неповрежденные) насаждения. Индекс жизненного состояния деревьев составляет – 1,9; дефолиация (изреженность кроны) – до 21 %, дехромация (пожелтение хвои) – 7 %. Отдельно для сосны индекс жизненного состояния – 2,2; дефолиация – 27 %; дехромация – 9 %; срок – 2,4 лет. Для пихты индекс жизненного состояния – 1,7; дефолиация – 19,5 %; дехромация – 7 %; срок – 6,2 лет. Для ели индекс жизненного состояния – 1,9; дефолиация – 21 %; дехромация – 7 %; срок – 6,1 лет. Для березы индекс жизненного состояния – 1,5; дефолиация – 12 %; дехромация – 3,8 %.

В травяно-кустарничковом ярусе заметную роль играют кустарнички и полукустарнички (*Vaccinium myrtillus* L., *Linnaea borealis* L. и др.), в связи с чем проективное покрытие неравномерно: в среднем 40–50 %, в пятнах черники увеличивается до 80 %. Доминантами являются *Oxalis asetosella*, *Maianthemum bifolium*, *Calamagrostis arundinacea*. Присутствуют охраняемые виды: *Goodyera repens*, *Lilium pilosiusculum*, *Cypripedium guttatum* Sw.

4. В южной тайге Зауральской холмисто предгорной провинции исследованы Кушвинский и Красноуральский генетические резерваты.

Кушвинский генетический резерват лесообразующих пород № 3. Генетический резерват расположен на территории Кушвинского участкового лесничества Кушвинского государственного лесничества. Общая площадь составляет 1003,8 га. Растительность Кушвинского резервата представлена березово-сосновыми лесами с елью разнотравными. Преобладают сложные сосновые и березовые насаждения с включением в состав темнохвойных пород, осины обыкновенной. Древостои высоко- и среднебонитетные, представлены преимущественно II и III классами бонитетов, IV–VII классами возраста и запасами древесины на 1 га 220–320 м^3. Относительные полноты составляют 0,7–0,8 и значения средних диаметров стволов сосны находятся в пределах 22–30 см, а средних высот – 23–26 м. Наибольшее распространение на территории резервата имеют следующие типы леса: ельник-сосняк травяной, ельник травяно-зеленомошный.

Красноуральский генетический резерват. Генетический резерват расположен на территории Красноуральского участкового лесничества Кушвинского государственного лесничества. Общая площадь составляет 873,0 га. Насаждения представлены сложными древостоями, в состав которых, наряду с преобладанием березы бородавчатой, входят сосна обыкновенная, осина обыкновенная, ель сибирская в пределах от одной до четырех единиц. Насаждения генетического резервата средней продуктивности, преимущественно VI–VIII классов возраста II–III классов бонитета. Наибольшее распространение имеют сосняки разнотравные со среднеполнотными насаждениями от 0,6 до 0,8 и запасом древесины в пределах 220–280 м^3 на 1 га. Морфометрические показатели средних диаметров и средних высот не отличаются высокими значениями и находятся в пределах: средние диаметры – 20–28 см и средние высоты – 24–25 м.

В травяно-кустарничковом ярусе доминируют виды таежного мелкотравья: *Oxalis asetosella*, *Maianthemum bifolium*, а также *Calamagrostis arundinacea*. Охраняемых видов не выявлено. Растительность Красноуральского ГР представлена березово-сосновыми и осиново-березовыми лесами разнотравно-злаковыми. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует *Calamagrostis arundinacea* со значительной долей *Rubus saxatilis*, *Carex leporina* L., *Lathyrus gmelinii* Fritsch. Отмечен охраняемый вид *Lilium pilosiusculum*.

5. В южной тайге Западно-Сибирской равнины дана характеристика Верхотурского генетического резервата.

Верхотурский генетический резерват лесообразующих пород № 1. Генетический резерват расположен в пределах Верхотурского участкового лесничества Верхотурского государственного лесничества. Общая площадь его составляет 511,0 га. Типичными растительными сообществами здесь являются сосново-березовые леса с елью, пихтой и кедром в подросте разнотравно-злаковые. В составе 2 яруса древостоя изредка отмечаются лиственница, осина и липа. Насаждения представлены сложным составом древостоев, где при преобладании березы бородавчатой в состав входят от одной до трех единиц следующие древесные породы: осина обыкновенная, сосна обыкновенная, ель сибирская. В основном распространены насаждения II класса бонитета, VI класса возраста с относительной полнотой 0,7–0,8 и запасом древесины в пределах 200–260 м^3 на 1 га. На территории резервата наиболее представлен тип леса сосняк травяной. Значения средних диаметров характеризуются значениями в пределах 18–24 см и средних высот – 19–23 м.

В травяно-кустарничковом ярусе доминирует *Calamagrostis arundinacea*, в отдельных сообществах содоминантами выступают *Oxalis asetosella*, *Maianthemum bifolium*, *Pyrola rotundifolia* L. Охраняемых видов не выявлено.

6. На территории Зауральской холмисто-предгорной провинции в пределах распространения сосново-березовых предлесостепных лесов описано 3 генетических резервата.

Асбестовский генетический резерват лесообразующих пород № 1. Генетический резерват расположен на территории Пригородного участкового лесничества Сухоложского государственного лесничества. Общая площадь составляет 1333,0 га. Преобладающими насаждениями являются сосново-березовые (в

составе до 3-х единиц березы бородавчатой) и березово-сосновые. Единично встречаются чистые сосновые насаждения. Насаждения представлены II классом бонитета и IV–VII кл. возраста с относительной полнотой 0,6–0,8 и запасом древесины 250–400 м^3 на 1 га. Морфометрические показатели характеризуются значениями средних диаметров 20–36 см и средних высот 21–28 м.

Сухоложский генетический резерват лесообразующих пород № 1. Генетический резерват расположен на территории Винокуровского участкового лесничества Сухоложского государственного лесничества. Общая площадь составляет 1115,0 га. Насаждения характеризуются сосновыми и сосново-березовыми древостоями в составе до 2-х единиц березы бородавчатой. Производительность насаждений высокая и представлена I–II классами бонитета, V–VI классами возраста с запасом древесины 350–500 м^3 на 1 га. Древостои высокополнотные с относительной полнотой 0,8–1,0 при средних диаметрах сосны 32–40 см и средних высотах 23–30 м. Наиболее распространены на территории резервата сосняк разнотравный и ягодниковый.

Свердловский генетический резерват лесообразующих пород № 1. Генетический резерват расположен в пределах Пригородного участкового лесничества Свердловского государственного лесничества. Общая площадь его составляет 848,0 га. Состав насаждений характеризуется преобладанием сосны обыкновенной от 5 единиц в составе до чистых сосновых древостоев с частичным включением березы бородавчатой. Насаждения высокопродуктивные I–II-го классов бонитета VI–VIII классов возраста и запасом 350–400 м^3 на 1 га. Значения средних диаметров находятся в пределах от 24 до 44 см и средних высот – от 23 до 28 м. Насаждения резервата выполнотные – преобладающими являются древостои с относительными полнотами от 0,7 до 0,8. Насаждения представлены основными типами леса: сосняк травяной и сосняк орляковый. Частично встречаются насаждения сосняка брусничноно-черничного.

Типичные растительные сообщества описанных трёх резерватов – сосновые с елью и лиственнично-сосновые зеленомошные и травяные леса. Древостой в них сложен *Pinus sylvestris* L. с участием *Betula pendula* Roth. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Calamagrostis arundinacea*, *Vaccinium vitis-idaea* L., *Fragaria vesca*, в отдельных сообществах содоминантами выступают *Aegopodium podagraria* L., *Vaccinium myrtillus*, *Pulmonaria mollis* Wulf. ex Hornem, *Oxalis asetosella*. В мохово-лишайниковом ярусе доминируют *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. in B.S.G., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not. На месте старых вырубок и пожаров развиты березово-сосновые леса разнотравно-вейниковые. На территории ГР отмечен вид Красной книги Свердловской области: *Goodyera repens*. Растительность Свердловского ГР представлена сосновыми лесами вейниково-разнотравными и производными от них березовыми. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают *Calamagrostis arundinacea*, *Rubus saxatilis*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Aegopodium podagraria*. Отмечен 1 охраняемый вид *Lilium pilosiusculum*. Наблюдаем трансформацию растительных сообществ в результате рекреации, значительно число синантропных видов (9,6 % от общего числа). В одном из фитоценозов отмечено внедрение в кустарниковый ярус культурного вида *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. Заросли *Rubus idaeus* L., под пологом которой находим *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. и *Urtica dioica* L., индицируют места пожаров.

7. Талицкий генетический резерват относится к массивам островных реликтовых боров р. Пышмы, в пределах сосново-березовых предлесостепных лесов Зауральской равнинной провинции.

Талицкий генетический резерват лесообразующих пород № 1. Месторасположение генетического резервата – Боровское участковое лесничество Талицкого государственного лесничества. Общая площадь его составляет 1071,0 га. Преобладающей древесной породой является сосна обыкновенная с примесью в составе на отдельных участках до трех единиц березы бородавчатой.

Насаждения резервата являются высокопродуктивными II класса бонитета, VI клас-

са возраста. При средней относительной полноте древостоя 0,6 запас древесины составляет в среднем 320–350 м^3 на 1 га. Таксационные показатели древостоя характеризуются значениями средних диаметров в пределах 36–42 см и средних высотах 26–28 м. Преобладающими типами леса являются сосняк ягодниковый, черничный и орляковый.

Типичные сообщества резервата − сосновые леса злаковые и разнотравно-злаковые. В травянисто кустарниковом ярусе доминируют *Vaccinium myrtillus*, *Rubus saxatilis*, *Calamagrostis arundinacea*. Присутствующие в составе сообществ лесостепные и луговостепные виды (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Filipendula vulgaris* Moench и др.) отражают характер окружающего ландшафта. Обнаружено 2 вида, внесенных в Красную книгу Свердловской области – *Lilium pilosiusculum*, *Platanthera bifolia*.

8. В лесостепной части Зауральского пенеплена обследовано 2 генетических резервата: Каменск-Уральский № 1 и Каменск-Уральский № 2. Растительность Каменск-Уральского резервата № 1 представляют собой остепненные березовые леса.

Каменск-Уральский генетический резерват лесообразующих пород № 1. Генетический резерват находится на территории Покровского участкового лесничества Свердловского государственного лесничества. Общая площадь его составляет 505,0 га. Насаждения представлены перестойными древесными породами березы бородавчатой составом 10Б II класса бонитета, тип леса – березняк разнотравный. Запас древесины на 1 га колеблется в пределах 230–270 м^3 при относительной полноте 0,7–0,8. Средние диаметры древостоев березы бородавчатой на территории резервата составляют 20–26 см при средних высотах 21–24 м.

Каменск-Уральский генетический резерват лесообразующих пород № 2. Генетический резерват расположен на территории Маминского участкового лесничества Свердловского государственного лесничества и имеет площадь 771,0 га. Преобладающими являются чистые сосновые насаждения с частичным включением в составе до трех единиц березы бородавчатой. Древостои высокопродуктивные, на большей площади резервата отмечены сосняки I класса бонитета, V–VI классов возраста и запасом древесины на 1 га от 350 м^3 до 480 м^3. Относительная полнота древостоев колеблется в пределах от 0,7 до 0,9. Морфометрические показатели сосновых древостоев характеризуются невысокими значениями средних диаметров в пределах 24–36 см и средних высот в пределах 26–28 м. На территории резервата преобладают сосняки злаково-разнотравные и орляковые.

Древостои на территории Каменск-Уральского генетического резервата № 1 и № 2 по шкале жизнеустойчивости можно охарактеризовать, как фоновые (условно неповрежденные) насаждения. Индекс жизненного состояния деревьев составляет – 1,9; дефолиация (изреженность кроны) – до 21 %, дехромация (пожелтение хвои) – 7 %. Отдельно для сосны индекс жизненного состояния – 2,2; дефолиация – 27 %; дехромация – 9 %; срок – 2,4 лет. Для пихты индекс жизненного состояния – 1,7; дефолиация – 19,5 %; дехромация – 7 %; срок – 6,2 лет. Для ели индекс жизненного состояния – 1,9; дефолиация – 21 %; дехромация – 7 %; срок – 6,1 лет. Для березы индекс жизненного состояния – 1,5; дефолиация – 12 %; дехромация – 3,8 %.

В травяно-кустарничковом ярусе преобладают *Fragaria viridis* (Duch.) Weston, *Poa angustifolia* L., *Festuca rubra* L., участие лесостепных видов значительно (24 % от общего числа). Местами травостой стравлен скотом, присутствуют синантропные виды: *Plantago major* L., *Taraxacum officinale* Wigg. и др. (14 % от общего числа). Растительность Каменск-Уральского ГР № 2 представляет собой сосновые леса кустарничково-зеленомошные. В травянисто-кустарниковом ярусе преобладают *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Rubus saxatilis*, *Calamagrostis arundinacea*. Куртинки черники и брусники чередуются с пятнами мха (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*). Охраняемых видов не выявлено.

В целом по результатам обследования генетические резерваты находятся в хорошем состоянии. Однако для сохранения насаждений особо охраняемых территорий необходимо проведение лесовосстановительных и

санитарных рубок. Древостои большинства лесных генетических резерватов можно охарактеризовать как слабо поврежденные насаждения. Индекс жизненного состояния деревьев составляет – 2,2; дефолиация (изреженность кроны) – до 27 %, дехромация (пожелтение хвои) – 9 %. Отдельно для сосны индекс жизненного состояния – 2,5; дефолиация – 27 %; дехромация – 9 %; срок жизни хвои – 2,4 лет. Для ели индекс жизненного состояния – 2; дефолиация –26 %; дехромация – 9 %; срок жизни хвои – 6,2 лет. Для пихты индекс жизненного состояния – 2,2; дефолиация – 28 %; дехромация – 6 %; срок жизни хвои – 6,1 лет. Для березы бородавчатой индекс жизненного состояния – 1,7; дефолиация – 17 %; дехромация – 5,3 %.

В связи с тем, что при создании резерватов не изучалась их генетическая однородность, целесообразно провести комплекс молекулярно-генетических исследований насаждений с целью систематизации данных о генофонде лесообразующих пород. Кроме того, необходимо создать специализированный банк семян, который позволит обеспечить более надежное сохранение генофонда.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума УрО РАН (проекты ориентированных фундаментальных исследований УрО РАН № 12-44-005-СГ, № 11-44-11-СГ) и Проекта РФФИ № 13-04-96057.

Библиографический список

1. Мамаев, С.А. Принципы выявления и сохранения генетических ресурсов древесных растений в лесах СССР / С.А. Мамаев, А.К. Махнев, Л.Ф. Семериков // Лесное хозяйство. − 1984. − № 11. − С. 35−38.
2. Положение о выделении и сохранении генетического фонда древесных пород в лесах СССР. − М.: Госкомлес СССР, 1982. − 22 с.
3. Колесников, Б.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. − Свердловск, 1974. − 176 с.
4. Bitterlich, W. The Relascope Idea. Relative Measurements in Forestry / W. Bitterlich. − Austria, Wien. – 1975. − 280 p.
5. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / отв. ред. Н.С. Корытин. − Екатеринбург: Баско, 2008. − 256 с.
6. Алексеев, А.С. Мониторинг лесных экосистем: учебное пособие для вузов / А.С. Алексеев. − СПб.: Лесотехн. Академия, 1997. − 116 с.
7. Мониторинг состояния лесов Европейского Севера: методические рекомендации / В.Ф. Цветков и др. − Архангельск, 1995. − 35 с.
8. Временная методика по учету сосновых насаждений, подверженных влиянию промышленных выбросов (для опытно-производственной проверки). − М.: ВНИИЛМ Гослесхоза СССР, 1986. − 34 с.
9. Санитарные правила в лесах России. − М.: Наука, 1998. − 16 с.
10. Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analyses of the effects of air pollution on forests. − Hamburg-Geneva: Programme Coordinating Centers/UN-ECE, 1994. − 177 p.

FOREST INVENTORY CHARACTERISTICS AND THE STATE OF FOREST GENETIC RESERVES IN MIDDLE URALS

Shavnin S.A., Dr of Biology, Prof., Director, RAS, Ural Branch Institute Botanic Garden, Galako V.A, Cand. of Agriculture, Senior Research Fellow. RAS, Ural Branch Institute Botanic Garden, Vlasenko V.E, Cand. of Biology, Senior Research Fellow. RAS, Ural Branch Institute Botanic Garden, Lebedev V.A., Post-graduate Student. RAS, Ural Branch Institute Botanic Garden, Erokhina O.V., Cand. of Biology, Research Fellow. Institute of plant and animal ecology UD RAS, Pustovalova L.A., Cand. of Biology, Research Fellow. Institute of plant and animal ecology UD RAS

sash@botgard.uran.ru, vadim.galako@botgard.uran.ru, slava.vlasenko@botgard.uran.ru
Ural Branch: Institute Botanic Garden RAS. 620144, 620144, Russian Federation, Ekaterinburg, St. 8 Marta, 202a
Institute of plant and animal ecology UD RAS. Russian Federation, 620144, Ekaterinburg, St. 8 Marta, 202

The survey of forest genetic reserves, located in the forest areas of Middle Urals is received. It includes forest inventory and floristic characteristics of specially protected natural territories. Work on systematization of forest genetic reserves was carried out in accordance with the accepted in Middle Urals B.P. Kolesnikov classification. The following major taxons were stated: subregion, subzone, province, district and sub-district. Survey of genetic reserves was carried taking into account to present all basic units of forest zoning taxons. In the surveyed reserves have been made 77 geobotanical descriptions and lists of vascular plants (150 sheets) and mosses (50 descriptions). Special attention was paid to the description of seedlings of forest-forming species, including species composition, abundance and life state. There were identified and described rare and endangered species of plants included in the Red book of Sverdlovsk region. Assessing of genetic reserves forest inventory characteristics was held at circular relaskope sites with the using of V. Bitterlikh mirror relascope. The prevailing types of tree stands were determined the productive, structure, stands reserve on 1 ha, the main common types of forests. Values the morphometric parameters are given as an average height and average diameters of tree stands. The main forest inventory

characteristics of surveyed genetic reserves of the Sverdlovsk region gives the general estimation of genetic reserves state. The set of forest types in genetic reserves demonstrates the full diversity of vegetation, corresponding to adopted for Middle Urals forest classification criteria. In addition to forest inventory and floristic characteristics of forest genetic reserves there was provided forest typology survey, indicating the life state of stands, the extent of damage from the impact of exogenous factors – recreation, aerotechnogenic pollution, etc. For each account tree was defined the class of damage, defoliation and dechromation of crown and the age of needles. The carried out study allows to propose a set of specific measures for conservation and improvement of forest genetic reserves state.

Key words: genetic reserve, life condition, floristic composition, coniferous stands, forest type.

References

1. Mamaev S.A., Makhnev A.K., Semerikov L.F. *Printsipy vyyavleniya i sokhraneniya geneticheskikh resursov drevesnykh rasteniy v lesakh SSSR* [Rules of the identification and conservation of genetic resources of woody species in the forests of the USSR]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forest Industry], 1984, no. 11, pp. 35-38.
2. *Polozhenie o vydelenii i sokhranenii geneticheskogo fonda drevesnykh porod v lesakh SSSR* [Rules of the identification and conservation of the genetic pool of woody species in the forests of the USSR]. Moscow, Goskomles SSSR, 1982. 22 p.
3. Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest growth conditions and forest types of the Sverdlovsk region]. Sverdlovsk, 1974. 176 p.
4. Bitterlich W. The Relascope Idea. Relative Measurements in Forestry. Austria, Wien, 1975. 280 p.
5. *Krasnaya kniga Sverdlovskoy oblasti: zhivotnye*, *rasteniya*, *griby* [Red book of the Sverdlovsk region: animals, plants, fungi] ed. N.S. Korytin. Ekaterinburg: Basko, 2008. 256 p.
6. Alekseev A.S. *Monitoring lesnykh ekosistem* [Forest ecosystems monitoring]. St. Petersburg, Lesotekhn. Akademiya, 1997. 116 p.
7. Tsvetkov V.F. et all. *Monitoring sostoyaniya lesov Evropeyskogo Severa* [Forest state monitoring in the European North]. Arkhangelsk, 1995. 35 p.
8. *Vremennaya metodika po uchetu sosnovykh nasazhdeniy*, *podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh vybrosov* [Provisional methods for measurement of pine stands affected by industrial emissions]. Moscow: VNIILM Gosleskhoza SSSR, 1986. 34 p.
9. *Sanitarnye pravila v lesakh Rossii* [Sanitary rules on the forests of Russia]. Moscow, Nauka, 1998. 16 p.
10. Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analyses of the effects of air pollution on forests. Hamburg-Geneva, Programme Coordinating Centers/UN-ECE, 1994. 177 p.

СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ПИГМЕНТОВ В ПЕРИДЕРМЕ ОДНОЛЕТНИХ ПОБЕГОВ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА *FABACEAE* LINDL., ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В НИЖЕГОРОДСКОМ ПОВОЛЖЬЕ

Е.И. ЗАХАРОВА, *доц. каф. лесных культур НГСХА, канд. биол. наук*

robinia@bk.ru

ФГБОУ ВПО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»

603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97

В статье приводятся данные анализа сезонной динамики содержания основных пигментов в перидерме однолетних побегов древесно-кустарниковых видов семейства Fabaceae Lindl. при интродукции в Нижегородском Поволжье. Целью исследования являлось выявление влияния пластидных пигментов хлорофиллоносной паренхимы перидермы побегов на адаптацию Robinia pseudoacacia L., Amorpha fruticosa L., Caragana arborescens Lam. к новым экологическим условиям. Изучение пигментного аппарата осуществлялось с помощью спектрофотометрического анализа. В результате исследований было выявлено, что в осенне-зимний период у всех изучаемых видов происходит накопление количества каротиноидов. Возрастание количества каротиноидов отражает устойчивость желтых пигментов к повреждающим условиям среды и их защитную функцию, что положительно влияет на устойчивость изучаемых интродуцентов к низким отрицательным температурам. Также было установлено, что включение защитных механизмов растения к действию низких температур в зимний период характеризуется не столько количественным содержанием каротиноидов, сколько их отношением к сумме хлорофиллов a и b. Различия по содержанию хлорофилла и каротиноидов выявлены на выровненном фоне экологических условий, что свидетельствует о наследственной природе их возникновения. Этот факт подтвержден результатами дисперсионного анализа.

Ключевые слова: пигменты, интродукция, перидерма, хлорофилл, каротиноиды.

Эколого-физиологические исследования, раскрывающие механизмы взаимодействия растений со средой, имеют большое значение для понимания их географического распределения и анализа соответствия метаболизма климатическим условиям. Реакция растений на действие низкой температуры сопровождается многочисленными физиологическими и биохимическими изменениями, затрагивающими многие стороны метаболизма растительной клетки.

По мнению ряда авторов, пластидные пигменты хлорофиллоносной паренхимы перидермы побегов принимают участие в обеспечении определенной степени стойкости растения к новым условиям среды [5, 10]. Одним из важнейших показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является содержание хлорофиллов и каротиноидов [9].

Объектами исследования служили древесно-кустарниковые виды семейства *Fabaceae* Lindl., имеющиеся в коллекции питомника-дендрария города Дзержинска Нижегородской области: робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.), аморфа кустарниковая (*Amorpha fruticosa* L.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.).

Изучение пигментного аппарата древесно-кустарниковых видов семейства *Fabaceae* Lindl. в условиях интродукции осуществлялось в соответствии с общепринятыми методиками определения содержания основных пигментов, с помощью спектрофотометрического анализа [2–4, 7].

При проведении лабораторных анализов использовалась перидерма однолетних побегов изучаемых видов. Отбор растительных образцов проводили ежемесячно, с ноября 2009 г. по февраль 2010 г. Образцы перидермы отбирали с пяти экземпляров каждого вида в трех биологических повторностях, что является достаточным для получения достоверных результатов исследований. Для проведения анализа 300 мг измельченной перидермы подвергалось механическому растиранию со стеклянной крошкой до однородной массы, с добавлением карбоната кальция $CaCO_3$, для нейтрализации клеточного сока. После этого полученный экстракт перидермы ставили отстаиваться в неосвещенное место. Далее проводилось центрифугирование пигментной вытяжки.

В качестве экстрагирующего вещества был использован 96 % раствор этилового спирта. Для определения оптической плотности вытяжки пигментов в 96 % этаноле использовали спектрофотометр «Спекол» – отечественный аналог СФ-26. Оценку давали при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения: хлорофилла-*a* (665 нМ), хлорофилла-*b* (649 нМ), каротиноидов (452,5 нМ) [1, 7, 8]. Концентрации пигментов вычисляли по уравнениям Хольма-Веттштейна для 96 %-го раствора этанола [6].

Анализ сезонной динамики содержания основных пигментов в перидерме древесно-кустарниковых видов семейства *Fabaceae* Lindl. выявил заметную неоднородность изучаемых видов (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, наибольшее содержание хлорофилла-а, в течение всего периода наблюдений, было отмечено у робинии лжеакации (0,8 – 1,5 мг/г сухого вещества), наименьшее – у аморфы кустарниковой (0,55–0,8 мг/г). При этом среднесезонное содержание хлорофилла-а у робинии лжеакации составило 1,07 мг/г, у караганы древовидной – 0,82 мг/г, у аморфы кустарниковой – 0,64 мг/г.

Динамика содержания хлорофилла-а практически у всех исследуемых видов имела общие тенденции с максимумом в декабре и минимумом в январе, исключение составила аморфа кустарниковая, которая не продемонстрировала декабрьского максимума в содержании данного пигмента. Увеличение концентрации хлорофилла-а может быть связано с окончанием образования углеводов (крахмала) у растений в начале зимы.

Поскольку органическое вещество может синтезироваться только в хлоропластах листа и зеленых частях стебля, а с установлением устойчивых отрицательных температур происходит деградация хлоропластов и синтез пигментов сводится к минимуму, соответственно концентрация хлорофилла-*a* уменьшается и происходит исчезновение крахмальных зерен. В конце зимы опять происходит постепенное накопление хлорофилла-*a*, в перидерме однолетних побегов, за счет чего увеличивается поглощение световой энергии, усиливается фотосинтетическая активность и наблюдается увеличение количества крахмала в клетках.

Содержание хлорофилла-*b* в перидерме исследуемых видов также было подвержено изменениям в течение осенне-зимнего периода

Таблица 1

Сезонная динамика содержания основных пигментов в перидерме древесно-кустарниковых видов семейства *Fabaceae* Lindl., мг/г сухого вещества
Seasonal dynamics of major pigments in the periderm tree and shrub species of the family Fabaceae Lindl., Mg/g dry matter

Вид	Содержание пигментов				Отношение			
	Хлорофилл-*a*	Хлорофилл– *b*	Каротиноиды	Сумма пигментов	*a*/*b*	*a*/(*a*+*b*)	*b*/(*a*+*b*)	Каротиноиды/(*a*+*b*)
ноябрь 2009 г.								
Caragana arborescens	0,68±0,03	0,43±0,02	0,28±0,01	1,39±0,02	1,59±0,11	0,61±0,02	0,38±0,02	0,25±0,01
Robinia pseudoacacia	0,96±0,02	0,42±0,05	0,25±0,01	1,63±0,02	2,34±0,36	0,69±0,03	0,31±0,03	0,18±0,01
Amorpha fruticosa	0,80±0,01	0,56±0,04	0,20±0,01	1,56±0,04	1,45±0,09	0,59±0,02	0,41±0,02	0,15±0,01
декабрь 2009 г.								
Caragana arborescens	1,10±0,01	0,44±0,01	0,34±0,003	1,88±0,02	2,52±0,04	0,72±0,01	0,28±0,01	0,22±0,001
Robinia pseudoacacia	1,50±0,02	0,73±0,01	0,35±0,004	2,58±0,02	2,06±0,04	0,67±0,01	0,33±0,01	0,16±0,002
Amorpha fruticosa	0,66±0,02	0,30±0,01	0,27±0,004	1,23±0,03	2,21±0,03	0,69±0,01	0,31±0,01	0,28±0,003
январь 2010 г.								
Caragana arborescens	0,74±0,01	0,27±0,01	0,25±0,004	1,27±0,01	2,75±0,11	0,73±0,01	0,27±0,01	0,25±0,005
Robinia pseudoacacia	0,80±0,02	0,40±0,01	0,21±0,002	1,40±0,03	1,99±0,02	0,67±0,01	0,33±0,01	0,17±0,005
Amorpha fruticosa	0,55±0,01	0,27±0,01	0,21±0,005	1,03±0,02	2,00±0,02	0,68±0,01	0,33±0,01	0,26±0,001
февраль 2010 г.								
Caragana arborescens	0,74±0,01	0,36±0,01	0,27±0,002	1,36±0,01	2,05±0,08	0,67±0,01	0,33±0,01	0,24±0,005
Robinia pseudoacacia	1,01±0,01	0,54±0,01	0,27±0,003	1,83±0,01	1,88±0,03	0,65±0,01	0,35±0,01	0,17±0,003
Amorpha fruticosa	0,56±0,01	0,36±0,01	0,21±0,003	1,13±0,006	1,57±0,05	0,61±0,01	0,39±0,01	0,22±0,002

(табл. 1). Как видно из приведенных результатов анализа, динамика накопления хлорофилла-*b* практически не отличается от накопления хлорофилла-*a*. Однако в количественном выражении концентрация хлорофилла-*b* была ниже концентрации хлорофилла-*a* у всех видов, подвергавшихся анализу. Среднесезонное содержание хлорофилла-*b* оказалось наибольшим у робинии лжеакации (0,52 мг/г), и практически одинаковым содержанием данного пигмента характеризовались карагана древовидная (0,38 мг/г) и аморфа кустарниковая (0,37 мг/г).

Исследование количественного содержания каротиноидов в перидерме однолетних побегов показало, что это довольно динамичный показатель. В осенний период у всех изучаемых видов происходит накопление количества каротиноидов с максимумом накопления в декабре. При этом максимальное количество данного пигмента, по данным анализа перидермы, заготовленной в декабре, было зафиксировано у робинии лжеакации (0,35 мг/г) и караганы древовидной (0,34 мг/г), а наименьшее – у аморфы кустарниковой, и составило 0,27 мг/г. Возрастание в холодный период года относительного содержания каротиноидов отражает устойчивость желтых пигментов к повреждающим условиям среды и их защитную функцию.

Таблица 2

Данные однофакторного дисперсионного анализа по содержанию основных пигментов в перидерме однолетних побегов древесно-кустарниковых видов семейства *Fabaceae* Lindl

These one-way ANOVA on the main content of pigments in the periderm of annual shoots of trees and shrubs species of the family Fabaceae Lindl

Признаки	Критерий Фишера		Сила влияния фактора				*HCP*	*D* критерий Тьюки
	F_{on}	F_{05}	по Плохинскому		по Снедекору			
			h^2	$\pm S_{h2}$	h^2	$\pm S_{h2}$		
Caragana arborescens Lam.								
Хлорофилл-*a*	153,72	4,07	0,98	0,006	0,98	0,007	0,043	0,081
Хлорофилл-*b*	38,19	4,07	0,93	0,024	0,93	0,028	0,035	0,065
Каротиноиды	77,32	4,07	0,97	0,012	0,96	0,014	0,013	0,025
Сумма пигментов	312,42	4,07	0,99	0,003	0,99	0,004	0,043	0,082
Robinia pseudoacacia L.								
Хлорофилл-*a*	270,86	4,07	0,99	0,004	0,98	0,004	0,051	0,096
Хлорофилл-*b*	34,09	4,07	0,93	0,027	0,92	0,031	0,071	0,13
Каротиноиды	73,12	4,07	0,96	0,013	0,96	0,014	0,019	0,036
Сумма пигментов	537,14	4,07	1,0	0,002	0,99	0,002	0,061	0,114
Amorpha fruticosa L.								
Хлорофилл-*a*	104,78	4,07	0,98	0,009	0,97	0,011	0,031	0,059
Хлорофилл-*b*	39,03	4,07	0,94	0,024	0,93	0,027	0,057	0,107
Каротиноиды	35,08	4,07	0,93	0,026	0,92	0,03	0,015	0,028
Сумма пигментов	81,05	4,07	0,97	0,012	0,96	0,014	0,071	0,132

В январе происходит незначительное снижение количества каротиноидов у изучаемых видов, после чего оно остается практически неизменным в течение оставшегося периода наблюдений.

Включение защитных механизмов растения к действию низких температур в зимний период характеризуется не столько количественным содержанием каротиноидов, сколько их отношением к сумме хлорофиллов *a* и *b* (табл. 1). Чем выше показатель данного отношения, тем выше адаптированность растений. Наибольшими значениями данного показателя характеризовалась карагана древовидная – от 0,22 до 0,25 за разные месяцы анализируемого периода, наименьшими – робиния лжеакация (0,16 – 0,18). Аморфа кустарниковая, имея показатель данного отношения в ноябре 0,15, с установлением холодного периода довела его до 0,28, что может свидетельствовать об активации защитных функций организма.

Общее количество пигментов (табл. 1) оказалось наибольшим у робинии лжеакации, среднее содержание хлорофиллов-*a*, *b* и каротиноидов у нее составило 1,86 мг/г, что связано с ее более южным происхождением. Наименьшим общим содержанием пигментов характеризовалась аморфа кустарниковая – 1,24 мг/г. Среднесезонное общее содержание пигментов у караганы древовидной составило 1,48 мг/г.

Ход изменения количества пигментов был примерно одинаковым у всех объектов исследования.

О степени сформированности фотосинтетического аппарата в зимний период можно судить по отношению хлорофилла-*a* к хлорофиллу-*b* (табл. 1). Общеизвестно, что каждый тип хлорофилла способен поглощать свет лишь определенной длины волны. При этом фотосинтетическая деятельность невозможна без хлорофилла-*a*, который переводит энергию света в химическую. Хлорофилл-*b* имеет иной спектр поглощения и играет вспомогательную роль, передавая поглощенную энергию света хлорофиллу-*a*. Соответственно, чем больше отношение хлорофилла-а к хлорофиллу-*b,* тем интенсивнее фотосинтез. У караганы древовидной это отношение варьировало от 1,59 до 2,75, у робинии лжеакации от 1,88 до 2,34, у аморфы кустарниковой от 1,45 до 2,21.

По результатам приведенных данных можно сделать вывод о том, что интродуцированные виды прошли успешную адаптацию к природным условиям Нижегородского Поволжья.

Изучаемые виды заметно различались средними величинами анализируемых признаков и диапазонами их значений. Однофакторный дисперсионный анализ подтвердил существенность различий, обнаруженных между видами, по большинству анализируемых признаков (табл. 2).

Для проведения однофакторного анализа показатели исследуемых признаков были объединены в равномерный комплекс, что позволило оценить степень влияния на них календарных сроков заготовки побегов (табл. 2).

Данные табл. 2 свидетельствуют о наличии существенных различий в изученном комплексе. Опытные значения F-критерия Фишера во много раз превосходят соответствующие табличные значения.

Анализ данных позволяет сделать заключение о том, что динамика основных пигментов в перидерме однолетних побегов, подвергавшихся исследованиям, в значительной степени обусловлена календарными сроками, а именно совокупностью климатических факторов, характерных для наблюдаемого периода. Доля влияния организованных факторов (различий в сроках заготовки побегов) на формирование дисперсии (разброс значений признака) по всем анализируемым признакам, у всех видов превышает 90 % как в расчетах по методу Плохинского, так и в расчете по Снедекору.

Величины *HCP* и *D*-критерия Тьюки показали, что по всем признакам у анализируемых видов при их сравнении различия относятся к существенным.

Данные проведенного анализа позволяют сделать ряд выводов:

– содержание основных пигментов в перидерме однолетних побегов древесно-кустарниковых видов семейства *Fabaceae* Lindl. подвержено изменениям в осенне-зимний период года. Минимальное содержание хлорофиллов отмечается в наиболее холодные зимние месяцы, но их полного разрушения в этот период не наблюдается;

– одной из причин достаточно высокой устойчивости изучаемых интродуцентов к низким отрицательным температурам может являться повышение содержания каротиноидов в зимние месяцы;

– содержание хлорофиллов и каротиноидов у древесно-кустарниковых видов семейства *Fabaceae* Lindl., в условиях интродукции, свидетельствует об их успешной адаптации к новым условиям произрастания.

Библиографический список

1. Бессчетнова, Н.Н. Специфика клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) по содержанию основных пигментов в хвое / Н.Н. Бессчетнова // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири: Материалы III-го межвуз. Итнернет-семинара. – Томск, Томский гос. ун-т, 2007. – С. 19–24.
2. Бессчетнова, Н.Н. Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной / Н.Н. Бессчетнова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. – № 6 (75). – С. 21–25.
3. Булда, О.В. Спектрофотометрический метод определения содержания каротинов, ксантофиллов и хлорофиллов / О.В. Булда, В.В. Рассадина, Г.Н. Алексейчук, Н.А. Ламан // Физиология растений. – М.: РАН, 2008. – Т. 55. – № 4. – С. 604–611.
4. Ермаков, А.И. Методы биохимических исследований растений / А.И.. Ермаков и др. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
5. Кузнецова, Н.В. Устойчивость семечковых культур к абиотическим стрессам: дисс. … канд. с/х наук: 06.01.05 / Н.В. Кузнецова; Мичуринск, 2008. – 203 с.
6. Лапина, Г.П. Влияние нефти на пигментный состав сосны обыкновенной – Pinus sylvestris / Г.П. Лапина, Н.М. Чернавская, М.Е. Литвиновский, С.В. Сазанова // Электронный научный журнал «Исследовано в России». – 2007. – http://www.zhurnal.ape.relarn.ru.
7. Максимов, Г.Л. Методы биохимического анализа растений / Г.Л. Максимов. – Л.: ЛГУ, 1978. – 192 с.
8. Практикум по физиологии растений / сост. Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнаухова, Л.А. Паничкин и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
9. Титова, М.С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* / М.С. Титова // Вестник ОГУ. – Оренбург, 2010. – № 12 (118). – С. 9–12.
10. Яцко, Я.Н. Пигментный аппарат вечнозеленых растений на Севере: автореф. дисс. … канд. биол. наук / Я.Н. Яцко; Ботан. инс-т им. В.Л. Комарова РАН. – СПб, 2010. – 23 с.

THE CONCENTRATION OF THE BASIC PIGMENTS IN THE PERIDERM OF THE *FABACEAE* LINDL. FAMILY HARDY-SHRUB SPECIES ONE-YEAR SPROUTS, UPON THE INTRODUCTION IN NIZHNY NOVGOROD POVOLZHYE

Zakharova E.I., Associate Prof. of the Forest Cultures Department of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Cand. of biological science

robinia@bk.ru

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy Russian Federation, 603107, Nizhny Novgorod, Gagarina prospect, 97

The article contains the analysis data of the seasonal dynamics of the concentration of the basic pigments in the periderm of Fabaceae Lindl. family hardy-shrub species one-year sprouts, upon their introduction in Nizhny Novgorod Povolzhye. The purpose of the research was to reveal the impact of plastid pigments of the sprouts periderm chlorophyll-bearing parenchyma on the adaptation of Robinia pseudoacacia L., Amorpha fruticosa L., Caragana arborescens Lam. to new ecological conditions. The research of the pigment apparatus was carried out using the spectrophotometric analysis. In the result of the researches it was revealed that during the fall and winter season among all studied species there takes place the accumulation of the amounts of carotenoids. The increase of the amounts of carotenoids reflects the stability of the yellow pigments to deleterious environmental conditions and their protective function, which has positive impact on the stability of the studied introducents to low freezing temperatures. It was also found out that the activation of the plant protection mechanisms against the impact of low temperatures during the winter season is characterized no so much by the quantitative concentration of carotenoids, but by their ratio to the sum of the a and b chlorophylls. The differences in the concentration of chlorophyll and carotenoids were revealed on the aligned background of ecological conditions, which evidences of the inheritable nature of their emergence. This fact is confirmed by the results of the dispersion analysis.

Key words: pigments, introduction, periderm, chlorophyll, carotenoids.

References

1. Besschetnova N.N. *Spetsifika klonov plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy* (*Pinus sylvestris L.*) *po soderzhaniyu osnovnykh pigmentov v khvoe* [The specific characteristics of the Scotch pine (*Pinus sylvestris L.*) plus trees clones based on the concentration of the basic pigments in the pine needles] *Lesnoe khozyaystvo i zelenoe stroitel'stvo v Zapadnoy Sibiri: Materialy III-go mezhvuz. Itnernet-seminara* [Forestry and Green Building in Western Siberia: Proceedings of the III-rd Hi. Itnernet seminar]. Tomsk, TSU, 2007, pp. 19-24.
2. Besschetnova N.N. *Soderzhanie osnovnykh pigmentov v khvoe plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy* [The concentration of the basic pigments in the Scotch pine plus trees pine needles] Bulletin of Moscow State University of Forestry – Forestry Bulletin. 2010, № 6 (75), pp. 21-25.
3. Bulda O.V. Rassadina V.V. Alekseychuk G.N. Laman N.A. *Spektrofotometricheskiy metod opredeleniya soderzhaniya karotinov, ksantofillov i khlorofillov* [The spectrophotometric method of definition of the concentration of carotins, xanthophylls and chlorophylls] *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiol]. Moscow, RAN, 2008, T. 55, № 4, pp. 604-611.
4. Ermakov A.I. Metody *biokhimicheskikh issledovaniy rasteniy* [The methods of biochemical plants studies]. Leningrad, Agropromizdat, 1987, 430 p.
5. Kuznetsova N.V. *Ustoychivost' semechkovykh kul'tur k abioticheskim stressam. Dis. kand. s/kh nauk* [The stability of pomaceous cultures against abiotic stresses. Cand. agricultural sci. diss.] Michurinsk. 2008, 203 p.
6. Lapina G.P. Chernavskaya N.M. Litvinovskiy M.E. Sazanova S.V. *Vliyanie nefti na pigmentnyy sostav sosny obyknovennoy – Pinus sylvestris* [The impact of oil on the pigment composition of the Scotch pine – Pinus sylvestris] *Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Issledovano v Rossii»* [Electronic scientific journal «Investigated in Russia»]. 2007, www.zhurnal.ape.relarn.ru.
7. Maksimov G.L. *Metody biokhimicheskogo analiza rasteniy* [The methods of biochemical analysis]. Leningrad, LGU, 1978, 192 p.
8. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Workshop on the plant physiology] *sost. N.N. Tret'yakov, T.V. Karnaukhova, L.A. Panichkin i dr.* [comp. NN Tretyakov, TV Karnauhova, LA Panichkin etc.]. Moscow, Agropromizdat, 1990, 271 p.
9. Titova M.S. *Soderzhanie fotosinteticheskikh pigmentov v khvoe Picea abies i Picea koraiensis* [The concentration of photosynthetic pigments in the pine needles of *Picea abies* and *Picea koraiensis*] *Vestnik OGU* [Herald OSU]. Orenburg, 2010, № 12 (118), pp. 9-12.
10. Yatsko Ya.N. *Pigmentnyy apparat vechnozelenykh rasteniy na Severe: avtoref. diss. kand. biol. nauk* [The pigment apparatus of the evergreen plants in the North: Author. diss. cand. biol. science]. St. Petersburg, 2010. 23 p.

ДИНАМИКА ТРАНСФОРМАЦИИ КОРЕННЫХ ДУБРАВ И ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИЕ БАЗИДИАЛЬНЫЕ ГРИБЫ ТЕЛЛЕРМАНОВСКОГО ЛЕСА

В.Г. СТОРОЖЕНКО, *Институт лесоведения РАН,*
В.М. КОТКОВА, *Ботанический институт им В.Л.Комарова РАН,*
П.А. ЧЕБОТАРЕВ *Теллермановское опытное лесничество ИЛАН РАН*, *Воронежская обл.*

lesoved@mail.ru,vera.kotkova@mail.ru, *tol@icmail.ru*
Институт лесоведения РАН, 141030, Московская обл., Одинцовский р-он, с. Успенское, ул. Советская, 21
Ботанический институт им. В.Л.Комарова, 197376, Санкт-Петербург, ул. проф. Попова д.2
Теллермановское опытное лесничество Института лесоведения РАН, 397206, Воронежская обл., Грибановский р-он, пос. Теллермановский, ул.Корнаковского, 12

Проблема деградации дуба входит в число важнейших проблем лесного профиля страны. Сокращаются площади дубовых древостоев, снижаются деловые качества дубовой древесины. Зона лесостепи исторически относится к регионам поставщиков дубового сырья. В статье проанализированы данные лесоустройства коренных дубовых лесов естественного происхождения в двух заповедных кварталах Теллермановского опытного лесничества Воронежской области, входящих в зону лесостепи, за период с 1938 по 2012 годы и сведения о лесоводственных характеристиках нагорных снытиевых дубрав Теллермана. Приведено распределение количества и объемов деревьев по возрастным группам. Отмечена замена деревьев дуба первого яруса полнотой 0,1–0,2 и возрастом в среднем 280 лет на клен, ясень, липу вяз из второго и третьего ярусов. Полностью отсутствует подрост дуба. Приводятся величины пораженности деревьев дуба ясеня, клена и липы дереворазрушающими грибами, вызывающими комлевые и корневые гнили. Поражаемость дуба и липы почти в 5 раз выше, чем клена и ясеня. Этот факт входит в число причин деградации дуба. Рассмотрена динамика объемов древесного отпада, которая говорит о дигрессивной динамике присутствия дуба в составе коренных лесов Теллермановского лесничества. Составлен список основных видов дереворазрушающих грибов дубовых древостоев Теллермановского леса, насчитывающий 71 вид. Отмечено, что 63 % всего состава видов относится к облигатным сапротрофам, 22 % видов к факультативным сапротрофам и 15 % видов к факультативным паразитам.

Ключевые слова: дубовые леса, объемы деревьев, дереворазрушающие грибы, пораженность древостоев, видовой состав грибов.

Проблема трансформации древостоев с преобладанием дуба в смешанные леса с преобладанием ясеня, клена, липы, вяза, в которых дуб как наиболее ценная порода постепенно теряет свои эдификаторные позиции, приобрела в настоящее время глобальное звучание. Для южных областей России она стоит особенно остро. В глубокой исторической ретроспективе коренные леса зоны лесостепи естественного происхождения имели смешанный состав, но главной породой был дуб, имевший в составе до 7 единиц участия по запасу древесины. Территории лесостепной зоны всегда были довольно густо заселены, и леса постоянно эксплуатировались для различных хозяйственных и производственных нужд. Но еще со времен Петровской эпохи некоторые ценные массивы дубняков заповедовались. В Воронежской области к числу заповедных были отнесены дубняки Шипова и Теллермановского лесов. В Указе Петра1 от 27.03.1702г. заповедными названы леса «...от больших рек в стороны по 50 верст, а от средних и малых рек – по 30 верст»… «и приказать старостам и крестьянам ... беречь те леса до великого государя указу, чтоб никто тех заповедных лесов и дубового валежника не рубили и из лесов не возили» [3]. В Теллермановском опытном лесничестве Института лесоведения РАН лесоводственные исследования ведутся со второй половины 19 века. Сохранились данные таксации лесов с начала 20-го века. Постоянный мониторинг лесоводственных показателей дубовых древостоев, проводимый в заповедных квартала лесничества, убедительно доказывает тренд деградации дуба и замены его в составе древостоев на другие лиственные породы. Причины этой деградации относят в категории комплексных [2, 7, 11]. В число основных причин входят как абиотические факторы – изменение климатических, гидрологических параметров территорий, так и биотические воздействия – эномо- и микофаги. В настоящем сообщении приведены некоторые сведения о таксационных характеристиках коренных дубовых древостоев двух заповедных кварталов, зафиксированных в разные

временные периоды, величине пораженности дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса древостоев с участием дуба и составе видов дереворазрушающих грибов, разлагающих древесный отпад.

Кратная методика работ

Из состава заповедных кварталов опытного лесничества нами отобраны два квартала коренных дубрав естественного происхождения, которые в наименьшей степени подвергались лесохозяйственным воздействиям – кв. 15 и 37, древостои которых входят в категорию высокоствольных нагорных дубрав. Для анализа использовались «Проекты организации и развития лесного хозяйства Теллермановского опытного лесничества…»[6, 7] и «Таксационные описании …» [11], а также данные постоянных пробных площадей, заложенных нами в последние годы. Анализировались данные средних величин состава и объемов деревьев по породам в выделах, не затронутых рубками. Пораженность древостоев учитывалась на пнях, оставшихся после сплошных лесовосстановительных рубок в других кварталах. Объемы деревьев по породам на постоянных пробных площадях, заложенных нами в 2012 г., вычислялись по сортиментным таблицам для дуба [5], ясеня и клена [4] по фактическим измерениям диаметров применительно ко 2-му разряду высот для пород, составляющих древостои пробных площадей. Видовой состав дереворазрушающих грибов определялся по плодовым телам на стволах растущих деревьев и древесном отпаде. Идентификация видов проведена В.М. Котковой (БИН РАН) и В.Г.Стороженко (ИЛАН РАН). Таксационные данные прошлых лет предоставлены и обработаны пом. лесничего Теллермановского опытного лесничества П.А. Чеботаревым.

Леса Теллермановского лесничества Воронежской области представляют собой древостои различного происхождения – от искусственных, одновозрастных различного возраста, до естественных, разновозрастных, имеющих в вертикальном строении до 3–4 ярусов различного породного состава и смешения. По вертикальному рельефному расположению они делятся на нагорные, располагающиеся на приподнятых плакорах, и пойменные, приуроченные к пойме р. Хопра. Нагорные дубравы характеризуются различными вариациями снытьевых типов леса и производительности в зависимости от степени засоленности почв от I до Y бонитетов. Пойменные дубравы в основном относятся к ландышево-ежевичным и ландышевым типам леса меньшей производительности, чем нагорные, не выше II бонитета. Наши исследования касались лишь нагорных дубрав. В табл. 1 приведены характеристики основных таксационных показателей древостоев естественного происхождения нагорных дубрав в кв. 15 и 37 по данным лесоустройств прошлых лет и пробных площадей, заложенных нами в 2012 г.

Из данных табл. 1 видно, что за период проведения 8-ми лесоустройств (1938–2012 гг.), то есть за 74 года, участие дуба в составе заповедных древостоев естественного происхождения по объемным показателям сократилось в кв. 15 на 3 и в кв. 37 на 2 единицы. Во всех подчиненных ярусах дуба вообще нет, как нет его и в составе подроста. Естественное возобновление дуба отсутствует практически на всей площади лесов Теллермановского лесничества. Интересно отметить, что по данным лесоустройства Теллермановской корабельной рощи еще в 1860 г. средний возраст ярусов древостоев определялся формулой по ярусам 60–150+250, где 250 – возраст деревьев дуба первого яруса, 60–150 – возраст деревьев, по всей вероятности, подчиненных ярусов, сложенных другими породами – кленом, липой, ясенем, ильмом. При последней ревизии аналогичная формула имела состав 170–190+230 лет. По нашим учетам, предельные возрасты некоторых дубов наивысших диаметров составляют в среднем 280 лет. Таким образом, более чем за полуторавековой период формула коренного дубняка естественного происхождения по средним показателям возрастов ярусов древостоев не слишком изменилась. Этот феномен можно объяснить тем, что по данным обзора данных прошлых таксаций раньше под пологом первого яруса дуба периодически проводились выборочные рубки в подчиненных ярусах. Дуб первого яруса оставался

Таблица 1

Средние значения таксационных показателей нагорных снытьевых дубрав естественного происхождения в кв. 15 и 37 по периодам лесоустройства

Average values of upland forest indices snytievyh oak natural origin in m. 15 and 37 for periods of forest management

Год учета	№ квартала	Состав по ярусам		Средний возраст, 1–2 ярусы	Средний диаметр, 1–2 ярусы	Средняя высота, 1–2 ярусы	Бонитет, 1–2 ярусы	Полнота, 1–2 ярусы	Запас сырорастущего леса по ярусам, $м^3га^{-1}$	
		1	2						1	2
1938	15	7Д2Я1ЛП+КЛ	6Кл4Лп+Ил	170–100	60–20	29–19	2–2	0,5–0,2	240	80
	37	6Д2Кл2Лп+Я,Ил	3Кл3Ил2Лп2Я	170–100	52–24	28–20	2–2	0,9–0,3	500	110
1950	15	7Д1Я1Лп1Кл	5Кл4Лп1Ил	220–100	65–20	30–19	2–2	0,5–0,2	240	50
	37	7Д1Я1Кл1Лп+Ил	4Кл3Ил2Лп1Я	220–110	60–16	30–15	2–2	0,8–0,2	380	35
1965	15	7Д1Я1Кл1Лп	5Кл4Лп1Ил	235–125	90–23	32–22	2–2	0,5–0,2	300	90
	37	6Д1Я2Кл1Лп	5К3Лп2Клп	235–125	91–21	32–20	2–2	0,6–0,3	370	80
1978	15	5Д2Лп2Кл1Я	6Кл3Лп1Я	200– 80	94–24	30–20	2–2	0,6–0,2	270	н/д
	37	6Д2Кл1Лп1Я	5Кл3Лп2Клп	215–100	90–24	30–18	2–2	0,7–0,2	310	н/д
1990	15	5Д3Кл2Лп+Я	4Кл3Лп2Я+Ил	220–60	88–16	30–15	2–2	0,4–0,3	170	60
	37	5Д2Лп2Кл1Я	5Кл2Лп2Я+Клп	220–60	88–18	30–18	2–2	0,4–0,3	180	80
2003	15	4Д3Кл2Лп1Я	3Яс3Кл3Лп1Ил	230–60	80–22	28–18	2–2	0,4–0,3	160	60
	37	5Д2Лп2Кл1Я	5Кл2Лп2Я1Клп	230–75	88–22	30–19	2–2	0,4–0,3	230	80
2008	15	4Д3Кл2Лп1Я	3Я3Кл3Лп1Ил	230–70	80–22	28–18	2–2	0,4–0,3	160	60
	37	5Д2Кл2Лп1Я	5Кл2Лп2Кл1Я	230–75	88–22	30–19	2–2	0,5–0,3	230	80
2012	15	4Д3Кл2Лп1Я	3Я3Кл3Лп1Ил	230–70	80–22	28–18	2–2	0,4–0,3	160	60
	37	5Д2Кл2Лп1Я	5Кл2Лп2Я1Клп	230–75	88–22	30–18	2–2	0,4–0,3	230	80
Данные анализа древостоев постоянных пробных площадей										
2012	15	5Д2Кл2Яс1Лп+Вз	6Яс3Кл1Лп+Вз	280–100	90–24	32–20	2–2	0,2–0,6	410	109
2013	37	4Д3Кл 2Я1Лп+Вз	5Кл3Яс2Лп+ Вз	280–100	76–20	30–18	2–2	0,2–0,6	266	130

нетронутым. Начиная с 1991 г. рубки в любых ярусах заповедных кварталов прекращены. Но остается пока без ответа еще один вопрос: если за полуторавековой период дуб из первых ярусов не вырубался, то почему в современных оценках его предельные возраста определяются в 230, а не почти в 400 лет? Можно предположить, что еще до 1936 г. в составе вторых ярусов этих древостоев была примесь дуба, деревья которого сохранялись как наиболее ценные при выборочных рубках деревьев во вторых ярусах и постепенно вошли в первый ярус, состав которого мы и видим в настоящее время. Отсутствие деревьев дуба старше 300 лет объясняется предельным возрастом этой породы для условий Теллермановского леса (250–280 лет), после которых она выпадает из состава древостоя. Данные учетов по составу древостоев на наших пробных площадях не слишком отличаются от таксационных показателей прошлых лесоустройств (табл. 1).

Коренные древостои естественного происхождения по структуре древесного полога схожи между собой и характеризуются как разновозрастные леса циклично-разновозрастных структур, в которых первое поколение представлено старовозрастным дубом, а остальные поколения деревьями других пород (рисунок).

Несмотря на то, что первое поколение (240–280 лет) представлено всего 5-ю деревьями, в нем сосредоточено 55 % всего запаса древостоя. Этот запас обеспечивают деревья дуба, имеющие диаметр более 1 м на высоте 1,3 м. Остальные 45 % приходятся на деревья ясеня, клена, липы и вяза, причем 22 % объема составляют деревья от 60 до 140 лет, и 23 % объема составляют деревья от 180 до 200

Таблица 2

Пораженность деревьев по породам и древостоя в целом на пробной площади сплошной вырубки
Infestation of trees by species and stand on the whole plot clearcut

Состав вырубленного древостоя	Пораженность в пределах пород, %				Общая для древостоя
	Дуб	Ясень.	Клен	Липа	
4Д3Яс2Кл1Лп	64,0	10,0	14,0	75,0	40,0

Таблица 3

Объемы валежа по стадиям разложения в кв. 15 (данные 2008 г.)
Volumes of deadwood in stages of decomposition in m. 15 (2008)

Объем валежа на 1 га	В том числе по стадиям разложения, %				
	1 –до 3 лет	1 – 4–10	3 – 11–20	4 – 21–30	5 – 31–40
124,8	ед	59,7	29,1	11,2	ед

лет. Деревья дуба и других пород, имеющие возраст от 180 до 280 лет, составляют первый ярус коренного древостоя, остальные деревья входят в состав второго и 3-го ярусов.

Немаловажно отметить также то, что подрост дуба на всей площади древостоев нагорных дубрав лесничества не был отмечен ни при одном лесоустройстве. Учеты на пробной площади кв. 15 естественного коренного древостоя в 2012 г. показали, что на 1 гектаре площади выдела отмечено 380 штук подроста дуба от 0,1 до 1 м высоты в угнетенном состоянии, благонадежный подрост разных лет других пород составлял: клена остролистного – 540, клена полевого – 1540, вяза – 120, липы – 240, ясеня – 300 штук. Неблагонадежного подроста дуба оказалось в 7,2 раза меньше, чем благонадежного подроста других пород. К ним следует добавить довольно густой подлесок из лещины и других кустарников. Таким образом, приходится констатировать, что условий для формирования дубового состава древостоя в современных смешанных древостоях лесостепи нет и можно ожидать, что после вывала первого яруса старовозрастных дубов состав леса сформируется полностью без его участия.

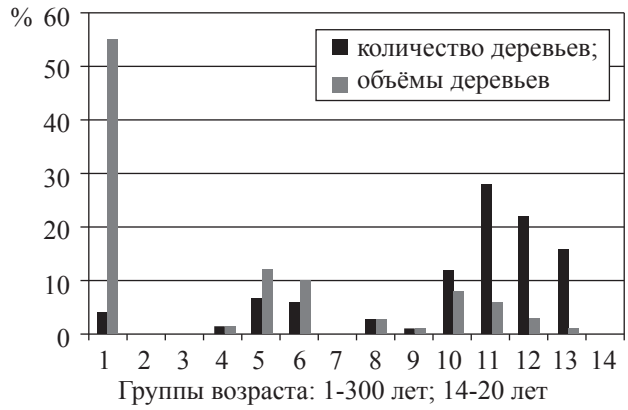


Рисунок. Распределение количества и объемов деревьев по возрастным группам в древостое пр. пл. кв. 15.: ряд 1 – количество деревьев; ряд 2 – объемы деревьев

Fig. Distribution of the number and sizes of trees by age groups in the stand, etc. Sq. m. 15.: Row 1 – number of trees; Row 2 – volume of trees

В формировании состава древостоев принимают непосредственное участие дереворазрушающие грибы биотрофного комплекса. Это участие выражается в поражении деревьев различными видами грибов, образовании гнилевых фаутов, которые приводят к ослаблению и дальнейшему усыханию деревьев. В табл. 2 представлены величины пораженности старовозрастного древостоя дереворазрушающими грибами по учетам на пнях после сплошной рубки. Вырубленный лес представлял собой относительно разновозрастный древостой, имевший состав и возрастной ряд, близкий к коренным древостоям естественного происхождения. Можно видеть, что общая пораженность древостоя довольно значительна. По величине поражения выделяются две породы – липа и дуб. Однако ясень и клен, также входившие в состав 1 и 2 ярусов, имеют значительно более низкие уровни поражения, что можно связать с их большей перспективностью выйти в число эдификаторных пород при смене дуба.

Эти данные следует рассматривать как факт прямого участия дереворазрушающих грибов в формировании породного состава смешанных с дубом лесов и их влияния на постепенную деградацию дуба.

По типам гнилей общую пораженность можно разделить на две группы, в которых корозионные гнили составляют 23 %, а деструктивные гнили – 77 %. Такое соотношение по качественным параметрам гнилей характеризует древостой как сообщество с преобладанием деревьев старших возрастов. В настоящей работе мы не приводим объемные показатели гнилей. Эти данные будут изложены в других работах. Довольно подробно этому вопросу уделил внимание А.Т. Вакин [1]

В генезисе коренных лесов значительное место занимает древесный отпад, составляющий один из консортов деструктивной цепи круговорота биомассы в лесном сообществе. Эта структура также составляет один из двух прямых показателей баланса накапливаемой автотрофами и разлагаемой гетеротрофами биомассы лесного сообщества, определяющих устойчивость леса как качества его долговременного существования. Чем ближе этот баланс к 1, тем устойчивее лесное сообщество [9]

Учет древесного отпада в форме стволов валежа и различных крупных фрагментов стволов деревьев проведен в том же коренном лесу естественного происхождения на площади 1 га в кв. 15. В табл. 3 приведены результаты этих учетов. Весь древесный отпад разделен по стадиям разложения, датировка которых проведена нами ранее [9].

Расчет длительности разложения валежа проведен с учетом разделения пород на твердолиственные и мягколиственные. В зоне лесостепи валеж твердолиственных пород, к которым из слагающих древостой пород относится дуб, клен, ясень, разлагается на 8–10 лет дольше, чем мягколиственных, к которым относится липа.

В идеальном варианте климаксового леса в устойчивом лесном сообществе древесный отпад должен поступать в структуру валежа равномерно и так же равномерно разлагаться за определенный период времени. Значит, в каждой стадии разложения должны присутствовать примерно равные объемы валежа с некоторым уменьшением в первой и последней стадиях. В нашем случае основной объем валежа появился на площади лесного сообщества 4–10 лет назад и постепенно уменьшался в ретроспективе. Такая тенденция характерна для неустойчивого биогеоценоза с меняющейся структурой древесного полога [9, 10]. Можно отметить также, что все лесоустройства прошлых лет, включая последнее 2012 г., приводят показания текущих годовых приростов древостоев в отрицательных величинах, что говорит о преобладании процесса отпада биомассы над процессом ее воспроизводства в древостоях. А так как основной объем биомассы древостоев составляют деревья дуба первого яруса, то, следовательно, можно говорить о дигрессивной динамике присутствия дуба в составе коренных лесов Теллермановского лесничества.

Грибы биотрофного комплекса, поражающие живые деревья, и грибы ксилотрофного комплекса, разлагающие древесный отпад, составляют основной консорт деструктивной цепи лесного биогеоценоза. Известно, что разложение древесины в природных условиях на более чем 90 % осуществляется дереворазрушающими грибами. В Теллермановском опытном лесничестве видовой состав дереворазрушителей изучен далеко не полно. Довольно обширные сведения о видах дереворазрушающих грибов и объемах гнилей приведены А.Т. Вакиным [1]. Сборы плодовых тел дереворазрушающих грибов проведены В.Г. Стороженко (ИЛАН РАН) в течение последних 3-х лет. Идентификация видов осуществлена В.М. Котковой (БИН РАН) с некоторым участием В.Г.Стороженко. Представленные ниже виды составляют основной фон видов дереворазрушающего комплекса Теллермановского леса.

Из всего списка дереворазрушающих грибов к облигатным сапротрофам, входящим в ксилотрофный комплекс, относится 37 видов. К факультативным сапротрофам, входящим в комплекс биотрофов, поражающих живые деревья, но способных продолжать развитие на отмерших деревьях и валеже – 13 видов. К факультативным паразитам, предпочитающим поселяться на древесном отпаде, но способным при определенных условиях поражать

Таблица 4

Наиболее распространенные дереворазрушающие грибы Теллерманоского леса
The most common wood-destroying fungi Tellerman experimental forest

Вид гриба	Тип питания	Встречаемость
Auricularia mesenterica (Dicks.) Pers	С	Ч
Aporpium caryae (Schwein.) Teixeira et D.P. Rogers	С	П
Armillaria spp.	Ф–С, С	Ч
Antrodia mollis Somm. ex Fr.	С	Р
Antrodiella semisupina (Berk. et Curt.) Ryv.	С	П
Bjerkandera adusta (Willd.: Fr.) P. Karst	С	Ч
Bjerkandera fumosa (Fr.)Karst.	С	П
Cerrena unicolor (Bull.: Fr.) Murrill	С	П
Daedaleopsis confragosa (Bolton: Fr.) J. Schrцt	С	П
Datronia mollis (Sommerf.: Fr.) Donk	С	П
Datronia sperioides (Fr.:Fr.) Ryv.	С	Р
Daedalea quercina Fr	Ф–С	Ч
Daedaleopsis confragosa (Bolt.: Fr.) Schr.	С	П
Fistulina hepatica Fr.	Ф–С	П
Fomes fomentarius (L.: Fr.) Fr.	Ф–С, С	Ч
Fomitopsis pinicola (Sw.: Fr.) Karst.	С, Ф–П	Ч
Frantisekia mentschulensis (Pilat ex Pilat) Spirin	С	Р
Ganoderma lipsience (Batsch.) Atk	С, Ф–П	Ч
Ganoderma resinaceum Bond. et Pat.	Ф–П	Р
Gloeoporus dichrous (Fr.: Fr.) Bres.	С	П
Gloeophyllum trabeum (Pers.:Fr.)Murr.	С	Р
Hapalopilus croceus (Pers.: Fr.) Donk.	Ф–С, С	Р
Hapalopilus nidulans (Fr.)Karst.	С	Р
Haploporus odorus (Somm.:Fr.)Sing.	Ф–П, С	Р
Hirschioporus pergameus (Fr.)Bond. et Sing.	С	Р
Hyphodontia spathulata (Fr.) Parmasto.	С	Р
Hymenochaete corrugata (Fr.) Lйv.	С	Р
Hymenochaete rubiginosa (Dicks.: Fr.) Lйv.	С	П
Hymenochaete tabacina (Sow.: Fr.) Lev.	С	Ч
Inonotus dryophilus (Berk.) Murr.	Ф–С	Ч
Inonotus dryadeus (Pers.: Fr.) Murrill.	Ф–С	Ч
Inonotus obliguus (Pers. : Fr.) Pil.	Ф–С	П
Inonotus radiatus (Sow. : Fr.) Karst.	С	П
Inonotus rheades (Pers.) Bond.et Sing.	С	Р
Irpex lacteus Fr.	С, Ф–П	Р
Laetiporus sulphureus (Bull.: Fr.) Murr.	Ф–С, С	Ч
Lentinus cyathiformis (Schaeff.) Bres.	С	Р
Leptosporomyces septentrionalis (J. Erikss.) Krieg.	С	Р
Meruliopsis corium (Pers.: Fr.) Ginns	С	Р
Oligoporus stipticus (Pers.: Fr.) Gilb. et Ryvarden	С	Р
Oxyporus corticola (Fr.) Parm.	С	Р
Oxyporus latemarginatus (E.J. Durand et Mont.) Donk	С	Р
Oxyporus populinus (Schumach.: Fr.) Donk	Ф–С	П
Phellinus conchatus (Pers. : Fr.) Quel.	Ф–П	П
Phellinus tremulae (Bond.) Bond. et Boris.	Ф–С	Ч
Phellinus igniarius (L.: Fr.) Quйl.	Ф–С, С	Ч
Phellinus punctatus (Fr.) Pil.	Ф–П	П
Phellinus robustus (P.Karst.) Bourdot et Galzin	Ф–С	Ч
Phlebia rufa (Pers.: Fr.) M. P. Christ.	С	П
Pholiota adiposa Fr.	С	П
Piptoporus betulinus (Bull.: Fr.) Karst.	Ф–П, С	Ч
Pleurotus ostreatus Jacq.	Ф–П, С	П

Окончание таблицы 4

Вид гриба	Тип питания	Встречаемость
Polyporus badius (Pers.) Schwein.	С	П
Polyporus brumalis Pers. Fr.	С	Р
Polyporus squamosus Huds.: Fr.	Ф–П, С	Ч
Schizophyllum commune Fr. : Fr.	С	Ч
Schizopora paradoxa (Schrad.: Fr.) Donk.	С	П
Schizopora flavipora (Cooke) Ryvarden	С	Р
Scytinostromella humifaciens (Burt) Freem. et Pet.	С	Р
Spongipellis spumeus (Sowerby: Fr.) Pat.	Ф–П, С	П
Steccherinum bourdotii Saliba et David	С	Р
Steccherinum murashkinskyi (Burt) Maas Geest.	С	Р
Stereum subtomentosum Pouzar	С	П
Stereum gausapatum (Fr.) Fr.	С	П
Trametes gibbosa (Pers.: Fr.) Fr.	С	П
Trametes ochracea (Pers.) Gilb. et Ryvarden	С	П
Trametes pubescens (Schumach.: Fr.) Pilбt	С	П
Trametes trogii Berk	С	Р
Trametes versicolor (L.: Fr.) Pilбt	С	П
Trichaptum beforme (Fr.:Klot.) Ryv.	С	Р
Tyromyces chioneus (Fr.) Ryv.	С	Р

Обозначения: тип питания: Ф – факультативный; С – сапротрофный; П – паразитический; встречаемость: Ч – часто; П – периодически; Р – редко

живые деревья – 9 видов. В целом такое соотношение видов дереворазрушающего комплекса по типу питания характерно для коренных древостоев естественного происхождения не только для древостоев лесостепи, но и для древостоев других зон растительности.

Выводы

Коренные дубравы естественного происхождения имеют циклично – разновозрастную структуру, в которой 1 ярус составляют деревья в основном дуба с примесью клена, ясеня и липы больших диаметров и возрастов – от 180 до 280 (300) лет, второй и третий яруса представлены только ясенем, кленом, лип и вязом с возрастом до 140 лет.

За 74 года учетов породного состава старовозрастных древостоев естественного происхождения количество дуба в них сократилось на 2–3 единицы.

Наивысшие уровни поражения деревьев дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса отмечены у дуба и липы, наименьшие – у ясеня и клена, что можно связать с ожиданием в недалекой перспективе выхода этих пород в первый ярус древостоев на смену дуба. Дереворазрушающие грибы биотрофного комплекса непосредственно влияют на смену породного состава дубовых древостоев и деградацию дуба как эдификаторной породы.

Распределение древесного отпада по стадиям разложения в коренных дубравах естественного происхождения характеризует динамику формирования структур древостоев в ретроспективе до 40 лет.

В грибном дереворазрушающем комплексе коренного Теллермановского леса 63 % всего состава видов относится к облигатным сапротрофам, 22 % видов – к факультативным сапротрофам и 15 % видов – к факультативным паразитам.

Финансовая поддержка Программы Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», подпрограммы «Динамика лесных экосистем».

Библиографический список

1. Вакин, А.Т. Фитопатологическое состояние дубрав Теллермановского леса // Труды Института леса АН СССР.– 1954. – Т. 16. – С. 50–109.
2. Воронцов, А.И. Патология леса. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 268 с.
3. Первый лесовод России / А.И. Зверев [и др.]. – М.: Исток., 2012. – 120 с.

4. Моисеенко, Ф.П. Сортиментные таблицы для ясеня и клена. – Гомель: Гос. из-во БССР, 1947. – 196 с.
5. Моисеенко, Ф.П. Сортиментные таблицы для дуба равнинных лесов Союза ССР. – М: Министерство сельского хоз-ва СССР, 1954. – 106 с.
6. Проект организации и развития лесного хозяйства Теллермановского опытного лесничества АН СССР: Всесоюзное объединение «Леспроект». – Воронеж, 1950, 1965, 1978, 1990, 2012 гг.
7. Проект организации и развития лесного хозяйства Теллермановского опытного лесничества АН СССР: Всесоюзное объединение «Леспроект», Воронеж, 1990. – Т. 2. – 199 с.
8. Состояние дубрав лесостепи / В.В.Осипов [и др.]; под ред. А.Я.Орлова и В.В.Осипова. – М.: Наука. – 1989. – 230 с.
9. Стороженко, В.Г. Устойчивые лесные сообщества. – М.: Гриф и К., 2007. – 190 с.
10. Стороженко, В.Г. Эволюционные принципы поведения дереворазрушающих грибов в лесных биогеоценозах. – М.: Гриф и К., 2014. – 180 с.
11. Таксационное описание Теллермановского опытного лесничества Института лесоведения РАН: Всесоюзное объединение «Леспроект», Воронеж, 1938, 1950, 1965, 1970, 1978, 1990, 2003, 2008, 2012 г.г.
12. Экосистемы Теллермановского леса / М.Г. Романовский [и др.]; под ред. В.В. Осипова. – М.: Наука, 2004. – 340 с.

DYNAMICS OF THE INDIGENOUS OAK FORESTS' TRANSFORMATION AND WOOD-DESTROYING BASIDIOMYCETES OF THE TELLERMAN FOREST

Storozhenko V.G., chief research worker of laboratory forestry and biological productivity, doctor of biology science, Forest Science Institute RAS, Kotkova V.M., chief research worker of laboratory taxonomy and geography of fungi, candidate of science, Botanical Institute w. V.L.Komarov, Chebotarev P.A., assistance of Forest Warden of Tellerman experimental forest service of Forest Science Institute RAS

lesoved@mail.ru, vera.kotkova@mail.ru, tol@icmail.ru
Forest Science Institute RAS, 141030, Moscow prov., Odintsovski reg., vil. Uspensroye, str. Sovetsraya, 21
Botanical Institute w. V.L.Komarov, 197376, Sankt-Petersburg, st. Prof. Popova, 2
Tellerman experimental forest service of Forest Science Institute RAS, 397206, Voronez prov., Gribanovski reg., set. Tellermanovski, str. Kornakovskogo, 12

The problem of oak degradation is among the most crucial problems of the country's forest profile. The amount of oak stands keeps reducing; industrial quality of oak woods is also going down. Historically forest steppe zones are the areas that supply most oak wood stock to the markets. The article analyzes results of oak forests' management in the indigenous natural oak forests in two protected zones of the Tellerman experimental forest (Voronezh region, Russian forest steppe) for the period from 1938 to 2012, as well as data of silvicultural characteristics of the Tellerman uphill aise-weed oak forests. The article shows a distribution of the number and volume of trees by age groups. The article also describes process of substitution of the first layer's oaks (of 0,1 – 0,2 density, average age-280 years) by maples, ashes, lindens and elm-trees from the second and third layers. No traces of oak undergrowth are found there. The article calculates the volumes of damage caused to oaks, ash trees, maples and lindens by wood-destroying fungi entailing butt and root rots. Oaks and lindens are 5 times more affected than maples and ash-trees. This factor is one of the reasons for oaks' degradation. The authors present dynamics of wood debris' volumes which reveals digression of oaks' presence in the natural forests of the Tellerman forestry devision. The authors also present a list of the most frequently met wood-destroying fungi of oaks' stands of the Tellerman forest which includes 71 species. It is exposed in the article that 63 % of all species can be attributed to obligate saprophyte, 22 % of all species – to facultative saprophytes, and 15 % of all species belong to facultative parasites.

Keywords: oak forests, a volume of trees, wood-destroying fungi, damaged stands, a species' composition of fungi.

References

1. Vakin, A.T. *Phitopatologicheskoe sostojanie dubrav lesostepi* [Phytopatology state of oak forest of Tellerman forest]. Almanac of selected works of Forest Institute AS SU. Moscow, 1954. V. 16. p. 50-109.
2. Vorontsov, A.I. *Patologija lesa* [Phatology of forest]. Moscow. The Forest Indastry, 1978. 268 p.
3. *Pervi lesovod Rossii* / A.I.Zverev [i dr.]. [The First forestry specialist of Russia] /A.I.Zverev [and all.]. Moscow. Source, 2012. 120 p.
4. Moiseenko F.P. *Sortimentnie tablitsi dlja jasenja i klena* [Assortment tables for ash and mapl]. Gomel: State Pablishing House BSSR, 1947. 196 p.
5. Moiseenko F.P. *Sortimentnie tablitsi dlja duba ravninnix lesov Sovetskogo Sojuza* [Assortment tables for oak of plains forest SU]. Moscow. Pablishing House of Ministry of Agricultural SU, 1954. 106 p.
6. *Proekt organizatsii i razvitija lesnogo hozajctva Tellermanovskogo opitnogo lesnichestva* [Draft of organization and developvent of forestry of Tellerman exptrimental forestry AS SU]. – Moscow: Sll-Union Association «Forest-Draft», Voronez, 1950, 1965, 1978, 1990, 2012.
7. *Proekt organizatsii i razvitija lesnogo hozajctva Tellermanovskogo opitnogo lesnichestva AN SSSR* [Draft of organization and developvent of forestry of Tellerman exptrimental forestry AS SU.] All-Union Association «Forest-Draft», – Voronez, 1990. – V. 2. – 199 p.

8. *Sostojanie dubrav lesostepi. V.V. Osipov* [I dr.][State of oak-forest of forest-steppe]. V.V.Osipov [and all]; Editors A.J.Orlov and V.V.Osipov. Moscow, «Science», 1989. – 230 p.
9. Storozhenko V.G. *Ustoichivie lesnie soobchestva* [Stable forest communities]. Moscow: «Grif and C.», 2007. 190 p.
10. Storozhenko V.G. *Evolutcionnie printsipi povedenija derevorazrushauchix gribov v lesnix biogeotsenozakh*.[Evolutionary principles conduct of wood-destroying fungi in the forest biogeocenosis]. Moscow. «Grif and C.», 2014. 180 p.
11. *Taksasionnoe opisanie Tellermanovskogo opitnogo lesnichestva Instituta lesovedenija RAN* [Tellerman exptrimental forestry taxation assessment of Institute of Forest Science, RAS], All-Union Association «Forest-Draft». Voronez, 1938, 1950, 1965, 1970, 1978, 1990, 2003, 2008, 2012.
12. *Ekosistemi Tellermanovskogo lesa*. [Ecosistems of Tellerman Forest].M.G.Romanovsky [and all]; Editors V.V.Osipov. Moscow: «Science». 2004. 340 p.

ДИКОРАСТУЩИЕ СЪЕДОБНЫЕ ЯГОДНЫЕ РАСТЕНИЯ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ: ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ, РЕСУРСЫ, ОСВОЕНИЕ

А.А. НЕЧАЕВ, *вед. науч. сотр. Дальневосточного НИИ лесного хозяйства, канд. биол. наук*

dvniilh@gmail.com

ФБУ «Дальневосточный НИИ лесного хозяйства», 680020, г. Хабаровск, ул. Волочаевская, 71

В статье приведен список дикорастущих съедобных ягодных растений Хабаровского края, включающий 98 видов из 41 рода и 21 семейства, что составляет 61,2 % от общего их количества на российском Дальнем Востоке (РДВ). Среди них собственно дикорастущие (аборигенные на РДВ) – 86 видов и адвентивные (натурализовавшиеся на РДВ) – 12; по пищевой пригодности плодов для человека: безусловно съедобные – 79 видов и условно съедобные – 19. Наиболее богаты по видовому составу роды Ribes (15 видов), Vaccinium, Rubus (по 9) и Rosa (8). Наиболее богаты по видовому составу семейства Rosaceae (39 видов), Grossulariaceae (17) и Ericaceae (12). Представлены следующие жизненные формы ягодных растений: деревья – 14 видов, кустарники – 48, лианы кустарниковые – 3, кустарнички – 13, полукустарники – 5, полукустарнички – 6, лианы травянистые многолетние – 1, травы многолетние – 7 и травы одно- двулетние – 1 вид. 5 видов дикорастущих ягодных растений Хабаровского края отнесены в разряд краснокнижных: Taxus cuspidata, Sorbocotoneaster pozdnjakovii, Grossularia burejensis, Cotoneaster melanocarpus и Trillium camschatcense. Среднегодовой биологический запас плодов основных дикорастущих съедобных ягодных растений Хабаровского края оценивается, как минимум, в 860 тыс. т, или 41,0 % от общего запаса ягод на всей территории РДВ; в угодьях производственного фонда он составляет 110,5 тыс. т, а максимально возможный сбор – 64,4 тыс. т. Среднегодовой фактический сбор за 1966–1990 гг. составлял 3720,1 т (из них 744,0 т – организованные, промышленные заготовки), степень освоения от максимально возможного сбора в производственном фонде – 5,5 %. С прекращением прежней деятельности промхозов и других заготовительных организаций объем организованных, промышленных заготовок дикорастущих ягод сократился в 1991–1995 гг. по сравнению с предыдущими годами в 3–4 раза. За последующие 15 лет (1996–2010 гг.) отмечается дальнейшее значительное сокращение организованных, промышленных заготовок дикорастущих ягод в 8–10 раз. Тем не менее, широко распространен сбор дикорастущих ягод местным населением для личных нужд и продажи на рынках.

Ключевые слова: Хабаровский край, дикорастущие ягодные растения, видовой состав, ресурсы, освоение, краснокнижные виды.

По нашим многолетним данным, список дикорастущих съедобных ягодных растений российского Дальнего Востока (РДВ) насчитывает 160 видов из 44 родов и 21 семейства [1–5]. Из них 37 видов (23,1 %) отнесены в разряд краснокнижных.

Из всего видового разнообразия дикорастущих съедобных ягодных растений на территории Хабаровского края произрастают 98 видов (61,2 %) из 41 рода и 21 семейства, приведенные ниже. Среди них собственно дикорастущие (аборигенные на РДВ) – 86 видов и адвентивные (натурализовавшиеся на РДВ) – 12 (отмечены в списке знаком *); по пищевой пригодности плодов для человека: безусловно съедобные – 79 видов и условно съедобные – 19 . Представители отдела покрытосеменные в списке приведены по системе А.Л. Тахтаджяна [6]. Латинские названия приведены по С.К. Черепанову [7] и с учетом фундаментальных сводок по РДВ [8, 9]. Для каждого вида приводятся: пищевая пригодность плодов для человека (БС – безусловно съедобные, УС – условно съедобные); жизненная форма (Д – дерево, К – кустарник, ЛК – лиана кустарниковая, Кч – кустарничек, ПК – полукустарник, ПКч – полукустарничек, ЛТМ – лиана травянистая многолетняя, ТМ – трава многолетняя, ТО – трава одно–двулетняя). Для краснокнижных видов указаны

соответствующие источники: КРФ – Красная книга Российской Федерации, КПК – Красная книга Приморского края, КХК – Красная книга Хабаровского края, КЕАО – Красная книга Еврейской автономной области, КАО – Красная книга Амурской области, КСО – Красная книга Сахалинской области, КМО – Красная книга Магаданской области, ККК – Красная книга Камчатского края и КЧАО – Красная книга Чукотского автономного округа.

Видовой состав дикорастущих съедобных ягодных растений Хабаровского края:

1. *Juniperus davurica* Pall. – Можжевельник даурский – УС; К
2. *J. sibirica* Burgsd. – М. сибирский – УС; К
3. *Taxus cuspidata* Siebold et Zucc. ex Endl. – Тис остроконечный – УС; Д (К); КРФ, КПК, КХК, КСО
4. *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. – Лимонник китайский – БС; ЛК (К); КЕАО, КАО
5. *Berberis amurensis* Rupr. – Барбарис амурский – БС; К
6. *Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim. (*A. sugawarana* Koidz.) – Актинидия коломикта (кишмиш) – БС; ЛК (К)
7. *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. – Толокнянка обыкновенная – УС; Кч
8. *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr. – Клюква мелкоплодная – БС; Кч
9. *O. palustris* Pers. (*O. quadripetalus* Gilib.) – К. болотная (к. четырехлепестная) – БС; Кч; КМО
10. *Vaccinium axillare* Nakai (*V. ovalifolium* auct. non Smith) – Черника пазушная (голубика амурская) – БС; К
11. *V. gaultherioides* Bigel. (*V. uliginosum* L. subsp. *microphyllum* (Lange) Tolm., *V. uliginosum* L. subsp. *gaultherioides* (Bigel.) S.B. Young) – Голубика гаультериевидная (г. мелколистная) – БС; Кч
12. *V. minus* (Lodd.) Worosch. (*Rhodococcum minus* (Lodd.) Avror.) – Брусника малая – БС; Кч (ПКч)
13. *V. myrtillus* L. – Черника обыкновенная – БС; Кч
14. *V. praestans* Lamb. – Красника выдающаяся (клоповка) – БС; Кч (ПКч)
15. *V. smallii* A. Gray (*V. hirtum* auct. non Thunb.) – Черника Смолла – БС; К
16. *V. uliginosum* L. (*V. uliginosum* L. subsp. *uliginosum*) – Голубика топяная (г. обыкновенная) – БС; К
17. *V. vitis-idaea* L. (*Rhodococcum vitis-idaea* (L.) Avror.) – Брусника обыкновенная – БС; Кч
18. *V. vulcanorum* Kom. (*V. uliginosum* L. var. *vulcanorum* (Kom.) E. Busch, *V. uliginosum* auct. non L.) – Голубика вулканическая – БС; Кч
19. *Empetrum androgynum* V. Vassil. (*E. subholarcticum* auct. non V. Vassil.) – Шикша обоеполая – БС; Кч
20. *E. sibiricum* V. Vassil. (*E. asiaticum* (Nakai) Nakai ex V. Vassil.) – Ш. сибирская – БС; Кч
21. *E. stenopetalum* V. Vassil. (*E. sibiricum* auct. non V. Vassil.) – Ш. узколепестная – БС; Кч
22. *E. subholarcticum* V. Vassil. (*E. polare* V. Vassil.) – Ш. почти– голарктическая – БС; Кч
23. **Thladiantha dubia* Bunge – Тладианта сомнительная – УС; ЛТМ
24. **Morus alba* L. – Шелковица белая (тутовое дерево белое) – БС; Д (К)
25. *Grossularia burejensis* (Fr. Schmidt) Berger – Крыжовник буреинский – УС; К; КХК, КАО
26. **G. reclinata* (L.) Mill. – К. отклоненный (к. европейский) – БС; К
27. *Ribes diacantha* Pall. – Смородина двуиглая (таранушка) – УС; К; КАО
28. *R. dikuscha* Fisch. ex Turcz. – С. дикуша (алданский виноград) – БС; К
29. *R. fontaneum* Boczkarn. (*R. japonicum* Maxim. subsp. *boczkarnikovae* Nedoluzhko) – С. ключевая – БС; К
30. *R. fragrans* Pall. – С. душистая – БС; К
31. *R. glabellum* (Trautv. et C.A. Mey.) Hedl. (*R. acidum* Turcz. ex Pojark., *R. rubrum* auct. non L.) – С. голенькая (с. кислая) – БС; К
32. *R. horridum* Rupr. – С. ощетиненная – БС; К
33. *R. mandshuricum* (Maxim.) Kom. – С. маньчжурская – БС; К
34. *R. maximoviczianum* Kom. – С. Максимовича – БС; К
35. **R. nigrum* L. – С. черная – БС; К
36. *R. palczewskii* (Jancz.) Pojark. – С. Пальчевского – БС; К
37. *R. pallidiflorum* Pojark. (*R. latifolium* Jancz. subsp. *antoninae* Nedoluzhko) – С. бледноцветковая – БС; К
38. *R. pauciflorum* Turcz. ex Pojark. (*R. nigrum* L. var. *praecox* E. Wolf., *R. nigrum* L. var. *pauciflorum* Jancz.) – С. малоцветковая – БС; К
39. *R. procumbens* Pall. – С. лежачая (моховка) – БС; К; КЕАО
40. **R. rubrum* L. – С. красная – БС; К
41. *R. triste* Pall. – С. печальная – БС; К
42. **Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch – Ирга колосистая – БС; К (Д)
43. *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) Skvorts. – Абрикос маньчжурский – БС; Д; КРФ, КПК
44. *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt – Кизильник черноплодный – БС; К; КХК
45. *Crataegus dahurica* Koehne ex Schneid. – Боярышник даурский – БС; Д (К)
46. *C. maximowiczii* Schneid. – Б. Максимовича – БС; Д (К)
47. *C. pinnatifida* Bunge – Б. перистонадрезанный – БС; Д (К); КЕАО
48. *Fragaria mandshurica* Staudt (*F. orientalis* auct. non Losinsk.) – Земляника маньчжурская – БС; ТМ
49. *F. nipponica* Makino – З. ниппонская – БС; ТМ
50. *F. orientalis* Losinsk. – З. восточная – БС; ТМ
51. *Malus baccata* (L.) Borkh. (*M. pallasiana* Juz.) – Яблоня ягодная (я. Палласа, я. сибирская) – БС; Д (К)
52. *M. mandshurica* (Maxim.) Kom. – Я. маньжурская – БС; Д (К)

53. **Microcerasus*. *tomentosa* (Thunb.) Eremin et Juschev (*Cerasus tomentosa* (Thunb.) Wall.) – Вишенка войлочная (вишня войлочная) – БС; К
54. *Padus avium* Mill. (*P*. *racemosa* (Lam.) Gilib., *P*. *asiatica* Kom.) – Черемуха обыкновенная (ч. кистевая, ч. азиатская) – БС; Д (К)
55. *P*. *maackii* (Rupr.) Kom. – Ч. Маака – УС; Д
56. *P*. *maximowiczii* (Rupr.) Sokolov (*Prunus maximowiczii* Rupr., *Cerasus maximowiczii* (Rupr.) Kom.) – Ч. Максимовича (слива Максимовича, вишня Максимовича) – УС; Д
57. **Prunus ussuriensis* Koval. et Kostina (*P*. *salicina* Lindl.) – Слива уссурийская (с. корейская) – БС; К
58. *Pyrus ussuriensis* Maxim. – Груша уссурийская – БС; Д; КЕАО, КАО
59. *Rosa acicularis* Lindl. – Шиповник иглистый – БС; К
60. *R*. *amblyotis* C.A. Mey. – Ш. тупоушковый – БС; К
61. *R*. *davurica* Pall. – Ш. даурский – БС; К
62. *R*. *gracilipes* Chrshan. – Ш. тонконожковый – БС; К
63. *R*. *jacutica* Juz. – Ш. якутский – БС; К
64. *R*. *koreana* Kom. (*R*. *ussuriensis* Juz.) – Ш. корейский (ш. уссурийский) – БС; К; КЕАО, КАО
65. *R*. *rugosa* Thunb. – Ш. морщинистый – БС; К
66. *R*. *sichotealinensis* Kolesn. – Ш. сихотэалинский – БС; К
67. *Rubus arcticus* L. – Княженика арктическая (костяника арктическая, малина арктическая, поляника) – БС; ПКч (ТМ)
68. **R*. *caesius* L. – Малина сизая (ежевика сизая) – БС; ПК (К)
69. *R*. *chamaemorus* L. – Морошка приземистая (м. обыкновенная) – БС; ТМ
70. *R*. *crataegifolius* Bunge – Малина боярышниколистная (ожина) – БС; ПК (К)
71. *R*. *humulifolius* C.A. Mey. – Костяника хмелелистная – БС; ПКч
72. **R*. *idaeus* L. – Малина обыкновенная – БС; ПК (К)
73. *R*. *kanayamensis* Levl. et Vaniot (*R*. *komarovii* Nakai) – Малина канаямская (м. Комарова) – БС; ПК (К)
74. *R*. *matsumuranus* Levl. et Vaniot (*R*. *sachalinensis* Levl., *R*. *sibiricus* (Kom.) Sinjikova) – Малина Мацумуры (м. сахалинская) – БС; ПК (К)
75. *R*. *saxatilis* L. – Костяника скальная (к. обыкновенная) – БС; ПКч
76. *Sorbocotoneaster pozdnjakovii* Pojark. – Рябинокизильник Позднякова – БС; К; КРФ, КХК
77. *Sorbus amurensis* Koehne (*S*. *pochuashanensis* auct. non (Hance) Hedl.) – Рябина амурская – БС; Д (К)
78. *S*. *sambucifolia* Cham. et Schlecht. – Р. бузинолистная – БС; К
79. *S*. *schneideriana* Koehne (*S*. *sambucifolia* auct. non Cham. et Schlecht.) – Р. Шнейдера – БС; К
80. *S*. *sibirica* Hedl. (*S*. *anadyrensis* Kom.) – Р. сибирская (р. анадырская) – БС; Д (К)
81. **Hippophae rhamnoides* L. – Облепиха крушиновидная – БС; К (Д)
82. *Vitis amurensis* Rupr. – Виноград амурский – БС; ЛК (К); КАО
83. *Chamaepericlymenum canadense* (L.) Aschers. et Graebn. – Дерен канадский – УС; ПКч
84. *Ch*. *suecicum* (L.) Aschers. et Graebn. – Д. шведский – УС; ПКч
85. *Ch*. *unalaschkense* (Ledeb.) Rydb. – Д. уналашкинский – УС; ПКч; ХК
86. *Swida alba* (L.) Opiz (*Cornus alba* L., *Thelycrania alba* (L.) Pojark.) – Свидина белая (дерен белый) – УС; К
87. *Acanthopanax sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) Seem. (*Eleutherococcus sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) S. Y. Hu) – Акантопанакс сидячецветковый (свободноягодник сидячецветковый) – УС; К; КЕАО
88. *Aralia elata* (Miq.) Seem. (*A*. *mandshurica* Rupr. et Maxim.) – Аралия высокая (а. маньчжурская) – УС; К (Д); КСО
89. *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim. (*Acanthopanax sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) Harms) – Элеутерококк колючий (свободноягодник колючий, дикий перец, чертов куст) – УС; К; КАО
90. *Lonicera edulis* Turcz. ex Freyn (*L*. *caerulea* L. subsp. *edulis* (Turcz. ex Freyn) Hult., *L*. *caerulea* auct. non L.) – Жимолость съедобная (ж. Турчанинова) – БС; К
91. *L*. *kamtschatica* (Sevast.) Pojark. (*L*. *caerulea* L. subsp. *kamtschatica* (Sevast.) Gladkova, *L*. *caerulea* auct. non L.) – Ж. камчатская – БС; К
92. *Viburnum burejaeticum* Regel et Herd. (*V*. *burejanum* Herd.) – Калина бурейская (к. бурятская) – БС; К
93. *V*. *sargentii* Koehne – К. Саржента – БС; К
94. *Sambucus sibirica* Nakai (*S*. *sachalinensis* Pojark., *S*. *racemosa* L. subsp. *pubescens* Schwer., *S*. *racemosa* auct. non L.) – Бузина сибирская (б. сахалинская) – УС; К
95. *Physalis franchetii* Mast. (*Ph*. *glabripes* Pojark.) – Физалис Франше (ф. голоногий) – БС; ТМ
96. **Solanum nigrum* L. – Паслен черный – БС; ТО
97. *Asparagus schoberioides* Kunth – Спаржа шобериевидная – УС; ТМ
98. *Trillium camschatcense* Ker-Gawl. – Триллиум камчатский – УС; ТМ; КХК

Как видно из приведенного списка, наиболее богаты по видовому составу роды: смородина (15 видов), вакциниум, рубус (по 9), шиповник (8), шикша, рябина (по 4), боярышник, земляника, черемуха, дерен (по 3), можжевельник, клюква, крыжовник, яблоня, жимолость, калина (по 2), остальные 25 родов – по 1 виду. Наиболее богаты по видовому составу семейства: розовые (39 видов), крыжовниковые (17), вересковые (12), шикшевые, кизиловые (по 4), аралиевые(3), кипарисовые, жимолостевые, калиновые, пасленовые (по 2), остальные 11 семейств (тисовые, лимонниковые, барбарисовые, актинидиевые, тыквенные, тутовые, лоховые, виноградовые,

бузиновые, спаржевые и триллиумовые) – по 1 виду.

Разнообразны жизненные формы дикорастущих съедобных ягодных растений: деревья – 14 видов, кустарники – 48, лианы кустарниковые – 3, кустарнички – 13, полукустарники – 5, полукустарнички – 6, лианы травянистые многолетние – 1, травы многолетние – 7, травы одно-двулетние – 1. Из них для 24 видов отмечены 2 жизненные формы: Д (К) – тис остроконечный, шелковица белая, боярышник даурский, б. Максимовича, б. перистонадрезанный, яблоня ягодная, я. маньчжурская, черемуха обыкновенная, рябина амурская и р. сибирская; К (Д) – ирга колосистая, облепиха крушиновидная и аралия высокая; ЛК (К) – лимонник китайский, актинидия коломикта и виноград амурский; Кч (ПКч) – брусника малая и красника выдающаяся; ПК (К) – малина сизая, м. боярышниколистная, м. обыкновенная, м. канаямская и м. Мацумуры; ПКч (ТМ) – княженика арктическая. Древесные растения (деревья, кустарники, лианы кустарниковые и кустарнички) представлены 78 видами, полудревесные (полукустарники и полукустарнички) – 11 видами, травянистые (лианы травянистые многолетние, травы многолетние и травы одно-двулетние) – 9 видами.

На территории Хабаровского края произрастают 98 видов дикорастущих съедобных ягодных растений. Из них не встречаются в других субъектах Российской Федерации (РФ) РДВ 2 вида: рябинокизильник Позднякова и дерен уналашкинский. Остальные виды ягодных растений имеют более широкие ареалы и встречаются на территориях двух и более субъектов РФ РДВ. 9 видов представлены широко во всех восьми субъектах РФ: можжевельник сибирский, клюква мелкоплодная, голубика топяная, брусника обыкновенная, шикша узколепестная, смородина печальная, шиповник иглистый, княженика арктическая и малина Мацумуры (м. сахалинская).

5 видов дикорастущих ягодных растений Хабаровского края отнесены в разряд краснокнижных. Из них 2 вида внесены в Красную книгу РФ: тис остроконечный и рябинокизильник Позднякова. В Красную книгу Хабаровского края, наряду с ними, внесены еще 3 вида: крыжовник буреинский, кизильник черноплодный и триллиум камчатский. Кроме внесенных в Красную книгу Хабаровского края на его территории произрастают 12 видов, внесенные в Красные книги других субъектов РФ РДВ: лимонник китайский (ЕАО, АО), клюква болотная (МО), смородина двуиглая (АО), с. лежачая (ЕАО), абрикос маньчжурский (РФ, ПК), боярышник перистонадрезанный (ЕАО), груша уссурийская (ЕАО, АО), шиповник корейский (ЕАО, АО), виноград амурский (АО), акантопанакс сидячецветковый (ЕАО), аралия высокая (СО), элеутерококк колючий (АО). Из числа редких видов ягодных растений потенциально претендуют быть внесенными в Красную книгу Хабаровского края 2 вида: смородина ключевая и с. ощетиненная.

Важнейшими характеристиками дикорастущих съедобных ягодных растений Хабаровского края являются биологические запасы плодов и степень освоения их человеком. Как видно из приведенных данных (табл.), ресурс высокого производственного значения (от 100 тыс. т и более) имеют брусника, голубика и клюква; ресурс низкого производственного значения (от 10 до 50 тыс. т) имеют боярышник, малина, черника, шиповник, яблоня, рябина, смородина, черемуха, шикша, жимолость, калина и актинидия; ресурс частного, промыслового значения (от 1 до 10 тыс. т) имеют лимонник, виноград, морошка, земляника и красника. В целом, среднегодовой биологический запас плодов основных дикорастущих съедобных ягодных растений 20 наименований Хабаровского края (по нашим экспертным данным) оценивается, как минимум, в 860 тыс. т, что составляет 41,0 % от общего запаса ягод на всей территории РДВ; в угодьях производственного фонда он составляет 110,5 тыс. т, а максимально возможный сбор (потенциальный сырьевой запас) – 64,4 тыс. т (см. табл.).

По данным Г.И. Сухомирова [10], объем среднегодовых организованных, промышленных заготовок основных дикорастущих ягод на территории Хабаровского края за 1966–1995 гг. выглядит следующим образом:

Таблица

Биологические запасы плодов основных дикорастущих съедобных ягодных растений Хабаровского края, тыс. т

Biological reserves fruits basic wild edible berry plants in Khabarovsk Krai, kt

Наименование ягод	Биологический запас		Наименование ягод	Биологический запас	
	на всей территории	в производственном фонде		на всей территории	в производственном фонде
Брусника	300	30,0/18,0	Черемуха	15	3,0/1,8
Голубика	200	20,0/10,0	Шикша	10	1,0/0,5
Клюква	100	10,0/5,0	Жимолость	10	1,0/0,8
Боярышник	40	8,0/5,6	Калина	10	2,0/1,6
Малина	30	3,0/1,5	Актинидия	10	3,3/1,7
Черника	20	4,0/2,4	Лимонник	7	2,3/1,6
Шиповник	23	7,7/4,6	Виноград	8	2,7/1,6
Яблоня	23	4,6/2,8	Морошка	9	0,9/0,4
Рябина	20	4,0/2,4	Земляника	3	0,6/0,3
Смородина	20	2,0/1,6	Красника	2	0,4/0,2
Всего				860	110,5/64,4

Примечание: В графе «в производственном фонде» перед чертой – биологический запас в производственном фонде (на 1/3, 1/5 или 1/10 относительно доступной для освоения ее части), за чертой – максимально возможный сбор (потенциальный сырьевой запас)

1966–1970 гг. – 366,0 т
1971–1975 гг. – 621,8 т
1976–1980 гг. – 1044,9 т
1981–1985 гг. – 850,4 т
1986–1990 гг. – 837,0 т
1991–1995 гг. – 271,2 т

Как видно из приведенных данных, объем организованных, промышленных заготовок ягод на территории Хабаровского края (включая Еврейскую автономную область) увеличивался в период с 1966 по 1980 гг., высоким он был и в 1981–1990 гг. Максимальный объем промышленных заготовок был в 1976–1980 гг. и достигал 1044,9 т. Среднегодовой фактический сбор за 1966–1990 гг. составлял 3720,1 т (из них 744,0 т – организованные, промышленные заготовки), степень освоения от максимально возможного сбора в производственном фонде – 5,5 %. С прекращением прежней деятельности промхозов и других заготовительных организаций объем организованных, промышленных заготовок дикорастущих ягод сократился в 1991–1995 гг. по сравнению с 1986–1990 гг. и 1981–1985 гг. в 3 раза, а по сравнению с 1976–1980 гг. – в 4 раза и составлял 271,2 т. По нашим данным, за последующие 15 лет (1996–2010 гг.) отмечается дальнейшее значительное сокращение организованных промышленных заготовок дикорастущих ягод:

1996–2000 гг. – 64,6 т
2001–2005 гг. – 90,3 т
2006–2010 гг. – 29,8 т

Сократился и ассортимент заготавливаемых дикорастущих ягод. Организованными, промышленными заготовками охвачены за последние 15 лет (1996–2010 гг.) только 5 видов дикорастущих ягод: брусника, голубика, шиповник, калина и лимонник. Ранее (до 1990-х годов) в этот перечень входили, помимо перечисленных, клюква, рябина, виноград. Населением для личных нужд, продажи на рынках, реализации коммерческим заготовительным и перерабатывающим организациям и отдельным перекупщикам заготавливается гораздо большее количество видов дикорастущих ягод, помимо вышеуказанных – боярышник, черника, черемуха, жимолость, актинидия, красника; только для личных нужд – малина, смородина, шикша, морошка, земляника.

Библиографический список

1. Нечаев, А.А. Дикорастущие съедобные ягодные растения Дальнего Востока России: видовой состав, ресурсы, освоение / А.А. Нечаев // Наука о

лесе XX1 века: мат. Междунар. науч.-практ. конф. 17–19 ноября 2010 г. Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2010. – С. 549–553.
2. Нечаев, А.А. Таксономическое и биологическое разнообразие дикорастущих съедобных ягодных растений Дальнего Востока / А.А. Нечаев // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Чтения памяти Л.М. Черепнина: матер. 5 Всерос. конф. с междунар. участием, 23–26 мая 2011 г. КГПУ им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2011. – Т. 2. – С. 172–179.
3. Нечаев, А.А. Таксономическое разнообразие дикорастущих съедобных ягодных растений Дальнего Востока России / А.А. Нечаев // Проблемы сохранения растительного мира Северной Азии и его генофонда: материалы Всерос. конф. 23–25 августа 2011 г. ЦСБС СО РАН. – Новосибирск, 2011. – С. 141–144.
4. Нечаев, А.А. Видовой состав, ресурсы и освоение дикорастущих ягодных растений российского Дальнего Востока / А.А. Нечаев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 3 (86). – С. 30–34.
5. Нечаев, А.А. Таксономические, эколого-биологические и ресурсные особенности дикорастущих ягодных растений Дальневосточного региона / А.А. Нечаев // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: материалы Междунар. науч.-практ. форума. Хабаровск, 25–26 октября 2012 г. ТОГУ. – Хабаровск, 2013. – С. 127–130.
6. Тахтаджян, А.Л. Система магнолиофитов / А.Л. Тахтаджян. – Л.: Наука, 1987. – 439 с.
7. Черепанов, С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С.К. Черепанов. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
8. Сосудистые растения советского Дальнего Востока: В 8 т. / отв. ред. С.С. Харкевич. – Л.: Наука, 1987. – Т. 2. – 446 с.; Л.: Наука, 1988. – Т. 3. – 421 с.; Л.: Наука, 1989. – Т. 4. – 380 с.; СПб.: Наука, 1991. – Т. 5. – 390 с.; СПб.: Наука, 1996. – Т. 8. – 383 с.
9. Флора российского Дальнего Востока: Дополнения и изменения к изданию «Сосудистые растения советского Дальнего Востока». Т. 1–8 (1985–1996) / отв. ред. А.Е. Кожевников, Н.С. Пробатова. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 456 с.
10. Сухомиров, Г.И. Таежное природопользование на Дальнем Востоке / Г.И. Сухомиров. – Хабаровск: РИОТИП, 2007. – 384 с.

WILD EDIBLE BERRY PLANTS OF KHABAROVSKIY KRAI: SPECIES DIVERSITY, RESOURCES, DEVELOPMENT

Nechaev A.A., cand. of biology science, leader science collaborator of Far East Forestry Research Institute

dvniilh@gmail.com

Far East Scientific-Research Institute of Forestry, (FBO «FEFRI»), Russian Federation 680020, Khabarovsk, Volochaevskaya str., 71

A list of wild edible berry plants of Khabarovskiy krai is given in the paper, it comprises 98 species from 41 genera and 21 families, making up 61.2 % of their total amount in the Russian Far East (RFE). Among them 86 species are actually wild (indigenous in RFE), 12 species – adventitious (naturalized in the RFE); with edible berries for a human being: 79 species are completely edible, 19 species are conditionally edible. The following genera are the most rich in species composition: Ribes (15 species), Vaccinium Rubus (9 each) and Rosa (8). The following families are the most rich in species composition: Rosaceae (39 species), Grossulariaceae (17) and Ericaceae (12). The following life-forms of berry plants are represented: trees – 14 species, shrubs –48, shrub lianas – 3, sub-shrubs – 13, suffrutices – 5, dwarf semishrubs – 6, permanent herb lianas – 1, permanent grasses – 7 and annual – biennial grasses – 1 species. 5 species of wild berries of the Khabarovskiy krai are referred to the Red Book category: Taxus cuspidata, Sorbocotoneaster pozdnjakovii, Grossularia burejensis, Cotoneaster melanocarpus and Trillium camschatcense. The average biological reserves of the main wild edible berries of the Khabarovskiy krai are estimated as at least 860 thousand tons or 41.0 per cent of the total reserves of berries throughout the RFE; in production lands they are 110.5 thousand tons, and maximum possible berrying is 64.4 thousand tons. In 1996-1999 the average actual berrying was 3720.1 tons (744.0 tons among them were commercial), a degree of development of maximum possible berrying in production resources is 5.5 per cent. When in 1991-1995 the promkhozes (commercial enterprises) and other procurement organizations finished their activities, the volume of commercial procuring of wild berries had fallen three-fourfold in comparison with previous years. Over the next 15 years (1996-2010) a further significant eight-tenfold decrease of wild berries organized commercial procuring was observed. However, wild berries are widely gathered by the local population for personal needs and sale at the market place.

Key words: Khabarovsk Krai, wild berry plants, species composition, resources, development, red data species.

References

1. Nechaev A. A. *Dikorastuschie sedobnye yagodnye rasteniya Dalnego Vostoka Rossii: vidovoy sostav*, *resursy*, *osvoenie* [Wild edible berry plants of the Russian Far East: species composition, resources, reclamation]. *Nauka o lese XXI veka: materialy mezhdunarodnoy konferentsii*.[Science about forest XXI century: material of international conference]. Gomel, Forest Institute, Belarus National Academy Science, 2012, pp. 549-553.
2. Nechaev A. A. *Taksonomicheskoe i biologicheskoe raznoobrazie dikorastuschikh sedobnykh yagodnykh rasteniy Dalnego Vostoka* [Taxonomy and biological inequality of wild edible berry plants of the Far East]. *Flora i rastitelnost Sibiri i Dalnego Vostoka: materialy vserossiyskoy konferentsii*. [Flora and vegetation of Siberia and Far East: material of Russian conference]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Pedagogical University, 2011, vol. 2, pp. 172-179.

3. Nechaev A. A. *Taksonomicheskoe raznoobrazie dikorastuschikh sedobnykh yagodnykh rasteniy Dalnego Vostoka Rossii* [Taxonomy inequality of wild edible berry plants of the Far East of Russia]. *Problemy sokhraneniya rastitelnogo mira Severnoy Azii i ego genofonda: materialy vserossiyskoy konferentsii* [Problems of preservation vegetation of Northern Asia and their gene pool: material of Russian conference]. Novosibirsk, Central Siberian Botanical Garden SD RAS, 2011, pp. 141-144.
4. Nechaev A. A. *Vidovoy sostav*, *resursy i osvoenie dikorastuschikh yagodnykh rasteniy rossiyskogo Dalnego Vostoka* [Species composition, resources and reclamation of wild berry plants of the Russian Far East]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2012, no. 3, pp. 30-34.
5. Nechaev A. A. *Taksonomicheskie*, *ecologo-biologicheskie i resursnye osobennosti dikorastuschikh yagodnykh rasteniy Dalnevostochnogo regiona* [Taxonomy, ecobiological and resource particularity of wild berry plants of the Far East]. *Prirodnye resursy i ecologia Dalnevostochnogo regiona: materialy mezhdunarodnogo foruma*. [Natural resources and ecology of the Far East]. Khabarovsk, Pacific State University, 2013, pp. 127-130.
6. Takhtadzhan A. L. *Sistema magnoliofitov* [System of Magnoliophyta]. Leningrad, Science Publ., 1987. 439 p.
7. Cherepanov S. K. *Sosudictye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv* (*v predelakh byvshego SSSR*) [Vascular plants of the Russia and neighboring states (in the territory of USSR)]. Sankt-Peterburg, Peace and family Publ., 1995. 992 p.
8. *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dalnego Vostoka: V* 8 *t*. [Vascular plants of the Soviet Far East: In 8 vol.]. Leningrad –Sankt-Peterburg, Science Publ. 1985-1996.
9. *Flora rossiyskogo Dalnego Vostoka: Dopolneniya i izmeneniya k izdaniyu «Sosudistye rasteniya sovetskogo Dalnego Vostoka»*. *T*. 1-8 (1985-1996). [Flora of the Russia Far East: Addenda and corrigenda to «Vascular plants of the Soviet Far East». Vol. 1-8 (1985-1996)]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2006. 456 p.
10. Sukhomirov G. I. *Taezhnoe prirodopolzovanie na Dalnem Vostoke* [Taiga wildlife management in the Russian Far East]. Khabarovsk, RIOTIP Publ., 2007. 384 p.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АЛЬГОМОНИТОРИНГА В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ *DICTAMNUS GIMNOSTILIS STEV.* НА ЮЖНОМ УРАЛЕ И ОПЫТ ИНТРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

М.А. ВАРЛАМОВА, *доц. филиала МГУТУ им. К.Г. Разумовского, г. Мелеуз Республика Башкортостан, канд. биол. наук,*
И.В. РАХМАТУЛЛИНА, *советник РАЕН, доц. филиала МГУТУ им. К.Г. Разумовского, г. Мелеуз, Республика Башкортостан, канд. биол. наук*

3476432460@mail.ru, rahmativ@mail.ru
ФГБОУ ВПО Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, г. Мелеуз, Республика Башкортостан, 453850, г. Мелеуз, ул. Смоленская, д.34

В южном регионе Республики Башкортостан проводятся исследования по выявлению биологического разнообразия высшей и низшей растительности в рамках международной конвенции, принятой в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, а также по его увеличению с помощью интродукции. В течение 2007–2013 гг. впервые были изучены 16 природных популяций и произведен эксперимент по интродуцированию ясенца голостолбикового (Dictamnus gymnostylis) в условиях южной лесостепи РБ на участках, находящихся в различных условиях антропогенной нагрузки. Материалом для исследований послужили взрослые растения ясенца голостолбикового и почвенные цианобактериальные-водорослевые ценозы, представленные микроскопическими почвенными водорослями и цианобактериями. Осуществлено семенное размножение ясенца, исследован и описан продромус. В интродукционные испытания входили фенологические наблюдения, оценка биоморфологических параметров, семенной продуктивности и семенного размножения вида. Большой интерес при интродукционных исследованиях представляют данные о трансбиотических отношениях высшей растительности с почвенной микробиотой. Состояние цианобактериально-водорослевых ценозов определяли через видовое разнообразие, обилие видов, соотношение экологических форм, установление ведущих отделов, классов, семейств и родов, доминантные виды. Всего под сообществом Dictamnus gymnostylis было обнаружено 83 вида и внутривидовых таксона цианопрокариот и почвенных водорослей. Установлено, что наиболее высокие фенологические показатели у Dictamnus gymnostylis характерны для почв с преобладанием кокковых форм водорослей из отделов Chlorophyta, являющихся характерными для ненарушенных, хорошо увлажненных почв с наличием высокого проективного покрытия из травянистой растительности. Получены положительные результаты по поведению вида в культуре при интродукции.

Ключевые слова: ясенец голостолбиковый, почвенные цианобактериально-водорослевые ценозы, биоразнообразие, биомониторинг, оценка состояния популяций на Южном Урале, интродукционное испытание.

Работы по выявлению и сохранению биоразнообразия флоры основываются на инвентаризации состояния природных популяций, в том числе редких и исчезающих видов растений. На основе анализа полученных данных определяется дальнейшая стратегия, диктующая, как и какими методами расширить спектр биоразнообразия или сохранить какой-либо вид [1, 8].

Если вид включен в «Красную книгу» региона, то необходима разработка конкретной программы по сохранению in situ и ex situ, если возможно и необходимо – методы интродукции, реинтродукции и биотехнологии. К сожалению, работа подобными комплексными методами по сохранению и приумножению биоразнообразия редких видов растений в Республике Башкортостан (как и в большинстве других регионов) практически не ведется [1, 5].

«Красная книга Республики Башкортостан» (2001) включает 232 вида исчезающих растений, среди которых немало полезных: лекарственных, пищевых, пряно-ароматических, декоративных растений. К последней группе относится ясенец голостолбиковый – *Dictamnus gymnostylis* Stev. – редкое декоративное и лекарственное растение из семейства рутовых (*Rutaceae*), ставший объектом исследования в данной работе. На Южном Урале это единственный представитель семейства и встречается он только в Республике Башкортостан. Сведения о состоянии природных популяций, особенностях биологии вида малочисленны и отрывочны. Растение не применяется официальной медициной, хотя в народной медицине используется как мочегонное, противосудорожное, антидепрессантное средство. Во всех органах растения (в листьях – 0,15 %) присутствует эфирное масло и алкалоиды диктамнин, скиммианин, тригонеллин, холин, а также диктамнолактон и сапонин. Последние годы ясенец вызывает интерес как декоративное растение, однако распространению популярности препятствует его ядовитость и способность вызывать труднозаживающие ожоги [1, 6].

В экспедиционных исследованиях выявлено 16 пунктов произрастания редкого вида *Dictamnus gymnostylis* в Республике Башкортостан, ориентировочная численность оценивается в 12–14 тыс. особей, площадь – 24–35 га. Хорошее состояние отмечено для 8 популяций, 4 популяции малочисленные, 2 – антропогенно нарушенные, 2 – угрожаемые. Угрозу для *Dictamnus gymnostylis* может представлять вырубка дубовых лесов и использование его местообитаний для выпаса скота с высокими пастбищными нагрузками. Для сохранения генофонда *Dictamnus gymnostylis*, наряду с уже существующей ООПТ на г. Тратау, предложена организация еще 2 охраняемых территории.

Охрана флоры в составе сообществ и их естественных местообитаний является наиболее эффективным способом сохранения биоразнообразия, так как экосистемы, имеющие широкий спектр биологических форм, имеют высокую резистентность [8]. Исследования, проводимые по сохранению биоразнообразия, доказывают, что виды предпочтительнее сохранять в природных местообитаниях. И только в случае полного нарушения экотопа или других причин, не гарантирующих сохранение вида, его нужно поместить в границы искусственного резервата.

Сообщества с участием *Dictamnus gymnostylis* в синтаксономическом пространстве Башкирского Предуралья встречаются довольно редко. На сегодняшний день выявлено 16 локализаций данного вида. Произрастает ясенец голостолбиковый в диапазоне местообитаний от кустарниковых степей до лесных опушек широколиственных лесов. Местообитания варьируют в зависимости от физико-химического состава почв, представителей высшей и низшей растительности, степени антропогенного нарушения.

Наиболее часто встречается в типичных кустарниковых степях *Amygdalion nanae*, относящийся к порядку *Festucetalia valesiacae*. Обычно данные сообщества представлены по опушкам небольших дубовых лесов в степной зоне, поэтому в сообществах нередко представлены виды класса *Trifolio-Geranietea*. Нами выделена новая ассоциация союза – *Dictamno gymnostylis-Caraganetum fruticis*, объединяющая сообщества с ясенцом голостолбиковым, где вид по-преимуществу выступает как содоминант степных кустарников. В ряде случаев *Dictamnus gymnostylis* произрастает непосредственно внутри дубовых лесов класса *Querco-Fagetea* (до 30–100 м вглубь от опушки леса). Такие сообщества, наряду с типичными лесными видами, содержат большое количество видов опушек. В лесостепной зоне (г. Тратау) ясенец встречается на остепненных лугах класса *Molinio-Arrhenatheretea*, порядка *Galietalia veri*.

Возможность сохранения биоразнообразия на видовом уровне ограничена, поэтому программа охраны предполагает включение методов интродукции и реинтродукции. На Тратау нами было отобрано 25 делянок от взрослых растений ясенца голостолбикового, которые были пересажены на опытный участок в городе Мелеуз (степная зона Башкортостана). После пересадки сохранилось 21 растение, за которыми в дальнейшем проводились наблюдения. Таким образом, приживаемость растений после пересадки составила 84 %.

Интродукционное испытание включало фенологические наблюдения, оценку биоморфологических параметров, семенной продуктивности и семенного размножения вида. Существенным показателем успешности интродукции является оценка прохождения интродуцентами фенологических фаз [3]. Феноритмы подчинены климатическому ритму и колеблются в зависимости от температурных показателей каждого конкретного года. Фенология включенного в интродукционное исследование редкого и исчезающего вида РБ *Dictamnus gymnostylis* изучалась с 2006 г. Описание прохождения ясенцом голостолбиковым фенологических фаз проводилось с использованием ритмологических групп, предложенных Борисовой [3].

В 2010 г. было принято решение расширить комплексные исследования и добавить методы оценки почвенного покрова с местообитаний популяций *Dictamnus gymnostylis* с целью установления зависимости устойчивости популяций от биоразнообразия низшей почвенной альгофлоры.

В качестве индикаторов состояния почвенного покрова произрастания популяций *Dictamnus gymnostylis* были выбраны как перспективные микроскопические почвенные водоросли и цианопрокариоты, обладающие чувствительностью даже к незначительным изменениям экологических условий, что широко используется для биодиагностики почв [1, 3, 5]. Они участвуют в биологической жизни почв, способствуют созданию почвенного плодородия за счет накопления в почве химических элементов, препятствуют эрозионным процессам, находятся в сложных трансбиотических взаимоотношениях с автотрофными и гетеротрофными организмами. [2, 4, 7, 10].

В ходе исследований естественных популяций был осуществлен сбор 16 почвенных образцов с 3 участков различной степени нарушенности классическими почвенно-альгологическими методами в слое 0–15 см объемом 5 $см^2$ каждая [7]. Подобный отбор проб обоснован тем, что именно в этом диапазоне глубин проявляется наиболее высокая биологическая активность, так как здесь расположена основная масса сосущих корней растений, а также отмечено наибольшее видовое разнообразие цианобактериально-водорослевых ценозов (ЦВЦ) [10]. К тому же экспериментальные данные показали, что для получения представительной характеристики ЦВЦ лесных почв глубина отбора проб должна быть не меньше 10–15 см. Если ограничиться анализом лишь верхнего пятисантиметрового слоя почвы, данные будут недостоверные, особенно по составу водорослей. Это связано, во-первых, с тем, что на глубинах 5–10 и 10–15 см число видов цианобактерий и водорослей еще довольно значительно и должно быть учтено. Во-вторых, среди представителей *Cyanoprokaryota* встречаются виды, разнообразие которых возрастает именно на этих глубинах и которые могут быть не выявлены при взятии лишь поверхностных образцов почвы [4, 7].

Отбор материала проводился в характерных для региона типах участков (по нарушенности) и растительности.

Флористический анализ почвенной альгофлоры проводили методом чашечных культур со «стеклами обрастания». Проведен анализ ЦВЦ по спектру экобиоморф [7].

Для идентификации ЦВЦ использована электронная база данных: и классические определители [7].

Для характеристики состава ЦВЦ учитывался видовой состав, анализировалась встречаемость выявленных видов, доминантные и специфические (дифференцирующие) виды. Также учитывалось среднее число видов в пробах. Состав экобиоморф определялся по классификации Э.А. Штиной [7, 10].

Всего в исследованных почвенных образцах широколиственного леса обнаружено

83 вида и внутривидовых таксонов цианопрокариот и почвенных водорослей, которые по отделам распределились следующим образом: *Chlorophyta* –38, *Cyanophyta* – 29, *Xanthophyta* – 9, *Bacillariophyta* – 5, *Euglenophyta* – 2.

Бедность видового состава *Bacillariophyta* является отличительной чертой видового разнообразия почвенной альгофлоры леса [2]. Так за период изучения лесных экосистем было обнаружено всего 5 видов и внутривидовых таксонов диатомовых: *Hantzschia amphioxys var. amphioxys*, *H. amphioxys var. capitata*, *Navicula mutica var. mutica*, *Pinnularia borealis*, *P. minor*.

Зеленые оказались самыми многочисленными и представлены видами 4 порядков: *Chlamydomonadales*, *Tetrasporales*, *Chlorococcales*, *Ulotrichales*.

Ведущие семейства: *Chlorococcaceae* (7), *Pseudanabaenaceae* (7), *Phormidiaceae* (6), *Oscillatoriaceae* (5) составляют 49 % от всей идентифицированной альгофлоры исследованных лесов. Ведущие роды: *Chloroccocum* (5), *Leptolyngbya* (5), *Phormidium* (5), *Oscillatoria* (5), *Chlamydomonas* (4) в совокупности занимают 52 % определенных видов.

Доминирующие виды: *Chloroccocum infusionum*, *C. minutum*, *Chlamydomonas atactogama*, *Ch. gloeogama*, *Radiosphaera dissecta*, *Cylindrospermum licheniforme f. licheniforme*.

Единая экологическая структура почвенных водорослей леса с выражена формулой $Ch_{18}C_{12}Cf_{11}P_{10}amph_8X_7B_5Nf_5M_3Pf_2H_2$.

В сообществе остепненных лугов было выявлено 58 видов и внутривидовых таксонов водорослей, из них *Chlorophyta* – 26, *Cyanophyta* – 15, *Xanthophyta* – 9, *Bacillariophyta* – 8. Здесь отмечены те же закономерности, что и в широколиственном лесу. Доминировали виды родов *Synechococcus*, *Chlorococcum*, *Phormidium*.

Преобладание одноклеточных водорослей убиквистов, относящихся к Ch-форме, и ксерофитных представителей P– формы связано с антропогенным нарушением почвы [4, 10].

Общая формула, отражающая экологическую структуру, имеет вид $Ch_{15}P_{11}amph_3B_7CF_7C_7X_7NF_5PF_3$

Сравнивая исследованные участки, нужно отметить, что лесная альгофлора характеризуется доминированием эдафофильных видов (68 таксонов рангом ниже рода), количество же amph– форм малозначительно. hydr-формы не обнаружены

Таким образом, исследованные популяционные участки характеризуются довольно богатой альгофлорой. Малое число одно- двувидовых родов и семейств свидетельствует о достаточной стабильности экологических факторов на фоне антропогенного воздействия [2,10].

В результате морфофизиологических и фенологических исследований популяций *Dictamnus gymnostylis* выявлены следующие показатели: возобновление вегетации по разным годам происходит 18.04–25.04; начало бутонизации 01.05–12.05; полная бутонизация – 08.06–12.06, массовое цветение 09.06–15.06; конец цветения 01.07–04.07; начало созревания семян 01.07–6.07; массовое созревание семян 14.07–25.07; конец вегетации 05.10–12.10

Таким образом, *Dictamnus gymnostylis* является длительно вегетирующим весенне-летне-осеннезеленым растением с периодом зимнего покоя, весенним сроком пробуждения и долгоцветущим видом со среднелетним периодом цветения. Длительность вегетационного периода около 6 месяцев. Вегетационный период начинается в последней декаде апреля и заканчивается в первой декаде октября. Начало фазы бутонизации отмечается в начале-середине мая. Продолжительность цветения 24–27 дней, начинается оно в первой-второй декаде июня, заканчивается в начале июля. Фаза плодоношения проходит с начала до конца июля. Созревание семян длится 24–25 дней. Длительность вегетации 164–171 день. В целом наблюдения показали, что фенологические фазы для данного вида достаточно стабильны и, по крайней мере, цветение и плодоношение проходят примерно в одни и те же сроки. Это показано также и О.А. Каримовой (2004) в лесостепном Предуралье РБ.

Большой интерес при интродукционных исследованиях представляют данные о потенциальной возможности биологической

Таблица 1

Семенная продуктивность *Dictamnus gymnostylis* в условиях интродукции
Seed production Dictamnus gymnostylis under Introductions

Параметры	Годы					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Число цветов на 1 побег, шт.	15,1±1,41	16,3±1,56	17,1±1,42	14,9±1,81	16,1±1,58	17,1±1,67
Число плодов на 1 побег, шт.	7,3±0,94	8,5±1,16	7,3±0,56	8,3±0,45	8,1±0,55	7,1±0,98
Число семяпочек в плоде, шт.	10,0±0,43	10,8±0,71	11,8±0,91	9,8±0,79	12,8±0,11	11,8±0,77
Число семян в плоде, шт.	6,6±1,57	5,1±0,47	5,9±1,17	6,9±1,22	5,6±1,23	6,0±0,98
Плодообразование, %	48,2	52,3	49,6	46, 7	51,2	52,2
Потенциальная семенная продуктивность 1 растения, шт.	112,4	114,1	99,4	101,2	110,7	98,2
Реальная семенная продуктивность 1 растения, шт.	74,0	58,9	55,2	67,1	61,8	57,3
Процент семинификации	65,8	51,6	56,1	66,3	55,4	58,1

Таблица 2

Сравнительная экологическая характеристика исследованных участков
Comparative ecological characteristic sites investigated

Участки	Степень нарушенности	Семенная продуктивность	Биоразнообразие почвенных водорослей (кол-во видов и разновидностей)
Лесная опушка Кл. *Querco-Fagetea* Пор. *Festucetalia valesiacae* С. *Amygdalion nanae*	ненарушенный	77,4 %	69
Участок леса Кл. *Querco-Fagetea* Пор. *Festucetalia valesiacae* С. *Amygdalion nanae*	средней нарушенности	56,4 %	38
Остепненный луг (**г**. **Тратау**) Кл. *Molinio-Arrhenatheretea* Пор. *Galietalia veri* С. *Dictamno gymnostylis-Caraganetum fruticis*	нарушенный	52,6 %	58

продуктивности растений и степени ее реализации. Семенная продуктивность – один из важных показателей адаптации вида при интродукции (Тюрина, 1978).

Семенная продуктивность в условиях культуры определялась у *Dictamnus gymnostylis* в 2007–2012 гг. Определялись число плодов, число семян в плоде, число семян на 1 растение, потенциальная и реальная семенная продуктивность, процент плодообразования и семинификации (табл. 1.).

Изучение семенной продуктивности показало, что процент плодообразования невысокий – в среднем 58,8 %. Ясенец голостолбиковый в природных условиях образует 9–15 плодов на 1 генеративный побег, в каждом плоде формируется 10–14 семян. Реальная семенная продуктивность ясенца голостолбикового составляет от 300 до 1000 шт. семян на 1 растение. Процент плодообразования и семенификации достаточно низок и редко превышает 60 %. При этом большинство показателей семенной продуктивности довольно сильно варьируют в разных популяциях и, видимо, зависят от условий местообитания (табл. 2).

Выращивание ясенца голостолбикового в культуре из семян показало, что всхожесть семян улучшается при подзимнем посеве и при весеннем с применением скарификации. Но можно говорить о 45–56 % всхожести в разных группах на 1 год, на следующий год

наблюдается дополнительная всхожесть на 5–7 % из семян прошлогоднего посева. Виргинильную стадию растения проходят в течение 5 лет, и генеративный этап наступает на шестой год вегетации. Растения хорошо переносят пересадку в весенний и осенний периоды, развивают мощные побеги из корневых деленок, нетребовательны к влаге и плодородию почвы.

Применение методов альгоиндикации показало, что наиболее высокие фенологические показатели у *Dictamnus gymnostylis* характерны для почв с преобладанием водорослей из отделов *Chlorophyta* кокковых форм, являющимися характерными для ненарушенных, хорошо увлажненных почв с преобладанием травянистой растительности.

Библиографический список

1. Абрамова, Л.М. Интродукция редких видов как способ сохранения биоразнообразия (на примере Республики Башкортостан) / Л.М. Абрамова, Н.В. Маслова, О.А. Каримова Бюл. ГБС РАН, 2004. – Вып. 188. – С. 110–118.
2. Алексахина, Т.И. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов / Т.И. Алексахина, Э.А. Штина – М.: Наука, 1984.– 149 с.
3. Бейдеман, И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ / И.Н. Бейдеман – Новосибирск: Наука, 1994. – 154 с.
4. Кабиров, Р.Р. Роль почвенных водорослей в поддержании устойчивости наземных экосистем / Р.Р. Кабиров – Альгология, 1991.– Т.1. – № 1. – С. 60–68.
5. Каримова, О.А. Интродукция некоторых редких видов растений в лесостепной зоне Предуралья Башкортостана. Автореф. дисс. … канд. биол. наук / Каримова О.А. – Пермь: ПермГУ, 2004. – 22 с.
6. Красная книга Республики Башкортостан. Т. 1. Редкие и исчезающие виды высших сосудистых растений. – Уфа: Китап, 2001. – 272 с.
7. Кузяхметов, Г.Г. Методика изучения почвенных водорослей: Учебное пособие / Г.Г. Кузяхметов, И.Е. Дубовик – Уфа: БашГУ, 2001. – 56 с.
8. Миркин, Б.М. Биологическое разнообразие и принципы его сохранения: Уч. пособие / Б.М. Миркин, Л.М. Наумова–Уфа: БашГУ, 2004. – 124 с.
9. Рахматуллина, И.В. Результаты исследований почвенной альгофлоры Южного Региона Республики Башкортостан / И.В. Рахматуллина, Е.В. Кузнецова. – Вестник ОГУ, № 6 (100), 2009. – С. 594–596.
10. Соболевская, К.А. Интродукция растений как путь сохранения и воспроизводства полезных видов природной флоры / К.А. Соболевская – Бюл. ГБС АН СССР, 1990. – Вып. 95. – С. 29–34.
11. Штина, Э.А. Экология почвенных водорослей / Э.А. Штина, М.М. Голлербах – М.: Наука, 1976.– 144 с.

METHODS OF ASSESSMENT IN ALGOMONITORINGA NATURAL POPULATIONS DICTAMNUS GIMNOSTILIS STEV. THE SOUTHERN URALS AND EXPERIENCE INTRODUCTION IN THE FOREST-STEPPE ZONE

Varlamova M., Ph.D, Associate Professor branch Moscow State University of Technology and management. K.G. Razumovsky in Meleuz (Republic of Bashkortostan)Rakhmatullina I., Ph.D., Advisor of Natural Sciences, Associate Professor branch Moscow State University of Technology and management. K.G. Razumovsky in Meleuz (Republic of Bashkortostan)

3476432460@mail.ru, rahmativ@mail.ru

Moscow State University of Technology and management. K.G. Razumovsky in Meleuz (Republic of Bashkortostan)453850, Meleuz, Smolenskaya str., 34

In the southern region of the Republic of Bashkortostan, studies to identify biological diversity higher and lower vegetation in an international convention adopted in 1992 in Rio de Janeiro, as well as to increase it through introductions. In the 2007–2013 period were first studied in 16 natural populations and performed an experiment on Dictamnus gymnostylis under South RB on forest plots in various anthropogenic load conditions. Material for research were mature plants and soil Dictamnus gymnostylis cyanobacterial-algal cenoses presented microscopic soil algae and cyanobacteria. Carried Dictamnus gymnostylis seed propagation is investigated and described prodromus. In the introductory test consisted of phenological observations, assessment biomorphological parameters, seed production and seed breeding species. Of great interest in studies of introduction are data on the relationship transbioticheskih higher vegetation with soil microbiota. State of cyanobacterial-algal cenoses determined through species diversity, species abundance ratio ecological forms, establishing the leading departments, classes, families and genera dominant species. Total under community Dictamnus gymnostylis was discovered 83 species and intraspecific taxa cyanoprokaryota and soil algae. Found that the highest phenological indicators at Dictamnus gymnostylis typical for soils with a predominance of coccoid forms of algal divisions Chlorophyta, which are characteristic of undisturbed, well-watered soil with the presence of high-projective cover of herbaceous vegetation. Positive results from the behavior of the species in culture at its introduction.

Keywords: Dictamnus gymnostylis, soil cyanobacterial-algal cenoses, biodiversity, biomonitoring, assessment of the status of populations in the South Urals, introductory test.

References

1. Abramova L.M., Maslov N.V., Karimov O.A. *Introduktsiya redkikh vidov kak sposob sokhraneniya bioraznoobraziya* (*na primere Respubliki Bashkortostan*) [Introduction of rare species as a way to preserve biodiversity (for example, the Republic of Bashkortostan)]. *Byulleten' GBS Rossiyskoy akademii nauk* [Bull. MBG], 2004. Vol. 188. pp. 110-118.

2. Alexakhina T.I., Shtina E.A. *Pochvennye vodorosli lesnykh biogeotsenozov* [Soil algae forest ecosystems]. *Moscow. Nauka* [Moscow: *science*], 1984. 149 p.
3. Beideman I.N. *Metodika izucheniya fenologii rasteniy i rastitel'nykh soobshchestv* [Method for studying the phenology of plants and plant communities]. Novosibirsk. Nauka [Novosibirsk: *science*], 1994. 154 p.
4. Kabirov R.R. *Rol'pochvennykh vodorosley v podderzhanii ustoychivosti nazemnykh ekosistem* [The role of soil algae in maintaining the stability of terrestrial ecosystems]. Algologia, 1991. Vol. 1. Number 1. pp.60-68.
5. Karimov O.A. *Introduktsiya nekotorykh redkikh vidov rasteniy v lesostepnoy zone Predural'ya Bashkortostana*. *Avtoref. diss. kand. biol. Nauk* [Introduction of some rare species of plants in the forest-steppe zone Preduralja Bashkortostan]. Perm: PermSU, 2004. 22 p.
6. *Krasnaya kniga Respubliki Bashkortostan* [Red Book of the Republic of Bashkortostan]. T. 1. Rare and endangered species of vascular plants. *Ufa: Kitap* [Ufa: book], 2001. 272 p.
7. Kuzyahmetov G.G., Dubovik I.E. *Metodika izucheniya pochvennykh vodorosley* [Method for studying soil algae]. Ufa: BSU, 2001. 56 p.
8. Mirkin B.M., Naumova L.M. *Biologicheskoe raznoobrazie i printsipy ego sokhraneniya* [Biological diversity and its conservation principles]. Ufa: BSU, 2004. 124 p.
9. Rakhmatullina I.V., Kuznetsova E.V. *Rezul'taty issledovaniy pochvennoy al'goflory Yuzhnogo Regiona Respubliki Bashkortostan* [The results of research into the soil algal flora of the Southern Region of the Republic of Bashkortostan]. *Vestnik OGU* [messenger OSU], № 6 (100), 2009. pp.594-596.
10. Sobolevskaya K.A. *Introduktsiya rasteniy kak put' sokhraneniya i vosproizvodstva poleznykh vidov prirodnoy flory* [Introduction of plants as a way of preservation and reproduction of beneficial species of natural flora]. *Byulleten' GBS Rossiyskoy akademii nauk* [Bull. MBG], 1990. Vol. 95. pp. 29-34.
11. Shtina E.A., Hollerbach M.M. *Ekologiya pochvennykh vodorosley* [Ecology of soil algae]. *Moscow, Nauka* [Moscow: *science*], 1976. 144 p.

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ НА РОСТ ДУБА СЕВЕРНОГО В ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

В.И. ШОШИН, *проф. БГИТА, канд. с.-х. наук,*
А.В. ГРАБОРОВ, *асп. БГИТА*

mail@bgita.ru, borg87@yandex.ru
ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия»
г. Брянск, пр-т Ст. Димитрова, д. 3

В статье приводится материал исследований о влиянии почвенно-грунтовых условий на рост в высоту и по диаметру дуба северного (Quercus borealis) и дуба черешчатого (Quercus robur). Исследования проводились в период с 2011 по 2013 г. Для проведения исследований использовались современные методики. Для выявления связей между биометрическими показателями изучаемых видов и показателями почвенного плодородия проводился корреляционный анализ. Установлено, что существенное значение на формирование прироста в высоту и по диаметру у дуба северного за первые 20 лет жизни оказывает плотность сложения гумусового горизонта, а также содержания илистых фракций в нем. Увеличение запасов азота, фосфора и калия в изучаемых дерново-подзолистых почвах не оказывает существенного влияния на прирост в высоту и по диаметру дуба северного. На основе пошагового регрессионного анализа получены модели связи между средним приростом в высоту и по диаметру и почвенными характеристиками для дуба северного и дуба черешчатого. При построении моделей были рассчитаны коэффициенты «beta», по значению которой нами был оценен вклад той или иной переменной (почвенные характеристики) в формировании среднего прироста в высоту и по диаметру деревьев дуба северного и черешчатого. В 100-сантиметровом слое изучаемых дерново-подзолистых почв для хорошего роста дуба северного в высоту значимыми являются такие почвенные характеристики, как запасы фосфора и калия, содержание физической глины и величина pH. Наиболее благоприятными условиями для роста дуба северного являются рыхлые почвы с плотностью сложения гумусового горизонта не более 1,2 г/см^3, содержание гумуса в метровом слое – не менее 1,2 %, содержание физической глины в пределах 14,5 %. Дуб северный выдерживает сильнокислую реакцию почвы pH = 3,9…4,5.

Ключевые слова: интродукция, дуб северный, корреляционный анализ, статистическая обработка, коэффициент значимости «beta», почвенные характеристики.

Интродукция быстрорастущих и хозяйственно ценных древесных пород является одним из способов улучшения качественного состава и разнообразия лесов[6]. Одной из таких пород является дуб северный (*Quercus borealis* Mich. f.). Это крупное дерево, естественный ареал которого находится в широколиственных лесах Северной Америки, достигает 21–27м высоты и 0,6–0,9м в диаметре [3]. Дуб северный как лесокультурный вид обладает рядом положительных качеств, которые делают его весьма перспективной породой для внедрения в зону хвойно-широколиственных (смешанных) лесов. Преимущество данного

Таблица 1

Физические и физико-химические показатели дерново-подзолистых почв под лесными культурами с участием дуба северного

Physical and physico-chemical parameters of sod-podzolic soils under forest plantations with oak northern

Горизонт, слой почвы	Мощность, см	Содержание ила, %	Содержание физической глины, %	Плотность сложения, г/см^3	pH_{HCL}	Гумус A_1, %	Запас элементов питания кг га$^{-1}$		
							Азот	фосфор	калий
A_1	6–25	0,30–4,58	4,3–12,6	0,91–1,19	3,88–5,22	1,45–4,86	3,25–14,99	1,4–19,53	3,36–21,84
0–20	–	0,67–2,98	1,17–12,6	0,91–1,31	3,99–4,78	0,77–4,86	5,44–35,38	1,26–28,24	1,11–50,96
0–50	–	0,72–2,31	3,2–12,3	1,13–1,39	4,19–5,01	0,62–2,57	8,30–48,01	4,15–84,75	2,70–90,70
0–100	–	0,68–2,09	4,1–14,6	1,24–1,45	4,19–4,94	0,52–1,75	10,34–52,62	28,36–603,91	15,90–115,48

вида перед местным дубом в том, что он отличается более быстрым ростом в молодом возрасте, более устойчив к мучнистой росе, в меньшей степени повреждается фито- и энтомовредителями, быстро достигает биологической спелости (50–70 лет) [11–13].

В отношении требовательности дуба северного к почве мнение большинства исследователей сводится к тому, что он мене прихотлив к ней, чем дуб черешчатый [4, 5, 9]. Данное обстоятельство и предопределило необходимость проведения исследований.

Для более широкого внедрения дуба северного в леса Брянской области необходимо изучить требовательность данного вида к почвенным условиям в сравнении с дубом черешчатым.

В качестве объектов исследования использовались разновозрастные смешанные лесные культуры с участием дуба северного (*Q. borealis*), произрастающие в Карачевском, Навлинском, Брасовском и Брянском районах Брянской области.

В полевых условиях наряду с таксационными показателями на экспериментальных пробных площадях изучался напочвенный покров в соответствии с требованиями к проведению биогеоценологических исследований [10]. Изучение морфологических и физико-химических свойств почвы рассматривалось в соответствии с методическими разработками кафедры лесных культур и почвоведения БГИТА (Орловский, Остроумов, 1987; Маркина, 2013) и ОСТ 56-81-84 «Полевые исследования почвы».

По каждому почвенному горизонту отбирались образцы. В дальнейшем образцы подвергались физико-химическому анализу, в ходе которого определялись механический состав, содержание гумуса в почве методом И.В. Тюрина, содержание подвижной фосфорной кислоты по методу А.Т. Кирсанова, содержание подвижного калия с помощью пламенного фотометра.

Расчет запасов азота, фосфора и калия в слоях 20, 50 и 100 сантиметров почвы осуществлялся по методу Н.П. Ремезова [7].

Полевой и лабораторный материал был проанализирован с помощью методов статистического анализа [8].

В табл. 1 приведены физические и физико-химические показатели дерново-подзолистых почв под лесными культурами с участием дуба северного.

Для дерново-подзолистых почв наименьшее содержание илистых фракций характерно для подзолистого горизонта (0,43–1,95 %), а большее их количество сосредоточено в иллювиальном горизонте (0,73–2,80 %). Наибольшее содержание гумуса присуще аккумулятивному горизонту (4,86 %).

Для изучаемых почв характерна очень низкая обеспеченность обменными формами калия (0,8–35,0 мг/кг), низкая и средняя обеспеченность подвижными формами фосфора (1,3–100 мг/кг) (по Кирсанову). Плотность сложения гумусового горизонта колеблется от 0,91 до 1,19 г/см^3, максимальные значения отмечаются в материнской породе от 1,41 до 1,66 г/см^3. Для подзолистых почв предельное значение плотности сложения не должно превышать – 1,7 г/см^3) [10].

Распределение гумуса, фосфора, калия, ила, кислотности по профилю изучаемых

почв соответствует данным, полученным ранее другими исследователями [1].

Основной запас элементов питания в исследуемых почвах приходится на верхний 50 см слой почвы, где сосредоточена основная масса корней деревьев [2].

Для определения влияния почвенных условий на рост дуба северного и черешчатого был проведен корреляционный анализ между средним приростом по высоте и диаметру за первые 10 и 20 лет жизни деревьев. Полученные коэффициенты корреляции между значениями приростов и почвенными характеристиками, позволили нам на 95 % доверительном уровне выявить наиболее значимые показатели для роста дерева в высоту и по диаметру.

Установлено, что на формирование прироста в высоту и по диаметру за первые 10 и 20 лет жизни дуба северного мощность гумусового горизонта в пределах 6–25 см не оказывает существенного влияния, о чем свидетельствуют полученные коэффициенты корреляции, (r =0,123 и r = 0,152 (Z_h); r = 0,037 и r = 0,155 (Z_d)). У дуба черешчатого, наоборот, наблюдается сильная связь между мощностью гумусового горизонта в диапазоне 6–25 см и приростом в высоту. Причем в возрасте 20 лет эта связь выражена менее значительно, чем в возрасте 10 лет (r = 0,904 и r = 0,806 соответственно). Существенное значение на формирование прироста в высоту у дуба северного оказывает плотность сложения гумусового горизонта, r = 0,774 в 10 лет и r = 0,564 в 20 лет.

Содержание илистых фракций в гумусовом горизонте, слое 0–20 см, 0–50 см, оказывает отрицательное влияние на величину прироста дуба северного в высоту и по диаметру за первые 10 лет жизни. Увеличение содержания илистых фракций с 0,68 до 2,09 % в слое 0–100 см отрицательно сказывается на приросте в высоту (r= –0,758 (Z_{h10})). Связь прироста в высоту и по диаметру за 20 лет с содержанием илистых фракций гумусовом горизонте, слое 0–20 см и 0–50 см не наблюдается, а в слое 0–100 см ее увеличение негативно влияет на прирост, что подтверждается наличием умеренной связи (r = –0,515). Для дуба черешчатого характерно наличие средней и сильной связи между содержанием илистых фракций в гумусовом горизонте, слоях 0–20 см, 0–50 см и приростом в высоту. Между содержанием илистых фракций в слоях 0–20 см, 0–50 см и приростом по диаметру за первые 20 лет жизни наблюдается средняя зависимость с коэффициентами корреляции r = 0,665; r = 0,697 соответственно. В горизонте A_1 с увеличением содержания илистых фракций увеличивается прирост по высоте (за 10 и 20 лет). Между приростом по диаметру и содержанием илистых фракций прослеживается умеренная связь с коэффициентами корреляции (r = 0,375 (Z_{h10}) и r = 0,455 (Z_{h20})). В слое 0–20 см и 0–50 см наблюдается сильная зависимость между содержанием илистых фракций и приростом по высоте (за 10 и 20 лет), а приростом по диаметру только за первые 20 лет жизни.

Содержание физической глины во всех исследуемых слоях не оказывает существенного влияния на прирост дуба северного как в высоту, так и по диаметру. У дуба черешчатого содержание физической глины играет значимую роль в формировании прироста как в высоту, так и по диаметру. С увеличением содержания физической глины в почве дуб черешчатый дает большие приросты в высоту и по диаметру. Наиболее значимое влияние содержания физической глины на формирование приростов дуба черешчатого наблюдается в возрасте 10 лет (r = 0,717 – 0,990).

Между кислотностью почвы и приростом по диаметру дуба северного (Z_{d20}) проявляется в гумусовом горизонте и слое 0–100 см средняя корреляционная связь (r = 0,541 и r = 0,633). Дуб северный выдерживает сильнокислую реакцию почвы pH = 3,9–4,5 в слое 0–100 см.

Для дуба черешчатого при изменении величины pH в гумусовом горизонте и слое 0–20 см в среднекислую и сильнокислую сторону прирост по диаметру за первые 10 лет жизни увеличивается. В слое 0–50 см наблюдается средняя зависимость между изменением величины pH от сильно кислой до среднекислой реакции и приростом в высоту и по диаметру, с его увеличением. Схожая картина просматривается и в слое 0–100 см.

Таблица 2

Зависимость средних приростов дуба северного и черешчатого от почвенных условий по слоям дерново-подзолистых почв

Dependence of average growth of oak and northern chereshchatogo on soil conditions across the layers of sod-podzolic soils

Горизонт, слой, см	Аппроксимирующая модель	R	R^2	F при $p<0,05$	Станд. ошибка уравнения
Дуб северный					
A_1	$Z_h = 0,3786 – 0,0253*pH –0,0091*K_2O + 0,0199*P_2O_5 – 0,0062*gl$	0,856	0,733	13,01	0,04
	$Z_d = – 0,2202 + 0,1666*pH – 0,0644*G\ l +0,0157*K_2O – 0,1767*il$	0,856	0,748	14,12	0,06
0–20	$Z_h = 0,1860+0,0119*\ P_2O_5 – 0,0033*K_2O – 0,0564*il+0,0024*NO_3$	0,856	0,733	13,01	0,04
	$Z_d = –1,9654 + 0,3931*pH + 0,1605*il – 0,0164*gl$	0,862	0,743	19,28	0,05
0–50	$Z_h = –1,0987 + 0,2369*pH – 0,0076*gl + 0,0079*NO_3 – 0,0023*K_2O$	0,856	0,733	13,01	0,04
	$Z_d = – 0,0402 + 0,0071*P_2O_5 – 0,0098*NO_3 + 0,0501*pH$	0,864	0,747	19,68	0,05
0–100	$Z_h = – 1,0600 + 0,2406*pH – 0,0027*K_2O + 0,0009*P_2O_5 + 0,0046*gl$	0,856	0,733	8,90	0,04
	$Z_d = 0,3508 + 0,0023*P_2O_5 – 0,0114*NO_3 + 0,0075*gl$	0,864	0,746	13,72	0,06
Дуб черешчатый					
A_1	$Z_h = 0,1478 + 0,0107*P_2O_5 – 0,0023*K_2O – 0,0055*il$	0,999	0,998	8,15	0,02
	$Z_d = 0,2949 + 0,0090*P_2O_5 – 0,1595*il + 0,0049*K_2O$	0,999	0,998	8,16	0,01
0–20	$Z_h = 0,0647 + 0,0079*P_2O_5 + 0,0013*NO_3 + 0,0017*gl$	0,999	0,998	7,14	0,02
	$Z_d = 0,0337 + 0,0150*P_2O_5 + 0,0007*K_2O – 0,0003*NO_3$	0,999	0,998	8,03	0,02
0–50	$Z_h = – 0,1890+0,0082*NO_3 – 0,0185*gl + 0,0684*pH$	0,997	0,994	13,03	0,04
	$Z_d = 0,6485 + 0,0077*P_2O_5 – 0,5374*il + 0,0053*NO_3$	0,996	0,992	11,07	0,03
0–100	$Z_h = – 0,9811 + 0,0055*NO_3 + 0,1895*pH – 0,0033*gl$	0,997	0,994	12,58	0,05
	$Z_d = – 0,1774 + 0,0012*P_2O_5 – 0,1595*il + 0,1030*pH$	0,999	0,998	7,34	0,02

Примечание: *il* – содержание или, %; *gl* – содержание физической глины, %; pH – обменная кислотность; NO_3, P_2O_5, K_2O – запасы азота, фосфора и калия соответственно, кг/га

Увеличение содержания гумуса в горизонте A_1, слоях 0–20 см, 0–50см и 0–100см не оказывает существенного влияния на формирования прироста в высоту и по диаметру дуба северного за первые 20 лет жизни.

Увеличение запасов азота, фосфора и калия в изучаемых дерново-подзолистых почвах оказывает несущественное влияние на прирост в высоту и по диаметру дуба северного. Для дуба черешчатого характерна сильная прямая зависимость между запасами азота, подвижных форм фосфора, обменных форм калия и приростом в высоту, как за первые 10 лет, так и за 20 лет, во всех изучаемых слоях. Связь прироста по диаметру (за 10 лет) и запасами азота характеризуется наличием средней зависимости с коэффициентами корреляции (r = 0,559 – 0,699), а за 20 лет сильной зависимостью (r = 0,829 – 0,853).

Запасы подвижных форм фосфора оказывают существенное влияние лишь на прирост за первые 20 лет жизни во всех изучаемых слоях почвы (r = 0,872 – 0,997).

Запасы обменных форм калия в гумусовом горизонте значимы для формирования прироста по диаметру за первые 20 лет жизни у дуба черешчатого. Увеличение запасов обменных форм калия с 1,11 до 50,96 кг/га в слое 0–20 см положительно влияет на прирост дуба черешчатого по диаметру (за первые 10 и 20 лет). В слоях 0–50 см увеличение запасов обменных форм калия значимо для прироста за первые 20 лет жизни (r = 0,628).

Принимая во внимание тот факт, что рост дерева определяется многими почвенными факторами, нами сделана попытка разработки математической модели роста на основе средних приростов в высоту и по диаметру за первые 20 лет жизни (табл. 2).

Коэффициенты детерминации математических моделей меняются от 0,733 у дуба северного до 0,998 у дуба черешчатого.

При построении аппроксимирующих моделей были рассчитаны коэффициенты «beta», по значению которой нами был оценен вклад той или иной переменной (почвенные характеристики) в формировании среднего прироста по высоте и диаметру деревьев дуба северного и черешчатого.

В слое 0–100 см запасы подвижного фосфора играют значимую роль (beta = 0,99). Рассматривая полученные модели по горизонтам и слоям почвы, видим, что увеличение запасов калия отрицательно сказывается на приросте дуба северного по высоте, меняясь от beta = –6,33 в гумусовом горизонте до beta-2,14 в слое 0–100 см. Содержание илистых фракций и физической глины также отрицательно влияет на прирост по высоте (слой 0–20 см beta= –0,50; слой 0–50 см beta = –1,34 соответственно). Положительно влияет на прирост по высоте в слое 0–20 см и 0–50 см изменение кислотности от сильнокислой до кислой реакции до pH_{KCL} = 3,99…5,01 (beta = 1,96; 0,89). На второе место по значимости после кислотности в 50-сантиметровом слое почвы выходят запасы азота с величиной beta = 1,53.

Уменьшение содержания физической глины в слое 0–100 см положительно влияет на прирост по диаметру (beta = 0,82). Отрицательное влияние на прирост по диаметру в 100-сантиметровом слое оказывает увеличение запасов азота (beta = – 2,30). Увеличение запасов фосфора в 100-сантиметровом слое с 28,36 до 603,91 кг/га положительно влияет на рост дуба северного. Повышение содержания ила в слое 0–100 см с 0,68 % до 2,09 % отрицательно отразилось на приросте по диаметру.

Выводы

1. В 100-сантиметровом слое изучаемых дерново-подзолистых почв для хорошего роста дуба северного в высоту значимыми являются такие почвенные характеристики, как запасы фосфора и калия, содержание физической глины и величина pH, причем увеличение запаса калия отрицательно сказывается на приросте в высоту. Снижение кислотности почвы (от сильно кислой до кислой реакции) положительно влияет на прирост в высоту. На прирост по диаметру существенное влияние оказывают запасы фосфора, азота и содержание физической глины.

2. Наиболее благоприятными условиями для роста дуба северного являются рыхлые почвы с плотностью сложения гумусового горизонта не более 1,2 г/см^3, содержание гумуса в метровом слое – не менее 1,2 %, содержание физической глины в пределах 14,5 %. Дуб северный выдерживает сильнокислую реакцию почвы pH=3,9…4,5.

Библиографический список

1. Антыков, Л.Я. Почвенно-лесоводственное районирование Брянской области / Л.Я. Антыков // Почвоведение. – 1960. – № 8. – С. 80–83.
2. Беляев, А.Б. Почвенно-климатические факторы продуктивности дуба северного при его интродукции / А.Б. Беляев, Д.И. Щеглов // Лесоведение. – 2012. – № 1. – С.14–21.
3. Булыгин, Н.Е. Дендрология / Н.Е. Булыгин, В.Т. Ярмишко. – М.; МГУЛ, 2001. – 528 с.
4. Гегельский, И.Н. Особенности роста дубов на Украине / И.Н. Гегельский // Науч. тр. с.-х. академии. – Киев, 1971. – Вып.65. – С. 118–122.
5. Гурский, А.В. Основные итоги интродукции древесных растений в СССР / А.В. Гурский. – М.–Л.: АН СССР, 1957. – 308 с.
6. Калуцкий, К.К. Итоги изучения высокопродуктивных лесообразующих интродуцентов в Европейской части СССР / К.К. Калуцкий, Н.А. Болтов, М.А. Куцевалов, А.Б. Беляев. – Воронеж, ЦНИИЛГиС, 1982. – 60 с.
7. Маркина, З.Н. Почвоведение: методические указания к лабораторным занятиям по направлению 250100 «Лесное дело» / З.Н. Маркина; – Брянск: БГИТА, 2013. – 49 с.
8. Мешалкина, Ю.Л. Математическая статистика в почвоведении: Практикум / Ю.Л. Мешалкина, В.П. Самсонова. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 84 с.
9. Прикладовская, Н.Ф. О дубе северном (красном) в западных областях Украины / Н.Ф. Прикладовская // Науч. тр. Львов, лесотехн. ин-та, 1957. – Т. 3. – С. 227–233.
10. Программа и методика биогеоценологических исследований / под. общ. ред. Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1974. – 404 с.
11. Пятницкий, С.С. Курс дендрологии / С.С. Пятницкий. – Харьков: Наука, 1960. – 422 с.
12. Харитонович, Ф.Н. Биология и экология древесных пород / Ф.Н. Харитонович. – М.: Лесная промсть. – 1968. – 304 с.
13. Щепотьев, Ф.Л. Быстрорастущие древесные породы / Ф.Л. Щепотьев, Ф.А. Павленко. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 376 с.

INFLUENCE OF SOIL CONDITIONS ON GROWTH OF THE QUERCUS BOREALIS IN FOREST CULTURES OF THE BRYANSK REGION

Shoshin V.I., professor, candidate of agricultural sciences Bryansk State Academy of Engineering and Technology, Graborov A.V., Bryansk State Academy of Engineering and Technology

mail@bgita.ru, borg87@yandex.ru
Bryansk State Academy of Engineering and Technology, Bryansk, St Ave. Dimitrova, 3

In article the material of researches about influence of soil and soil conditions on growth is given to height, and on diameter of an oak of northern (Quercus borealis) and an oak of chereshchaty (Quercus robur). Researches were conducted during the period from 2011 to 2013. For carrying out researches modern techniques were used. For identification of communications between biometric indicators of studied types and indicators of soil fertility the correlation analysis was carried out. It is established that essential value on gain formation in height and on diameter at an oak northern for the first 20 years of life renders density of addition of the humic horizon, and also the maintenance of oozy fractions in it. The increase in stocks of nitrogen, phosphorus and potassium in studied cespitose and podsolic soils has no essential impact on a gain in height and on diameter of an oak northern. On the basis of the step-by-step regression analysis of a gain in height and on diameter connection models between an average gain in height and on diameter and soil characteristics for an oak northern and chereshchaty oak are received. At creation of models "beta" coefficients on which value we estimated a contribution of this or that variable (soil characteristics) in formation of an average gain at height and on diameter of trees of an oak northern and chereshchaty were calculated. In a 100-centimeter layer of studied cespitose and podsolic soils for the good growth of an oak northern in height such soil characteristics, as phosphorus and potassium stocks, the content of physical clay and the size pH are significant. Optimum conditions for growth of an oak northern are friable soils with a density of addition of the humic horizon no more than 1,2 g/cm^3, the maintenance of a humus in a meter layer – not less than 1,2 %, the content of physical clay within 14,5 . The oak northern maintains strongly acidic reaction of the soil of pH = 3,9 ... 4,5.

Keywords: introduction, quercus borealis, correlation analysis, statistical processing, coefficient of the importance of beta, soil characteristics.

References

1. Antykov, L.Ya. *Pochvenno-lesovodstvennoe rayonirovanie Bryanskoy oblasti* [Soil and silvicultural zoning Bryansk region] *Pochvovedenie* [Soil Science]. 1960. № 8. pp. 80–83.
2. Belyaev, A.B., Shcheglov, D.I. *Pochvenno-klimaticheskie faktory produktivnosti duba severnogo pri ego introduktsii* [Soil and climatic factors productivity northern oak when introduced] *Lesovedenie* [Forestry]. 2012. № 1. pp. 14–21.
3. Bulygin, N.E., Yarmishko. V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow, MGUL, 2001. 528 p.
4. Gegel'skiy, I.N. *Osobennosti rosta dubov na Ukraine* [Features of growth oaks in Ukraine] *Nauch. tr. s.kh. akademii*. [Scientific papers Agricultural Academy]. Kiev, 1971. Edition.65. pp. 118-122.
5. Gurskiy, A.V. *Osnovnye itogi introduktsii drevesnykh rasteniy v SSSR* [Main results of introduction of woody plants in the Soviet Union]. Moscow-Leningrad, AN SSSR, 1957. 308 p.
6. Kalutskiy, K.K., Boltov, N.A., Kutsevalov, M.A., Belyaev, A.B. *Itogi izucheniya vysokoproduktivnykh lesoobrazuyushchikh introdutsentov v Evropeyskoy chasti SSSR* [Results of the study of high-forest tree exotic species in the European part of the Soviet Union]. Voronezh, TsNIILGiS, 1982. 60 p.
7. Markina, Z.N. *Pochvovedenie: metodicheskie ukazaniya k laboratornym zanyatiyam po napravleniyu* 250100 *«Lesnoe delo»* [Soil Science: guidelines for laboratory studies toward 250100 «Forest case «]. Bryansk, BGITA., 2013. 49 p.
8. Meshalkina, Yu.L., Samsonova, V.P. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii: Praktikum* [Mathematical Statistics in Soil Science: Workshop]. Moscow, MAKS-Press, 2008. 84 p.
9. Prikladovskaya, N.F. *O dube severnom* (*krasnom*) *v zapadnykh oblastyakh Ukrainy* [On the northern oak (red) in the western regions of Ukraine] *Nauch. tr. L'vov*, *lesotekhn. in-ta* [Scientific papers Lvovskogo Forestry Institute]. 1957. T. 3. pp. 227-233.
10. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and methodology of research biogeotsenologicheskih]. Moscow, Nauka, 1974. 404 p.
11. Pyatnitskiy, S.S. *Kurs dendrologii* [Dendrology course]. Kharkiv, Nauka, 1960. 422 p.
12. Kharitonovich, F.N. *Biologiya i Ekologiya drevesnykh porod* [Biology and ecology of tree species]. Moscow, Lesnaya promyshlennost', 1968. 304 p.
13. Shchepot'ev, F.L., Pavlenko, F.A. *Bystrorastushchie drevesnye porody* [Fast-growing tree species]. Moscow, Sel'khozizdat, 1962. 376 p.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ДИНАМИКУ ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ПЛОТНОСТИ МЕЗОФАУНЫ

К.В. ДОРОХОВ, *асп. каф. лесозащиты и охотоведения БГИТА,*
В.П. ШЕЛУХО, *проф. каф. лесозащиты и охотоведения БГИТА, д-р с.-х. наук*

dorokhovkirill@mail.ru, sheluhovp@rambler.ru
ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия»
241037, Брянская область, г. Брянск, просп. Станке Димитрова, д. 3

Почвенная мезофауна рассматривается в качестве комплекса почвенных животных среднего размера, участвующего во всех этапах круговорота вещества и играющего огромную роль в процессе почвообразования. Изменение структуры, химических и физических свойств почв приводит к варьированию плотности и нарушению трофической структуры почвенных животных. В связи с этим почвенная мезофауна считается одним из лучших биоиндикаторов антропогенных воздействий на лесные экосистемы. Исследования проводились в течение полевых сезонов 2010–2013 гг. на территории трех участковых лесничеств Брянской и Калужской областей. Изучалось влияние лесных пожаров, рубок леса и рекреации на динамику почвенной мезофауны. Установлено, что рассмотренные воздействия человека на лесные сообщества приводят к изменениям почвенной мезофауны: уменьшению плотности популяций, снижению таксономического разнообразия, а также нарушению трофической структуры. Изменения фауны почв, происходящие после пожаров, в значительной степени зависят от интенсивности и давности пожара. Анализ данных свидетельствует о связи динамики состава и трофической структуры мезофауны с видом проводимых рубок леса. При нарушении растительного покрова сначала наблюдается уменьшение численности мезофауны, а затем снижение численности и исчезновение групп животных, обитающих в подстилке и поверхностных слоях почвы. Среди рассмотренных антропогенных воздействий наибольшие изменения в трофической структуре влечет за собой комплекс воздействующих факторов.

Ключевые слова: антропогенное воздействие на лесные экосистемы, почвенная мезофауна, трофическая структура, плотность поселения.

Почвообитающие беспозвоночные – важный элемент детритной цепи лесных экосистем, активные организаторы круговорота веществ в экосистемах и необходимый элемент обеспечения почвенного плодородия. Из них многие потребители опада и фитофаги непосредственно способствуют минерализации растительных тканей, другие – переводят органические соединения растительного опада в более доступную для микроорганизмов форму путем увеличения поверхности остатков растений, гидролиза части соединений [1]. Кроме измельчения растительных остатков, для почвенных беспозвоночных характерна функция формирования почвенного профиля за счет перемешивания и перемещения частиц почвы и подстилки. Беспозвоночные в процессе питания вступают в непосредственные трофические связи с рядом других организмов и способствуют распространению и регулированию численности некоторых из них [2].

Интенсивность обменных процессов между растительностью и почвой, а также эффективность процессов деструкции напрямую зависит от численности, видовой и функциональной структуры почвенной мезофауны. В составе биогеоценоза комплекс почвенных беспозвоночных подвержен воздействию множества факторов, в числе которых гигротермические условия местообитания, механический состав, влажность и кислотность почв, наличие и состав растительности всех ярусов, а также антропогенные воздействия.

Роль и α-разнообразие почвенной мезофауны в экосистемах в значительной мере определяется особенностями взаимодействия ее с фитоценозом. Изменения связей с кормовой базой оказывают регулирующее действие на динамику численности мезофауны. Фитофаги потребляют часть растительного вещества, возвращая переработанную биомассу в почву в процессе жизнедеятельности, и участвуют во всех этапах формирования древостоя. Нарушения экологических связей и изменения пространственной структуры элементов насаждения, вызванные антропогенным вмешательством, влекут за собой перестройку в комплексе почвенных беспозвоночных, являющихся важным индикатором изменения окружающей среды и, что особенно важно, отражающим изменения фитоценоза на ранних этапах процесса.

Реакции сообществ почвенных беспозвоночных на антропогенные нарушения часто проявляются значительно раньше и отчетливее, чем изменения химических и физических параметров почвы, определяемые существующими методами [3].

Для того чтобы минимизировать зависимость от некоторых физико-механических свойств почв, наши работы проводились в сосновых лесах на свежих песчаных почвах в условиях однообразия экотопов, что отражено в таблице. Исследования проведены в насаждениях с участием сосны в составе древостоя 6 – 10 единиц как естественного, так и искусственного происхождения, полнотой 0,6–0,8, III – V классов возраста, преимущественно брусничного типа леса в типах лесорастительных условий A_2, B_2.

На всех пробных площадях (ПП) произведен учет живого напочвенного покрова (ЖНП) методом эталонных участков (400–2000 м^2) с использованием шкалы Браун-Бланке [4]. Экологическая оценка местообитаний проведена с использованием оптимумных экологических шкал Г. Элленберга [4].

Для определения санитарного состояния древостоев на пробных площадях (ПП) рассчитывались средневзвешенная категория состояния (СКС) и жизненное состояние древостоя [5, 6].

Учет мезофауны проводился методом послойной ручной разборки почвенных проб в подкроновом пространстве (12–15 шт./ПП). Всех учтенных беспозвоночных, представленных 15 систематическими группами, разделили на три трофических класса по способам питания на зоофагов, фитофагов и сапрофагов.

В течение полевых сезонов 2012–2013 гг. было заложено 28 пробных площадей для учета влияния лесных пожаров и рубок леса на динамику почвенной мезофауны, в течение полевых сезонов 2010, 2011, 2013 гг. – 9 пробных площадей для выявления влияния рекреации на динамику почвенной мезофауны. Комбинация условий, влияющих на динамику почвенной мезофауны, представленных на изучаемых объектах, позволяет исследовать отдельное и совместное влияние различных антропогенных факторов.

Для почвенных беспозвоночных имеют наибольшее значение процессы, происходящие в подстилке и верхнем слое почвы.

Затрагивая древостой, огонь при лесных пожарах нарушает и естественный баланс лесной почвы вместе с ее компонентами. Лесные пожары способствует увеличению суммы эффективных температур через снижение относительной полноты древостоя, сомкнутости крон и повышения освещенности подстилающей поверхности. Изменение радиационного и теплового баланса верхних почвенных горизонтов ведет к ускорению круговорота веществ, влияет на продуктивность растений живого напочвенного покрова, скорость прохождения жизненного цикла почвенных членистоногих. Повреждение низовыми пожарами элементов насаждения сопровождается перестройками в комплексе почвенной мезофауны [7].

Хозяйственная деятельность человека в лесу (рубки леса), нарушения санитарных правил безопасности, влекущие возникновение пожаров, и рекреационные нагрузки – одни из основных направлений негативного воздействия человека на лесные биогеоценозы.

Лесные пожары – важный регулирующий и лимитирующий фактор для популяций живых организмов, а также катализатор деструкции органических остатков. В результате воздействия пожаров происходит ослабление древостоя. Затрагивая древостой, огонь также нарушает и естественный баланс лесной почвы вместе с ее компонентами.

Велика роль пожаров в ухудшении санитарного состояния древостоев. При этом характер ослабления в большей степени зависит от возраста древостоя, толщины коры и интенсивности пожара. Величина текущего отпада (54 и 42 %) после устойчивых низовых сильных пожаров в древостоях 90–100 лет свидетельствует о сильной степени нарушения биологической устойчивости насаждений. Спустя три года после пожара средней интенсивности средневзвешенная категория санитарного состояния 60-летнего древостоя отражает ослабленное состояние древостоя и практически не имеет тенденции к дальнейшему ослаблению на четвертый год после

Таблица

Плотность систематических групп мезофауны на пробных площадях
Taxonomic groups of macrofauna density on the test areas

Характеристика древостоев	Плотность систематических групп мезофауны, шт/м^2														Общая плотность на ПП, шт/м^2
Состав, возраст, тип леса, тлу	Пауки	Кивсяки	Многоножки	Черви подстилочные	Черви земляные	Жужелицы	Муравьи	Стафилины	Долгоносики	Щелкуны	Хрущи	Двукрылые	Пилильщики	Тараканы	
Пожары сильной интенсивности 2-летней давности, выборочная рубка интенсивностью 5–15 %															
10С+Б, 95–115, Бр, $А_2$	4,30	0,13	5,18	0,13	0,13	1,60	3,04	1,07	0,15	4,01	0,13	1,25	0,00	0,13	21,25
Пожары сильной интенсивности 3-летней давности, выборочная рубка интенсивностью 5–15 %															
10С+Б, 95–115, Бр, $А_2$	4,92	0,00	9,23	0,77	1,23	2,00	3,85	3,08	1,69	4,92	1,38	3,08	3,08	0,92	40,15
Пожары средней интенсивности 3-летней давности															
6С4Б+Е…10С, 59–62, Бр, Сл, $В_2$, $С_3$	5,33	0,27	5,60	0,40	0,27	1,73	6,13	0,93	0,00	3,87	0,80	1,60	0,13	3,33	30,40
Пожары средней интенсивности 4-летней давности															
6С4Б+Е…10С, 59–62, Бр, Сл, $В_2$, $С_3$	5,69	0,62	13,54	0,92	1,69	2,92	9,85	2,00	1,23	14,77	0,46	4,77	3,08	4,77	66,31
Пожары сильной интенсивности 2–3-летней давности, сплошная рубка															
– – – –	3,84	0,00	0,29	0,00	0,46	6,15	5,30	0,69	0,69	0,59	0,27	0,84	0,00	2,46	21,58
Фоновые пробные площади, заложенные при изучении влияния пожаров															
9С1Б…10С+Б, 56–95, Бр, $А_2$	9,23	0,15	7,90	1,59	2,51	4,36	4,46	3,54	1,08	10,10	0,92	3,64	1,49	4,72	56,05
Пожары сильной интенсивности 2–5-летней давности															
10С+Б…10С, 51–90, Бр, $А_2$	6,01	0,08	5,22	0,74	0,30	2,58	5,92	1,67	0,23	3,94	0,92	2,27	0,31	1,83	32,00
Выборочная рубка годичной давности интенсивностью 15…20 %															
8С1Е1Б…10С, 85–90, Бр, $В_2$	1,63	0,00	0,74	0,36	0,09	0,55	1,99	1,01	2,70	6,56	0,55	2,41	0,63	0,53	19,60
Сплошная рубка годичной давности															
– – – –	6,86	0,29	0,86	0,00	0,00	2,57	9,43	3,14	0,29	12,86	0,00	2,57	0,86	1,71	42,29
Фоновые пробные площади, заложенные при изучении влияния рубок леса															
8С1Е1Б…10С, 85–90, Бр, Сл, $В_2$, $С_2$	9,15	0,07	9,55	0,82	1,45	3,22	6,30	5,04	5,31	10,15	1,07	2,70	3,29	3,09	61,30
I стадия рекреационной дигрессии															
9С1Б+Е, 10СедБ, 60–79, Бр, Орл, $В_2$, $С_2$	11,07	3,70	13,30	0,43	0,43	1,60	11,33	2,73	0,67	10,23	1,23	1,83	0,77	2,37	62,03
II стадия рекреационной дигрессии															
10С+Е+Б…10С+С, 60–72, Бр, Орл, $В_2$, $С_2$	10,56	2,38	10,15	0,80	1,15	2,52	16,49	3,24	0,64	8,51	2,52	2,46	1,13	2,28	64,84
III стадия рекреационной дигрессии															
10СедБ …10С, 50–61, Бр, Лщ, Кс, $В_2$, $Д_2$	6,38	0,27	5,62	0,33	2,42	3,46	8,86	1,53	1,24	3,62	0,51	5,26	3,15	0,27	43,09

пожара. Отмечено, что состояние жизнеспособной части древостоя сосны в связи с давностью пожара улучшается.

На основе анализа коэффициентов экологических факторов по Г. Элленбергу выявлено, что после пожара увеличивается про-

ективное покрытие требовательных к освещенности видов растений, а также возрастает обеспеченность минеральным азотом почвы, однако после низовых устойчивых пожаров почва сохраняет кислые свойства (коэффициент выраженности фактора 2,7–3,3).

Почвенно-зоологические исследования послепожарных изменений комплекса мезофауны производились в сравнении с данными пробных площадей, заложенных в не затронутых пожарами частях выделов (фоновые ПП).

Наибольшая общая плотность мезофауны характерна для фоновых ПП – 56 шт./м^2 (таблица) – при вариации показателя от 35,4 до 68,3 шт./м^2. Влияние пожаров выявлено, прежде всего, в снижении общей численности беспозвоночных. Изменения фауны почв, происходящие после пожаров, в значительной степени зависят от интенсивности и давности пожара. По истечении 3 лет после пожаров средней интенсивности общая плотность мезофауны составила 30,4 шт./м^2, спустя 4 года – 66,3 шт./м^2. Спустя 2–5 лет после сильных пожаров плотность составила 9,7–47,7 шт./м^2, увеличиваясь по мере увеличения давности. Более сильная интенсивность пожара приводит к большему снижению общей плотности мезофауны.

Наряду со снижением общей плотности после пожаров происходит уменьшение количества групп мезофауны. Данный показатель также находится в зависимости от интенсивности и давности пожара. На фоновых ПП зафиксировано 10…15 групп мезофауны. Для пожарищ средней интенсивности трехлетней давности характерно наличие представителей 11–12 групп, четырехлетней давности – 14 групп. На пробных площадях спустя 2–5 лет после сильных устойчивых пожаров отмечено 7–11 групп почвенной мезофауны.

Сравнительный анализ данных проводился также по соотношению трофических классов мезофауны. Биологически устойчивые, не поврежденные вредителями и не ослабленные болезнями насаждения фоновых ПП создают условия для преобладания зоофагов в 3,6 раз над сапрофагами и фитофагами (3,6:1,0:1,0). Учет мезофауны на площадях, нарушенных пожарами средней интенсивности давностью 3 года, свидетельствует об увеличении количества зоофагов с небольшим изменением доли сапрофагов (5,3:1,0:0,9), однако через 4 года после пожаров средней интенсивности доля зоофагов снижается почти на 40 % и сапрофагов – вдвое, по сравнению с показателями фоновых ПП (2,1:1,0:0,5).

Результаты обследования очагов сильных пожаров давностью 2–5 лет зафиксировали снижение доли сапрофагов до 0,6 при увеличении доли зоофагов по сравнению с показателями фоновых ПП (4,7:1,0:0,6).

Пожары вносят изменения в структуру мезофауны, заключающиеся в перераспределении роли отдельных систематических групп. После пожаров средней интенсивности 3–4-летней давности на первый план, наряду с личинками щелкунов, выходят представители хищных губоногих многоножек при уменьшении доли пауков, место которых занимают муравьи.

В комплексе почвенных беспозвоночных спустя 2–5 лет после сильных пожаров доминантами становятся типичные поверхностно обитающие подвижные хищники – пауки (18,8 % от общей плотности почвенной мезофауны) и муравьи (18,5 %). Аналогичное место в численной иерархии сообщества занимают губоногие многоножки. Субдоминантами становятся щелкуны (12,3 %).

Для пожаров разной интенсивности и давности характерна резко уменьшающаяся роль личинок долгосиков (до 5 раз), исчезновение куколок совок, снижающаяся доля стафилинов (почти в 1,5 раза), а также небольшое увеличение доли двукрылых.

Значительные изменения на сложившиеся в лесах потоки энергии оказывают проводимые рубки леса. Любая рубка древостоя изменяет экологические условия в результате изреживания древостоя. Кроме этого, рубки леса с применением механизированной трелевки приводят к нарушению напочвенного покрова и верхних слоев почвы агрегатами.

Полученные коэффициенты выраженности экологических факторов по Г. Элленбергу свидетельствуют о том, что проведение рубок приводит к снижению влажности почвы на величину до 14 %, увеличению содер-

жания минерального азота до 41 % по сравнению с фоновыми ПП, а также сохранению кислых свойств почв.

Нами производился учет почвенной мезофауны на делянках выборочных рубок леса интенсивностью 15–20 % по запасу годичной давности, проводимых в бесснежный период. Для учета изменения светового и теплового режимов половина почвенных проб заложена вблизи пней, другая – для учета влияния нарушения подстилки, структуры напочвенного покрова и верхних горизонтов почвы – вдоль колеи технологических коридоров после трелевки колесными тракторами. Для проведения сравнительного анализа заложены фоновые пробные площади в частях выделов, не затронутых рубкой.

На фоновых ПП отмечена самая высокая общая плотность почвенных беспозвоночных – 61,3 шт./м^2 (таблица) – с вариацией показателя от 39,1 до 85,7 шт./м^2. Количество учтенных систематических групп мезофауны достигает 12–15.

В структуре сообществ мезофауны насаждений, не испытавших воздействие лесных пожаров, а также после проведения рубок леса (как выборочных, так и сплошных) зафиксировано преобладание щелкунов (16,5–18 % от общей плотности почвенной мезофауны), что является значимым отличием в сравнении с постпирогенными сообществами.

Наряду с типичными обитателями почвы на фоновых ПП доминируют пауки (14,9–16,5 %). Субдоминантами в данных условиях являются губоногие многоножки (14,1–15,6 %). Значительный вклад в численную структуру сапрофагов вносят представители малощетинковых червей и лесных тараканов (до 7,3 и 8,4 % соответственно). Среди хищников близкие показатели имеют стафилины и жужелицы (до 7,8 и 8,2 %). Редкими видами являются представители семейства совок и отряда двупарноногих многоножек (менее 1,0 %).

Сильное уплотнение верхних горизонтов почвы и нарушение ее структуры, частичное исчезновение живого напочвенного покрова до появления минерализованного слоя почвы, стремительное изменение светового режима и влажности приводят к уничтожению естественных условий существования поверхностно обитающих представителей мезофауны. Об этом свидетельствует резкое сокращение общей плотности почвенной мезофауны до 19,6 шт./м^2, представленной 10–12 систематическими группами на ПП в местах проведения выборочных рубок интенсивностью 15–20 %. Вклад в общую плотность беспозвоночных, учтенных как вблизи пней, так и вдоль колеи, равнозначный. На данных ПП на долю щелкунов и долгоносиков приходится почти половина общей численности мезофауны (46,9 %), что является следствием возрастающей роли фитофагов. В данных условиях в соотношении трофических классов наблюдается кардинальное изменение, по сравнению с фоновыми ПП, заключающееся в значительном уменьшении роли зоофагов и низкой доле сапрофагов (0,8:1,0:0,1). Данное соотношение характерно в отдельности для сообществ мезофауны вблизи пней и вдоль колеи. Среди зоофагов, учтенных вблизи пней, преобладают муравьи. Среди зоофагов, учтенных вдоль колеи, преобладают пауки.

Сплошные рубки леса, наряду с лесными пожарами, являются одним из мощных антропогенных факторов динамики лесных сообществ, обусловливающих трансформацию структурных компонентов лесных экосистем и нарушение их функциональной активности.

После проведения сплошной рубки общая плотность мезофауны более чем в 2 раза превышает плотность ее после выборочных рубок интенсивностью 15–20 %, доля фитофагов в трофической структуре также вдвое превышает аналогичный показатель участков после выборочных рубок при сохранении низкой роли сапрофагов. При учете мезофауны на площади сплошной рубки, не затронутой пожаром, отмечена общая плотность мезофауны 42,3 шт./м^2 в составе включающей 12 систематических групп.

Анализ полученных данных свидетельствует о связи динамики мезофауны с видом проводимых рубок леса.

Для изучения влияния комплекса антропогенных воздействий почвенно-зоологические исследования проводились в насаждениях, поврежденных пожарами с последующим проведением рубок леса. ПП закладывались в очагах сильных устойчивых низовых летних пожаров 2–3-летней давности, являющихся разработанными лесосеками выборочных и сплошных рубок.

На пожарищах с последующим проведением выборочных рубок интенсивностью 5–15 % в 95–115-летних древостоях общая плотность почвенной мезофауны составляет 21,25–40,15 шт./м^2, количество учтенных групп мезофауны достигает 13. Более низкие показатели характерны для участков, пройденных пожарами с последующим проведением сплошных рубок: 21,6 шт./м^2 и 10 групп соответственно.

Воздействие сильного низового пожара и сплошной рубки приводит к резкому увеличению доли зоофагов до почти одиннадцатикратного преобладания над фитофагами и росту доли сапрофагов (10,9:1,0:1,8). В сообществе доминируют активные представители мезофауны – жужелицы и муравьи (28,5 и 24,6 % соответственно). Увеличение плотности сапрофагов связано с нарастанием численности тараканов. Из обитателей почвенных горизонтов наибольшая доля участия в сообществе проявилась у личинок долгоносиков, количественно преобладающих над щелкунами.

Одна из наиболее значимых в почвообразовании групп почвенной мезофауны – люмбрициды – в исследовании представлена подстилочными и земляными формами. На фоновых ПП их общая численность достигает 7,3 % от всей почвенной мезофауны. В результате воздействия сильных устойчивых низовых пожаров 2–5-летней давности, а также при влиянии устойчивых низовых пожаров средней интенсивности 3–4-летней давности плотность данной группы составляет 3,2 % и 2,9 % соответственно. Полному исчезновению представителей подстилочной формы способствует проведение сплошных рубок. При этом наличие очага пожарища 2–3-летней давности, предшествующего проведению сплошной рубки, создает условия для жизнедеятельности земляных форм дождевых червей (2,1 %), в то время как подстилочные формы отсутствуют. Общая плотность люмбрицид после выборочных рубок леса интенсивностью 5–15 % меньше, чем на ПП пожарищ. Влияние комплекса факторов (проведение выборочной рубки интенсивностью 5–15 % после сильного пожара 2–3-летней давности) приводит к увеличению плотности дождевых червей по сравнению с ПП в местах проведения выборочных рубок, но не выше показателя плотности фоновых ПП. Таким образом, наличие очага пожара прошлых лет сказывается на увеличении плотности люмбрицид (в сравнении с показателями ПП в местах проведения рубок леса без пожаров) за счет роста плотности земляных форм после проведения сплошной рубки леса и увеличения подстилочных и земляных форм после проведения выборочных рубок.

На лесные экосистемы и их функциональную организацию оказывает влияние все возрастающая рекреационная нагрузка, особенно в зеленых зонах промышленных центров. Пребывая в лесу в процессе рекреационной деятельности, человек изменяет природную среду. Даже не причиняя видимого и явно ощутимого вреда биогеоценозу (накопление отходов, сбор растений, нарушение целостности покровов древесных побегов), человек влияет на состояние насаждений, увеличивая тропиночную сеть. По мере увеличения рекреационной нагрузки в лесу происходит вытаптывание живого напочвенного покрова, оттаптывание корней деревьев, повреждение и уничтожение подроста и подлеска, уплотнение лесной подстилки и другие негативные процессы, начинается рекреационная дигрессия. В ходе ее нарушается устойчивость и целостность лесных насаждений, разрушаются экологические связи.

Исследования М.Т. Лаврова в Брянском лесном массиве показали, что воздействие рекреации сопровождается значительными количественными и качественными изменениями почвенно-зоологических комплексов лесных биогеоценозов. Рекреация воздействует количественно – разрушает почвен-

но-зоологические комплексы, снижая общее число систематических групп и популяций, нарушает соотношение трофических цепей и качественно нарушает филогенетически сложившиеся взаимосвязи и взаимозависимости фитофагов, сапрофагов и зоофагов, нарушая их саморегуляцию и процессы общего метаболизма [8, 9]. Наибольшее индикационное значение имеют широко распространенные виды, для которых фактор рекреационного воздействия оказывается непосредственно влияющим и лимитирующим [10].

Нами прослежено влияние рекреационной деятельности на динамику почвенной мезофауны на 9 ПП, отражающих стадии рекреационной дигрессии от слабой до предельно допустимой.

На исследованных ПП мезофауна древостоев первой стадии рекреационной дигрессии представлена 15 систематическими группами при общей плотности 62 шт./м^2. Условия второй стадии рекреационной дигрессии уменьшают количество представленных групп до 13 при сохранении высокой общей плотности (64,8 шт./м^2). Повреждение деревьев, уменьшение мощности подстилки, нарушение ЖНП на третьей стадии дигрессии приводит к сокращению общей плотности до 43,1 шт./м^2.

Трофическая структура мезофауны на первой (3,3:1,0:0,5) и третьей (3,4:1,0:0,4) стадиях дигрессии мало отличается: более чем трехкратное преобладание зоофагов над фитофагами при малой доле сапрофагов. Различия отмечены в распределении групп внутри сообщества. При первой стадии рекреационной дигрессии доминирующими среди зоофагов являются хилоподы (21,4 %), заметна роль кивсяков (6,0 %), преобладающих среди сапрофагов. Среди фитофагов-корнегрызов личинки щелкунов доминируют (16,5 %). На третьей стадии дигрессии на первый план выходят муравьи и пауки (20,6 % и 14,8 %), троекратно увеличивается доля личинок двукрылых (12,2 %), доля щелкунов уменьшается вдвое при сохранении ведущей роли среди фитофагов. Земляные черви являются наиболее значимыми в составе сапрофагов (5,6 %).

Показатели плотности систематических групп почвенной мезофауны на второй стадии рекреационной дигрессии являются промежуточными между данными первой и третьей стадий. Так же, как и для первой стадии, характерно преобладание щелкунов среди фитофагов. Среди сапрофагов кивсяки, наряду с тараканами, имеют наибольшие доли участия. Структура зоофагов повторяет данные, полученные при третьей стадии дигрессии, с замещением роли двукрылых стафилинами. Для второй стадии рекреационной дигрессии характерно увеличение доли зоофагов до четырехкратного преобладания над фитофагами.

Структура трофических классов почвенной мезофауны тесно связана с изменениями в результате антропогенных воздействий. Поэтому индикатором интенсивности и направленности воздействий могут выступать отдельные систематические группы и соотношение трофических групп мезофауны. Щелкуны имеют наибольшую численность среди всех учтенных групп: на фоновых пробных площадях их доля составляет 16,5–18,0 % от всей почвенной мезофауны, после проведения выборочных и сплошных рубок леса их участие почти вдвое больше – 30,4–33,2 %. Влияние пожаров различной интенсивности и давности, а также рекреационная дигрессия проявляются в замещении позиций щелкунов группами типичных зоофагов. Группа многоножек также чувствительна к различным воздействиям: в отличие от пожаров и рекреационной деятельности человека как выборочные, так и сплошные рубки приводят к значительному снижению доли многоножек в общей численности населения почвенной мезофауны.

Выводы

1. Важное практическое значение имеет понимание реакции почвенных беспозвоночных на изменения условий среды. Комплекс почвенной мезофауны, весьма чувствительный к изменениям большинства экологических факторов, выступает чувствительным и информативным индикатором состояния лесных сообществ и может быть

использован при диагностике состояния лесных биогеоценозов. Антропогенные трансформации лесных экосистем, как правило, носят регрессивный характер.

2. Рассмотренные факторы влияния человека на лесные сообщества приводят к однонаправленным изменениям почвенной мезофауны: уменьшению плотности популяций, снижению таксономического разнообразия, а также нарушению трофической структуры комплекса.

3. Влияние пожаров различной интенсивности на почвенную мезофауну неравнозначно. В результате пожаров средней интенсивности уменьшение общей плотности (по сравнению с показателем фоновых ПП) происходит почти на 30 % меньше, чем после сильных устойчивых пожаров. Сокращение количества систематических групп мезофауны прямо пропорционально увеличению интенсивности пожара: после сильных пожаров оно происходит на 4–8 групп, после пожаров средней интенсивности – на 1–3.

4. Наименьшие значения общей плотности поселения почвенной мезофауны зафиксированы после проведения выборочных рубок интенсивностью 15–20 %. Сплошная рубка древостоя также, как и выборочная, приводит к уменьшению систематического разнообразия, но меньше (на 37 %) изменяет общую плотность в сравнении с фоновыми условиями.

5. Одновременное влияние двух факторов преобразования лесной среды (пожары и рубки леса) приводит к наибольшему сокращению плотности мезофауны в сравнении с влиянием отдельных воздействий (кроме выборочных рубок леса интенсивностью 15…20 %). В данном случае более сильной интенсивности пожара на ПП соответствует меньшая общая плотность почвенной мезофауны. Наибольшие изменения в трофической структуре влечет за собой комплекс факторов (сильный пожар и сплошная рубка). При этом количество зоофагов увеличивается более чем в три раза, а плотность сапрофагов вырастет в 1,8 раз (по сравнению с показателями фоновых ПП).

6. Воздействие рекреационной деятельности человека на общую численность мезофауны начинает проявляться с третьей стадии рекреационной дигрессии, когда происходит сокращение плотности населения на 30 и 33 % в сравнении с первой и второй стадиями дигрессии соответственно. Уменьшение количества систематических групп мезофауны фиксируется уже на второй стадии дигрессии.

Библиографический список

1. Мишустин, Е.Н. Почвенные организмы как компоненты биогеоценоза / Е.Н. Мишустин. – М.: Наука, 1984. – 243 с.
2. Козловская, Л.С. Почвенные беспозвоночные как фактор формирования почвенного биогеоценоза / Л.С. Козловская // Проблемы почвенной зоологии: тез. докл. – Киев, 1981. – С. 101.
3. Гиляров, М.С. Почвенные беспозвоночные как индикаторы почвенного режима и его изменений под влиянием антропогенных факторов / М.С. Гиляров // Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. – М., 1982. – С. 8–11.
4. Булохов, А.Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации / А.Д. Булохов; БГПУ. – Брянск, 1996. – 104 с.
5. Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований: Приложение 3 к Приказу Рослесхоза от 29.12.2007 г. N 523. – Режим доступа: http:// base.consultant.ru/ cons/ cgi/ online.cgi?req =doc;base=LAW; n=129394.
6. Алексеев, В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев [Текст] / В.А. Алексеев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.
7. Дорохов, К.В. Динамика почвенной мезофауны сосняков при воздействии низовых пожаров разной давности и интенсивности / К.В. Дорохов // Инновац. наука и современное общество: сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. – Ч. 2. – С. 20–23.
8. Лавров, М.Т. Влияние рекреационных нагрузок на почвенно-зоологические комплексы мезофауны сосновых биогеоценозов и экосистем / М.Т. Лавров // Проблемы почвенной зоологии: тез. докл. – Киев, 1981. – С. 117.
9. Лавров, М.Т. Фауна лесных почв и пути ее регулирования / М.Т. Лавров. – М.: Лесная пром-сть, 1968. – 132 с.
10. Мелецис, В.П. Индикационное значение почвенных беспозвоночных в условиях индустриального загрязнения / В.П. Мелецис, В.В. Спунгис, М.Т. Штернбергс // Проблемы почвен. зоологии: тез. докл. – Киев, 1981. – С. 137.

INFLUENCE OF THE ANTHROPOGENIC IMPACTS ON THE DYNAMICS OF TROPHIC STRUCTURE AND DENSITY OF MESOFAUNA

Dorokhov K.V., Graduate student of Department. forest protection and game management Bryansk State Academy of Engineering and Technology, Shelukho V.P., Doctor of Agricultural Sciences, Department of Forest Protection and game management Bryansk State Academy of Engineering and Technology

dorokhovkirill@mail.ru, sheluhovp@rambler.ru

Bryansk State Academy of Engineering and Technology 241037, Bryansk region, Bryansk, ave. Stanke Dimitrov, 3

Soil mesofauna is considered as a complex of medium sized soil animals, being involved in all stages of the cycle of matter and playing a huge role in process of soil formation. Changes of structure, chemical and physical soil properties leads to the variations of density and disruption of trophic structure of soil animal. Thereby the soil mesofauna is considered to be one of the best bioindicators of the anthropogenic impacts on forest ecosystems. Researches were carried out during the 2010–2013 field seasons on the territory of three precinct forestries of the Bryansk and Kaluga regions. The influence of forest fires, felling operations and recreation on the dynamics of soil mesofauna was studied. It has been found that considered human impacts on forest communities lead to such changes in soil mesofauna as: reduction of the population density, decrease of taxonomic diversity, as well as damage of the trophic structure of soil mesofauna complex. Changes of soil fauna occurring after fires largely depend on the intensity and remoteness of the fire. Data analysis shows the relationship between the dynamics of the composition, trophic structure of mesofauna and the form of conducted felling operations. During the violation of the vegetation cover first there occurs the decline of the mesofauna population and then the decrease in population and the disappearance of a number of animals groups inhabiting the litter and surface soil layers. Among considered anthropogenic impacts a complex of influencing factors causes the greatest changes in the trophic structure.

Key words: anthropogenic impact on forest ecosystems, soil mesofauna, trophic structure, population density.

References

1. Mishustin E. *Pochvennye organizmy kak komponenty biogeotsenoza* [Soil organisms as components of the biogeocenosis]. Moscow, Nauka, 1984. 243 p.
2. Kozlovskaya L. *Pochvennye bespozvonochnye kak faktor formirovaniia pochvennogo biogeotsenoza* [Soil invertebrates as a factor of formation of soil ecosystem] *Problemy pochvennoi zoologii: tezisy dokladov* [Problems of soil Zoology: abstracts of papers]. Kiev, 1981. pp.101.
3. Gilyarov M. *Pochvennye bespozvonochnye kak indikatory pochvennogo rezhima i ego izmenenii pod vliianiem antropogennykh faktorov* [Soil invertebrates as indicators of soil regime and its changes under the influence of anthropogenic factors] *Bioindikatsiia sostoianiia okruzhaiushchei sredy Moskvy i Podmoskov'ia* [Bioindication of environment in Moscow and Moscow region]. Moscow, 1982. pp. 8–11.
4. Bulokhov A. *Ekologicheskaia otsenka sredy metodami fitoindikatsii* [Ecological assessment of the environment by phytoindication methods]. BGPU. Bryansk, 1996. 104 p.
5. *Rukovodstvo po planirovaniiu*, *organizatsii i vedeniiu lesopatologicheskikh obsledovanii:* Prilozhenie 3 k Prikazu Rosleskhoza ot 29.12.2007 N 523 [A guide to planning, organization and management of forest pathology inspection: Annex 3 to Order of Rosleskhoz from December 29, 2007, N 523]. Available at: http:// base.consultant.ru/ cons/ cgi/ online.cgi?req =doc;base=LAW; n=129394.
6. Alekseev V. *Diagnostika zhiznennogo sostoianiia derev'ev i drevostoev* [Diagnosis of trees and stands conditions]. Lesovedenie, 1989. № 4. pp. 51-57.
7. Dorokhov K. *Dinamika pochvennoi mezofauny sosniakov pri vozdeistvii nizovykh pozharov raznoi davnosti i intensivnosti* [Dynamics of the soil mesofauna in forests under the influence of ground fires of various remoteness and intensity] *Innovatsmonnaia nauka i sovremennoe obshchestvo: sbornik statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Collection of articles of the international scientific-practical conference Innovative science and modern society]. Ufa: RITs BashGU, 2013. V. 2. pp. 20-23.
8. Lavrov M. *Vliianie rekreatsionnykh nagruzok na pochvenno-zoologicheskie kompleksy mezofauny sosnovykh biogeotsenozov i ekosistem* [The influence of recreational loads on soil-zoological complexes of mesofauna in pine biogeocenoses and ecosystems] *Problemy pochvennoi zoologii: tezicy dokladov* [Problems of soil Zoology: abstracts of reports] Kiev, 1981. 117 p.
9. Lavrov M. *Fauna lesnykh pochv i puti ee regulirovaniia* [The fauna of forest soils and the ways of its regulation]. Moscow: Lesnaia promyshlennost', 1968. 132 p.
10. Meletsis V. *Indikatsionnoe znachenie pochvennykh bespozvonochnykh v usloviiakh industrial'nogo zagriazneniia* [Indicative value of soil invertebrates under industrial pollution] *Problemy pochvennoi zoologii: tezisy dokladov* [Problems of soil Zoology: abstracts of reports]. Kiev, 1981. pp. 137.

ОПЫТ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫРАБОТАННОГО ПЕСЧАНОГО КАРЬЕРА

А.И. ЧУДЕЦКИЙ, *асп. КГТУ, науч. сотр. филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская лесная опытная станция»,*
В.В. ШУТОВ, *проф. каф. лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств КГТУ, член-корр. РАЕН, д-р биол. наук,*
Н.В. РЫЖОВА, *доц. каф. лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств канд. биол. наук КГТУ*

a.chudetsky@mail.ru, ienjdfy@mail.ru, ienjdfy@mail.ru
ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская лесная опытная станция», 156605, просп. Мира, 134, Кострома, Россия
ФБГОУ ВПО «Костромской государственный технологический университет», 156005, ул. Дзержинского, 17, Кострома, Россия

В статье рассматривается современное состояние 40-летнего соснового насаждения, сформировавшегося в бывшем песчаном карьере завода силикатного кирпича после его полной выработки. Сосновая роща является озелененной территорией общего пользования и служит местом отдыха городского населения. Проведены таксационные исследования и дана оценка деревьев по росту. Приводится оценка рекреационной нарушенности территории и санитарного состояния насаждения. В составе древостоя единично встречается береза, растущая вдоль дороги. Подрост и подлесок отсутствуют. Имеются единичные экземпляры валежа. Оценка состояния насаждения, проведенная по классификации Густава Крафта, показала, что почти половина деревьев относится к прегосподствующим и господствующим. Умеренно развитые деревья составляют 27 % от всего количества обследованных. Сделан вывод о необходимости проведения рубок ухода с удалением до 40 % угнетенных деревьев. Предложена схема рубок ухода в два этапа, что позволяет уменьшить внедрение мелколиственных пород в состав сосняка. Категория озелененной территории общего пользования предполагает немалые рекреационные нагрузки. По степени рекреационной нагрузки сосняк находится на 3-й стадии дигрессии. Большинство деревьев относятся к категории ослабленных. Повышению устойчивости насаждения к рекреационным нагрузкам будет способствовать проведение санитарных рубок. На исследуемом объекте имеется участок, пострадавший от урагана 2008 г. Площадь участка покрыта поломанными стволами сосны (12–16 тыс. шт. на га), количество остолопов составляет 400–500 шт. на га, сохранившихся деревьев сосны – от 10 до 40 шт. на га. За прошедшие годы здесь появился хорошо развитый подрост сосны и березы. Лесная рекультивация выработанного песчаного карьера выполнена успешно, сформировавшееся сосновое насаждение требует рубок ухода, а сама территория благоустройства и санитарной очистки.

Ключевые слова: лесная рекультивация, песчаный карьер, сосна, береза, состояние, городские леса, рубки ухода, рекреационная нагрузка.

При открытой разработке месторождений образуются карьеры. Это одна из категорий индустриальных пустырей, требующих рекультивации в земли различного назначения. Одним из способов ликвидации таких пустырей является лесная рекультивация, или посадка сеянцев, обычно сосны, после грубой планировки [1].

На разработанных землях за счет нарушения режима почвенно-грунтовых вод усиливается эрозия и другие разрушительные процессы [2]. Леса, создаваемые на нарушенных землях, могут иметь лесохозяйственное назначение, выполнять почвозащитную, водоохранную и рекреационную функции, играть большую роль в улучшении санитарно-гигиенических условий среды. Эти задачи лесной рекультивации реализуются в конкретных районах по-разному, в зависимости от лесорастительных условий, с учетом географических, социальных и экономических показателей [3].

На территории Заволжского округа г. Костромы имеется выработанный песчаный карьер глубиной 10–15 м, результат хозяйственной деятельности по добыче песка заводом силикатного кирпича. Площадь его составляет 29,26 га [4]. Оставшийся слой песка по мощности варьирует от 0,2 до 0,8 м. Работы на карьере были закончены в 1972 г. и сразу возник вопрос о его лесной рекультивации, которая была проведена в 1976–1977 гг. путем посадки саженцев сосны на площади 25 га. Для этого создали микроповышения высотой до 0,5 м. В настоящее время здесь сформировалось мертвопокровное искусственное сосновое насаждение с расстоянием между рядами 2 м, а между деревьями в ряду – 1 м (рис. 1).

Постановлением главы г. Костромы от 15 июля 2008 г. № 1290 «Об утверждении

Таблица 1

Характеристика пробных площадей
Characteristic plots

№ проб. площади	Состав древостоя	Число деревьев, шт./га	Возраст, лет	Полнота	Запас, м³/га	Наличие самосева
Неповрежденное насаждение						
1	10С	2409	39	0,9	154	нет
2	10С+Б	2356	37	0,8	126	нет
3	10С	3301	38	0,9	172	нет
Насаждение, поврежденное сильным ветром						
1Б	8С1Б1Ос	1334	6	–	–	С – 3, Б – 1, Ос – 0,5 тыс. шт./га, высотой 1–3 м
2Б	8Б1С1Ос	986	5	–	–	С – 2, Б – 4, Ос – 1 тыс. шт./га, высотой 1–3 м
3Б	4С6Б	1789	6	–	–	С – 3, Б – 5, Ос – 1 тыс. шт./га, высотой 1–3 м

перечня озелененных территорий города Костромы» [5] в целях улучшения экологической ситуации в городе, осуществления контроля за использованием, охраной, защитой и восстановлением зеленых насаждений, на основании Закона Костромской области от 05.10.2007 № 194-4-ЗКО «О зеленых насаждениях населенных пунктов Костромской области», постановления Главы города Костромы от 03.12.2007 № 2978 «Об утверждении порядка использования, охраны, защиты и восстановления зеленых насаждений на территории города Костромы», руководствуясь статьей 35, частью 1 статьи 47 Устава муниципального образования сосновая роща в песчаном карьере Заволжского округа отнесена к озелененной территории общего пользования.

Цель нашей работы – определить современное состояние насаждений на месте выработанного песчаного карьера и разработать предложения по повышению их устойчивости к рекреационным нагрузкам.

С этой целью в разных местах карьера на основе материалов маршрутных обследований было заложено 6 пробных площадей размером 50×50 м. Выбирали наиболее типичные и наиболее широко распространенные участки насаждений с учетом степени антропогенного и природного воздействия. В качестве природного аномального воздействия исследовали участок, поврежденный в 2008 г. сильным ветром (до 20 м/с, по данным метеостанции), вызвавшим обширный бурелом. При подборе пробных площадей использовали методические указания А.А. Юнатова [6]. Конфигурация пробных площадей квадратная. На каждой учетной площадке определяли таксационные показатели древостоя методом сплошного перечета деревьев по породам [7]. Обмер диаметра стволов деревьев выполняли мерной вилкой ВМ-1 на высоте груди (1,3 м от шейки корня), высоту – высотомером-угломером лесным (ВУЛ-1). Возраст деревьев определяли с помощью возрастного бурава (Finland-N.L.4). Санитарное состояние деревьев оценивали визуально по шкале категорий состояния деревьев [8]. Оценку деревьев по росту проводили методом Густава Крафта [9]. Рекреационную нарушенность насаждений выявляли по состоянию живого напочвенного покрова и количеству поврежденных деревьев методом определения стадии дигрессии [10]. Характеристика пробных площадей приведена в табл. 1.

Неповрежденные насаждения отличаются однообразием таксационных показателей. В составе древостоя пробной площади 2 единично встретилась береза, растущая по опушке вдоль дороги. Подрост и подлесок отсутствуют. Встречаются единичные экземпляры валежа.

В целом состояние посадок хорошее. Оценка состояния насаждения показала, что почти половина (46 %) деревьев относится к I и II классу, т.е. являются прегосподствующими и господствующими (рис. 2). Умеренно развитые деревья (III класс) составляют 27 %

от всего количества обследованных. Занимают свободные просветы в пологе леса 13 % деревьев, ниже общего полога – 8 %, с еще живой кроной – 4 %, с усохшей кроной – 2 %.

Рис. 1. Культуры сосны в бывшем песчаном карьере
Fig. 1. Cultures pine in the former sand quarry

Рис. 2. Распределение деревьев по росту по классификации Густава Крафта
Fig. 2. Distribution tree growth classification Gustav Krafft

Рис. 3. Участок насаждения после урагана 2008 г.
Fig. 3. Plot plantings after the hurricane in 2008

В целом, по результатам оценки состояния насаждения по классификации Крафта можно сделать вывод о необходимости проведения рубок ухода и удалении при разреживании древостоя до 40 % угнетенных деревьев. Однако проводить рубки ухода следует в два этапа:

– первый этап – с интенсивностью 20 %, удалив сначала все деревья IVб, Va, Vб классов Крафта и 6 % особо неблагонадежных деревьев класса IVa;

– второй этап – также с интенсивностью 20 % через 10 лет, удалив все оставшиеся деревья IVa класса и часть деревьев III класса.

Такая схема рубок ухода позволяет уменьшить степень внедрения в состав соснянка мелколиственных пород – березы и осины, которые в настоящее время из-за недостатка света встречаются только по опушкам насаждения. Силу их конкуренции с сосной можно проследить по поврежденному сильным ветром участку насаждения (рис. 3).

В настоящее время участок, пострадавший от сильного ветра, покрыт 5–6-летним подростом березы, сосны и осины, местами в виде насаждения с сомкнутым пологом. В то же время имеется большое количество самосева березы (до 5 тыс. шт./га), сосны (до 3 тыс. шт./га) и осины (до 1 тыс. шт./га). Высота его 10–15 см. Единично встречается подрост ивы бредины.

Площадь участка покрыта поломанными стволами сосны (12–16 тыс. шт./га), между которыми прекрасно себя чувствует подрост. Количество остолопов составляет 400–500 шт./га, сохранившихся деревьев сосны – от 10 до 40 шт./га.

Следовательно, высокополнотное насаждение сосны препятствовало появлению в его составе березы и осины. Возможно, причина такого явления связана с отсутствием или малой мощностью гумусового горизонта. После окончания разработки карьер 5 лет оставался индустриальным пустырем, однако всходов березы и осины почти не отмечалось, хотя на его восточном берегу до сих пор произрастает старовозрастный смешанный лес, который мог быть источником семян. Сейчас мощность грубого гумуса варьирует от 1 до

3 см, что благоприятно сказывается на появлении самосева сосны, березы и осины.

Категория озелененной территории общего пользования предполагает немалые рекреационные нагрузки. Население собирает здесь грибы, выезжает на пикники, проводятся спортивные игры. Туристический комплекс «Азимут» построил в 2000 г. лыжероллерную трассу с освещением в темное время суток. В настоящее время сосновая роща в карьере – любимое место тренировок для лыжников и легкоатлетов. Антропогенная нагрузка негативно проявляется в виде засорения территории бытовым мусором, механических повреждений деревьев, кострищ и даже небольшой по площади гари. По степени рекреационной нарушенности насаждение находится на 3-й стадии дигрессии. Количество стволов с механическими повреждениями на всех пробных площадях до 10 %. Большинство деревьев относятся ко 2-й категории санитарного состояния – ослабленные.

Таким образом, лесная рекультивация выработанного песчаного карьера выполнена успешно, сформировавшееся сосновое насаждение требует рубок ухода, а сама территория благоустройства и санитарной очистки.

Библиографический список

1. Ерохина, В.И. Озеленение населенных мест : справочник / В. И. Ерохина [и др.] ; под ред. В. И. Ерохиной. – М.: Стройиздат, 1987. – 480 с.
2. Рекультивация песчаных карьеров в Рощинском леспромхозе. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1981. – 6 с.
3. Васильева, Н.П. Методы и направления лесовосстановления в техногенных ландшафтах / Н.П. Васильева, Э.В. Каар // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. – М.: Наука, 1978. – С. 159–165.
4. Особо охраняемые природные территории Костромской области. – Кострома, 2002. – 114 с.
5. Постановление Главы города Костромы от 15.07.2008 г. N 1290 (ред. от 02.09.2011) «Об утверждении Перечня озелененных территорий города Костромы».
6. Юнатов, А.А. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей / А.А. Юнатов // Полевая геоботаника. – М.-Л.: Наука, 1964. – Т. 3. – С. 9–36.
7. Анучин, Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов / Н.П. Анучин. – Изд. 6-е. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 552 с.
8. Санитарные правила в лесах Российской Федерации. – М.: Федеральная служба лесного хозяйства РФ, 1998. – 25 с.
9. Никонов, М.В. Лесоводство / М.В. Никонов. – СПб.: ЛАНЬ, 2010. – 224 с.
10. ОСТ 56-100-95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. – М.: ВНИИЛМ, 1995. – 12 с.

EXPERIENCE OF FORESTRY RECULTIVATION OF MINED-OUT SAND QUARRY

Chudetskiy A.I., postgraduate student KSTU, research worker, The Branch of FBI VNIILM «Central-European Forest Experiment Station», Shutov V.V., Dr of Biological Sciences; Corresponding Member of the RANS, Prof. of the Department of logging and wood processing industriesKSTU, Ryzhova N.V., Cand. of Biological Sciences, Docent of the Department of logging and wood processing industries KSTU

a.chudetsky@mail.ru, ienjdfy@mail.ru, ienjdfy@mail.ru
«Kostroma State Technological University», 156006, Dzerzhinskogo st., 17, Kostroma, Russia
The Branch of FBI VNIILM «Central-European Forest Experiment Station», 156605, prosp. Mira, 134, Kostroma, Russia.

The article examines the current state of 40-year-old pine plantation formed in a former sand quarry of the sand-lime brick factory after the mining was completed. Pine Grove is a landscaped public area and serves as a place of rest for the urban population. Conducted a forest inventory research and an assessment of the trees growth. An estimate of the recreational disturbance of area and the sanitary state of green space. Birch growing along the road occurs sporadically in the stand composition. Undergrowth and undergrowth are absent. There are individual instances of deadwood. Assessment of plantings carried out by G. Kraft's classification showed that almost half of all studied trees is to «pre-dominant» and «dominant», and «moderately developed» trees account for 27 % of total number. Conclusion about the need of thinning with removal of up to 40 % of the oppressed trees. A scheme of thinning in two stages in order will reduce the introduction of small-leaved species in the pine forest. The category of landscaped public area involves considerable recreational load. The pine stand is on the third stage of recreational digression. Most of the trees are classified as impaired. Sanitary thinning will promote to sustainability stands for recreational loads. On the study area there is a region affected by the hurricane in 2008. The entire land area is covered with broken pine trunks (12-16 thousand units on ha). The number of stumps is 400-500 units on ha, and the number of remaining pine trees is from 10 to 40 units on ha. A well-developed undergrowth of pine and birch was appeared for past years. Forestry recultivation of mind-out sand quarry is successful. The formed pine stand requires the thinning, and the territory needs improvement and sanitary cleaning.

Key words: forestry recultivation, sand quarry, pine, birch, state, urban forests, thinning, recreational load.

References

1. Erokhina V.I. [et al.]. *Ozelenenie naselennykh mest : spravochnik* [Greening of localities]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987. 480 p.
2. *Rekul'tivatsiya peschanykh kar'erov v Roshchinskom lespromkhoze* [Reclamation of sand pits in the Roshinsky lespromhoz]. Moscow, Gosleskhoza USSR Publ., 1981. 6 p
3. Vasil'eva N.P., Kaar E.V. *Metody i napravleniya lesovosstanovleniya v tekhnogennykh landshaftakh* [Methods and areas of reforestation in *technogenic landscapes]*. *Programma i metodika izucheniya tekhnogennykh biogeotsenozov* [Program and methods of the studies of technogenic biogeocenosis]. Moscow, Nauka Publ., 1978, pp. 159-165.
4. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Kostromskoy oblasti* [Protected areas in Kostroma region]. Kostroma, 2002. 114 p.
5. *Postanovlenie Glavy goroda Kostromy ot* 15.07.2008 *g. N* 1290 *«Ob utverzhdenii Perechnya ozelenennykh territoriy goroda Kostromy»* [Resolution of the Head of the Kostroma city 15.07.2008 N 1290 «About the adoption of the list of green areas of the Kostroma city»].
6. Yunatov A.A. *Tipy i soderzhanie geobotanicheskikh issledovaniy*. *Vybor probnykh ploshchadey i zalozhenie ekologicheskikh profiley* [Types and contents of geobotanic research. The selection of plots and the inception of environmental profiles]. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Moscow-Leningrad, Nauka Publ., 1964, Vol. 3, pp. 9-36.
7. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya: uchebnik dlya vuzov* [Forest inventory: textbook for high schools]. Moscow, VNIILM Publ., 2004. 552 p.
8. *Sanitarnye pravila v lesakh Rossiyskoy Federatsii* [Sanitary rules in the forests of the Russian Federation]. Moscow, Federal Forestry Service of the Russian Federation Publ., 1998. 25 p.
9. Nikonov, M. V. *Lesovodstvo* [Forestry]. Saint-Petersburg, LAN' Publ., 2010. 224 p.
10. OST 56-100-95. *Metody i edinitsy izmereniya rekreatsionnykh nagruzok na lesnye prirodnye kompleksy* [Methods and units of recreational pressure on forest natural complexes]. Moscow, VNIILM Publ., 1995. 12 p.

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСАМИ В УКРАИНЕ

А.М. ШУБАЛЫЙ, *доц. каф. прикладной статистики и экономии труда Луцкого национального технического университета, канд. экон. наук*

shubalyi@mail.ru

Луцкий национальный технический университет, Украина г. Луцк, ул. Львовская,75

Основы системы управления лесами в Украине были заложены еще в условиях плановой экономики. Проведенный с использованием историко-системного метода анализ особенностей организации системы управления лесами показал, что, начиная с 30-х гг. XX века, в Украине не было специализированного государственного органа управления лесным хозяйством. Соответствующие функции выполняли управления в составе органов управления промышленностью или сельским хозяйством. Только в 1966 г. было создано Министерство лесного хозяйства, которое во времена независимости Украины было реформировано в Государственный комитет лесного хозяйства. В настоящее время в Украине нет единого государственного органа управления лесами, а после последней трансформации Государственное агентство лесных ресурсов Украины имеет значительно меньшие полномочия. Обосновано, что в условиях рыночных отношений необходимо провести ряд трансформационных процедур с целью ликвидации бюрократизма, повышения роли региональных органов управления, формирования единого центра принятия решения путем концентрации функций управления лесами в одном ведомстве – Государственном агентстве лесных ресурсов Украины. Предложено разделить лесохозяйственную и перерабатывающую сферы деятельности комплексных государственных лесохозяйственных предприятий путем проведения корпоратизации. На базе сформированных акционерных обществ целесообразно создать государственные региональные акционерные лесоперерабатывающие холдинговые компании. Предложено создать национальную акционерную компанию «Леса Украины», которая будет заниматься сугубо хозяйственной деятельностью, связанной с ведением семенного хозяйства, посадкой, уходом, заготовкой и хранением лесопродукции с целью получения прибыли на основе самоокупаемости. Лесничества станут государственными учреждениями и выполнять только регулирующие и контрольные функции в сфере охраны и защиты леса. Создание специализированных лесопромышленных бирж будет способствовать организации прозрачного рынка лесосырья и лесопродукции на региональном уровне.

Ключевые слова: лесной комплекс, система управления, управление лесами, орган управления, трансформация, лесохозяйственное предприятие, корпоратизация.

В лесном комплексе Украины сложная система управления, основы которой были заложены еще в условиях плановой экономики, неравномерностью территориального размещения сырьевой и производственно-технической базы, разнообразием организационно-правовых форм хозяйствования и отраслей специализации, отсутствием единого органа управления всеми процессами, происходящими в этой сложной эколого-экономической системе.

По уровню лесистости территории Украина относится к малолесистым странам. Это

связано во многом с природно-климатическими условиями лесовосстановления, а также с тем, что длительный период неэффективной была государственнаяполитика по расширению площади лесов и тем самым наращиванию лесоресурсного потенциала. Поэтому неудивительно, что по уровню лесистости Украина уступает даже тем странам, которые в начале XX в. были малолесистыми, но в результате целенаправленных действий по стимулированию лесоразведения значительно повысили уровень лесистости – это Франция, Испания, Турция. Значительная дифференциация также наблюдается в разрезе основных природно-климатических зон Украины: высокий уровень лесистости (42 %) наблюдается в зоне Карпат, а самый низкий – в зоне Степи (5,3 %). Высоким уровнем лесистости отмечается также зона Полесья – 26,8 %. Такое распределение уровня лесистости территории в значительной мере определяет и уровень мощностей лесопроизводственного комплекса в отдельных административно-территориальных единицах Украины.

Согласно украинской классификации видов экономической деятельности, лесной комплекс объединяет следующие основные виды экономической деятельности на уровне разделов и групп: охота; лесное хозяйство и связанные с ним услуги; переработка и консервирование овощей и фруктов (в том числе древесных соков, ягод, грибов и других продуктов леса), обработка древесины и производство изделий из древесины, кроме мебели, производство бумажной массы, бумаги и картона (в том числе химико-термомеханической древесной массы), производство основной химической продукции (в том числе древесного угля). В то же время, следует отметить, что в настоящее время в Украине нет единого государственного органа управления всеми процессами, которые происходят в лесном комплексе. Во времена плановой экономики в начале 1930 г. лесное хозяйство было объединено с лесной промышленностью. Основные заготовители древесины были освобождены от платы за нее, рубить лес стали исходя из заказов потребителей древесины. В последующие 30 лет основной задачей лесного хозяйства было обеспечение древесиной народного хозяйства. Индустриализация, коллективизация, война, восстановление разрушенного хозяйства – все это требовало древесины, и лес снова рубили по необходимости.

Отдельного, специализированного государственного органа управления лесами и лесным хозяйством в этот период не было. Соответствующие функции выполняли управления в составе органов управления промышленностью или сельским хозяйством. При этом подчиненность лесного хозяйства и структура управления менялись каждые 2–3 года. Это негативно повлияло на состояние лесов, проявилось в резком уменьшении пригодных к эксплуатации лесов в равнинных регионах Украины. Потребность Украины в лесных ресурсах удовлетворялась за счет ввоза древесины в основном из России и Беларуси.

В 1966 г. было создано Министерство лесного хозяйства, которое согласно Указу Президента № 732/ 97 от 29.07.1997 г. [1] было реформировано в Государственный комитет лесного хозяйства (Госкомлесхоз), деятельность которого направлялась и координировалась Кабинетом министров Украины через Министерство охраны окружающей природной среды.

С целью оптимизации системы органов государственной власти в Украине в декабре 2010 г. на основании соответствующего Указа Президента Украины [2] центральным органом исполнительной власти в сфере лесного и охотничьего хозяйства вместо Министерства экологии и природных ресурсов Украины было определено Министерство аграрной политики и продовольствия Украины, а на базе Государственного комитета лесного хозяйства Украины создано Государственное агентство лесных ресурсов Украины (Гослесагентство), которое является центральным органом исполнительной власти, деятельность которого направляется и координируется Кабинетом министров Украины через министра аграрной политики и продовольствия Украины, который входит в систему центральных органов исполнительной власти и обеспечивает реализацию государственной политики в сфере лесного и охотничьего хозяйства.

Полномочия Гослесагентства ограничены по сравнению с возможностями Госкомлесхоза, поскольку среди основных его задач оставлены только:

1) внесение предложений по формированию государственной политики в сфере лесного и охотничьего хозяйства;

2) реализация государственной политики в сфере лесного и охотничьего хозяйства.

Среди изъятых можно выделить полномочия по осуществлению государственного управления, регулированию и контролю в сфере лесного и охотничьего хозяйства, а также разработки и организации выполнения государственных и региональных (местных) программ в сфере охраны, защиты, рационального использования и воспроизводства лесных ресурсов, участия в разработке и выполнении программ по вопросам охраны, использования и воссоздания охотничьих животных, развития охотничьего хозяйства.

Согласно новому Положению [3], Гослесагентство также не обеспечивает бюджетное финансирование, распределение и контроль за целевым использованием бюджетных средств и материальных ресурсов, но оставлены полномочия по принятию решения о создании, реорганизации и ликвидации предприятий, учреждений и организаций, основанных на государственной собственности, которые относятся к сфере его управления. Также ограничены полномочия по осуществлению функций регулирования и контроля в сфере лесного и охотничьего хозяйства, которые были характерны для Госкомлесхоза [4]. Основное внимание в новом положении акцентируется на осуществление функций по управлению объектами государственной собственности – лесохозяйственными предприятиями. В сфере непосредственного подчинения Гослесагентства находятся областные управления лесного и охотничьего хозяйства и Республиканский комитет Автономнои Республики Крым по лесному и охотничьему хозяйству, которые являются его территориальными органами. Они способствуют обеспечению формирования и реализации государственной политики в сфере лесных отношений и ведения лесного и охотничьего хозяйства и охоты на территории соответствующей области.

Основными задачами региональных органов управления в этой сфере являются:

– участие в содействии формированию и реализации государственной политики в сфере лесных отношений и ведения лесного и охотничьего хозяйства и охоты на территории области;

– осуществление государственного управления и контроля, межотраслевой координации и функционального регулирования в области ведения лесного и охотничьего хозяйства и охоты;

– участие в организации ведения государственного лесного кадастра и государственного кадастра охотничьих животных;

– организация осуществления лесоустройства и упорядочение охотничьих угодий , мониторинга лесов и охотничьих животных;

– участие в разработке и организации выполнения государственных и региональных (местных) программ в сфере охраны, использования, воспроизводства лесов и животного мира, побочных пользований и развития сети лесных дорог, туризма, заповедности территорий [5].

К сфере подчинения областных управлений лесного и охотничьего хозяйства относятся ряд субъектов хозяйственной деятельности: 232 государственных лесохозяйственных предприятия, 50 лесоохотничьих хозяйств, 15 охотничьих хозяйств, 6 природных заповедников, 3 национальных парка и 23 других специализированных предприятия (лесосеменные станции, радиологические лаборатории, перерабатывающие предприятия и др.). В прямом подчинении Госкомлесхоза находятся также ряд учреждений и организаций, которые выполняют отдельные функции: научно-исследовательские, проектные организации, учебные заведения (УкрНИИЛХА, УкрНИИгорлес, «Укрцентркадастрлес», ПО «Укргослеспроект», «Укрдипролес», «Харьковгипроагролес», НИЦ лесоуправления, 8 учебных заведений), специализированные предприятия и организации («Укргослеснасинспекция»,

Украинская государственная база авиационной охраны лесов, Государственное предприятие «Крона», Государственные предприятия «Дубрава», «Схидлесоохрана», «Захидлесоохрана», «Центрлесоохрана»), а также другие предприятия непосредственного подчинения (Шацкий национальный природный парк, Тетеревский опытно-производственный гослесхоз, Севастопольское государственное лесоохотничье хозяйство) [6].

Еще в 70-х гг. в условиях плановой экономики в лесообеспеченных регионах Украины создавались межхозяйственные лесхозы на основе объединения лесов, находившихся на территории нескольких колхозов, которые стали паевыми участниками новых образований и получали льготные условия получения продукции этих предприятий. Характерной особенностью межхозяйственных лесхозов стало также то, что они получили в пользование худшие по качественным характеристикам (основные объемы заготовки древесины проходили в порядке рубок ухода за лесом), по сравнению с гослесхозами, лесные ресурсы и не находились в сфере подчинения органов управления лесным хозяйством, а относились к аграрной сфере. В условиях плановой экономики, когда процессы снабжения, производства и сбыта продукции, а также направления капитальных инвестиций были четко регламентированы плановыми органами, межхозяйственные лесхозы на уровне отдельного региона развивалась как отдельная производственно-хозяйственная структура по обеспечению потребностей сельхозпроизводителей и местных общин. В сложных условиях рыночной трансформации экономики межхозяйственные лесхозы стали самостоятельными субъектами хозяйствования, которые, как и гослесхозы, были наделены правом не только постоянного пользования лесными ресурсами, но и получили право собственности на заготовленное лесосырье. Развивая перерабатывающую базу, они также стали полноправными субъектами рыночных отношений, создав конкуренцию гослесхозам, в том числе и на зарубежном рынке.

Распространенной во многих областях Украины была ситуация, когда в пределах одного административного района конкурировали гослесхоз и межхозяйственный лесхоз. Но отсутствие надлежащего государственного надзора и контроля за деятельностью межхозяйственных лесхозов привели к тому, что достижение достаточно высоких (по сравнению даже с некоторыми гослесхозами) показателей эффективности работы стало следствием экстенсивного лесопользования, что противоречит базовым принципам и целевым ориентирам лесной политики Украины, в основу которой положены принципы перехода к устойчивому управлению лесами.

За последние годы в системе межхозяйственных лесхозов происходила масштабная реструктуризация. На базе межхозяйственных лесхозов создавались государственные лесохозяйственные предприятия, а также коммунальные лесохозяйственные предприятия и хозяйственные общества (что противоречит действующему законодательству), которым было передана лесохозяйственная сфера. Они находятся на полном бюджетном финансировании. А перерабатывающие подразделения большинства этих предприятий трансформировались в хозяйственные общества или частные предприятия. Следствием этих преобразований, происходивших без участия центрального органа управления в сфере лесного хозяйства, стала потеря государственного контроля и непрозрачная «теневая» приватизация уникальных самодостаточных комплексных производственно-хозяйственных структур лесного комплекса, которые в условиях дефицита бюджетных средств, как и гослесхозы, реинвестировали доходы от переработки древесины на развитие лесного хозяйства.

Представители межхозяйственных лесхозов отмечали преждевременность принятого решения (постановление Кабинета Министров Украины № 273 от 13.03.2006 г. [7]) о реформировании вышеуказанных предприятий лесной отрасли путем передачи лесов системы Минагрополитики к сфере управления Государственного комитета лесного хозяйства Украины. Ведь на практике это означало ликвидацию системы государственных и коммунальных лесохозяйств, что

не согласуется с принципом равенства всех форм собственности – государственной, коммунальной и частной, который закреплен в основных нормативно-правовых актах. По их мнению, сегодня решающим должна стать национальная политика, направленная на поддержку лесохозяйственных предприятий всех форм собственности. Поэтому была создана ассоциация «Украгролес», учредителями которой выступили государственные и коммунальные лесохозяйственные предприятия системы Минагрополитики [8].

В то же время, соответствующие субъекты хозяйствования, находящиеся в прямом подчинении Министерства аграрной политики и продовольствия Украины и непосредственно его областных управлений и объединений «Агролес» на местах, не являются специализированными институтами в сфере лесного хозяйства. То есть под видом отстаивания интересов местных общин и сохранения конкурентной среды в сфере лесного и охотничьего хозяйства происходило масштабное лоббирование ведомственных и корпоративных интересов, идущих вразрез с базовыми принципами и целевыми ориентирами национальной лесной политики.

Вопросы о передаче лесов, подчиненных Министерству аграрной политики и Министерству обороны Украины, активно рассматривались в течение последних лет. В частности, в 2009 г. вышло Распоряжение Кабинета Министров Украины «О совершенствовании порядка управления лесным хозяйством», в котором предусматривалась указанная передача объектов права государственной собственности. Но при отсутствии согласованности между соответствующими органами государственной власти необходимые решения не были реализованы. После этого дополнительно был принят ряд нормативно-правовых актов, а именно Указ Президента № 801/2010 «О решении Совета национальной безопасности и обороны от 05.08.2010 г. «О неотложных мерах по предотвращению пожарной опасности в Украине» [9] и протокол № 35 заседания Кабинета Министров от 23.05.2011 г., которым предусмотрена передача лесного фонда Минагрополитики и Минобороны в сферу управления Гослесагентства. В результате работа в этом направлении активизировалась. Точку в этом вопросе должно поставить Распоряжение Кабинета Министров Украины «О передаче целостных имущественных комплексов государственных лесохозяйственных предприятий в сферу управления Государственного агентства лесных ресурсов Украины» от 3 июля 2013 г. № 584-р. [10], в котором четко поставлено задача – передать имущество 39 госагролесхозов из сферы управления Министерства аграрной политики и продовольствия Украины в сферу управления Государственного агентства лесных ресурсов Украины.

В настоящее время лесохозяйственные предприятия, созданные на базе межхозяйственных лесхозов, несмотря на неоднократные попытки их уклонения от подчинения единому органу управления лесным и охотничьим хозяйством, находятся в стадии реформирования, предусматривающей передачу лесов и целостных имущественных комплексов в подчинение Гослесагентства. Для ускорения этих процессов важно обеспечить общую позицию органов власти областного и местного уровней. Ценный в этом плане опыт Волынской области, где по решению областного совета на базе бывших агролесхозов созданы два государственных лесохозяйственных предприятия, но в данном регионе существует еще пять государственных лесохозяйственных предприятий (бывших агролесхозов), которые находятся в прямом подчинении Минагропроду Украины. Поэтому без переподчинения этих предприятий в рамках единого министерства Гослесагентству Украины процесс реформирования системы управления лесным хозяйством нельзя считать завершенным. Но процесс трансофрмации на этом не должен завершиться. Считаем, что для построения действенной системы управления лесами нужно еще провести ряд организационно-экономических преобразований, предусматривающих реорганизацию существующих хозяйственных структур и создание новых интегрированных субъектов хозяйствования, которые будут функционировать на рыночных принципах.

Первый этап организационно-экономических преобразований в лесном комплексе предусматривает разделение лесохозяйственной и перерабатывающей сфер деятельности комплексных государственных лесохозяйственных предприятий. Принципиальное решение о реорганизации комплексных государственных лесохозяйственных предприятий должно быть принято на уровне Государственного агентства лесных ресурсов Украины. Ведь согласно утвержденному положению [3] на него возложены функции образования, ликвидации и реорганизации предприятий, учреждений и организаций, относящихся к сфере его управления. Таким образом, реорганизуя комплексные лесохозяйственные предприятия, ни Гослесагентство, ни областные управления лесного и охотничьего хозяйства не сузят своих полномочий. Но для сохранения интересов государства в сфере лесопереработки и для предотвращения неконтролируемого использования мощной производственно-технической базы целесообразно на определенный период сохранить в государственной собственности имущество перерабатывающих подразделений лесохозяйственных предприятий после реорганизации. Процесс реорганизации этих предприятий предлагается провести путем выделения в отдельные структуры деревообрабатывающих, консервных и других перерабатывающих подразделений комплексных государственных лесохозяйственных предприятий и осуществления их акционирования и преобразования в государственные акционерные общества, т.е. путем проведения корпоратизации. При этом, во избежание чрезмерной бюрократизации системы управления, целесообразно на базе отдельного большого комплексного лесохозяйственного предприятия создавать не более двух отдельных разнопрофильных государственных акционерных обществ (например, одно охватывает все деревообрабатывающие подразделения, а другой – консервный цех и его складские помещения). В результате государственные лесохозяйственные предприятия потеряют статус комплексных, поскольку в их структуре останутся только лесохозяйственные подразделения, которые будут заниматься семенным хозяйством, посадкой, уходом, охраной и защитой леса, частично заготовкой и хранением лесопродукции. При условии создания надлежащего нормативно-правового обеспечения, местное население и представители малых лесозаготовительных предприятий могут создавать лесные кооперативы, которые будут предоставлять государственным лесохозяйственным предприятиям услуги лесозаготовки, хранения и транспортировки древесины.

На втором этапе преобразований предлагается в порядке эксперимента в лесообеспеченном регионе, например в Волынской области, на базе сформированных государственных акционерных обществ создать государственную региональную акционерную холдинговую лесоперерабатывающая компанию, которой будет управлять главная компания холдинга. В состав холдинговой компании как ассоциированные члены могут входить также негосударственные структуры: хозяйственные общества в сфере лесопереработки, коммунальные лесохозяйственные предприятия, частные деревообрабатывающие предприятия сферы малого и среднего бизнеса. Важная роль в условиях рыночных отношений должна отводиться группе обслуживающих предприятий, которые будут выполнять соответствующие функции: компания по разработке и обслуживанию информационных технологий, лизинговая компания, рекламно-информационная и маркетинговая компания, транспортно-логистическая компания.

В данном случае инициатором создания холдинга должны стать государственные лесохозяйственные предприятия, которые в процессе корпоратизации будут реорганизованы в государственные акционерные общества. Они должны подать органу, уполномоченному управлять государственным имуществом, обоснование целесообразности создания государственной холдинговой компании; перечень предприятий и их структурных подразделений, на базе которых предлагается образовать государственную холдинговую компанию и ее корпоративные предприятия; проект устава государственной холдинговой компании. Решение о создании

государственной холдинговой компании в процессе корпоратизации и приватизации должен принимать орган, уполномоченный управлять государственным имуществом. Пакеты акций (долей, паев) или другое имущество, переданные в уставный капитал государственной холдинговой компании, будут находиться в государственной собственности и закреплены за ней на праве хозяйственного ведения. Параллельно на этом этапе по подобной схеме предлагается также провести ряд организационно-экономических преобразований и в структуре государственных лесохозяйственных и охотничьих предприятий с целью разделения хозяйственных и контролирующих функций, сосредоточение которых в пределах одного предприятия приводило к непрозрачности деятельности этих структур.

Основные решения по данным преобразованиям должны также быть приняты на общегосударственном уровне. Предлагается на общегосударственном уровне создать национальную акционерную компанию под условным названием «Леса Украины», которая будет иметь региональные подразделения в отдельных областях страны и заниматься сугубо хозяйственной деятельностью, связанной с ведением семенного хозяйства, посадкой, уходом, заготовкой и хранением лесопродукции с целью получения прибыли на основе самоокупаемости. Для этого на региональном уровне нужно провести корпоратизацию государственных лесохозяйственных и охотничьих предприятий, сохранивших организационно-правовую форму хозяйствования в результате первого этапа преобразований, и создать региональные подразделения государственной акционерной компании «Леса Украины». Также предлагается создать на уровне административной области главную компанию, которая будет координировать и регулировать деятельность указанных региональных подразделений. Как самостоятельные структуры, которые должны находиться на полном бюджетном финансировании, предлагается выделить отдельные лесничества, которые должны стать государственными учреждениями и выполнять только регулирующие и контрольные функции в сфере охраны и защиты леса. Эти учреждения останутся в сфере подчинения областных управлений лесного и охотничьего хозяйства [11].

С целью организации совместной взаимовыгодной деятельности двух интегрированных хозяйственных структур, а также других субъектов хозяйствования негосударственного сектора предлагается создать региональные лесопромышленные биржи, которые создадут условия для организации прозрачного рынка лесосырья и лесопродукции на региональном уровне. Следует отметить, что лесопромышленные биржи не будут дублировать функции лесных аукционов, организуемых сегодня Гослесагентством, а обслуживать операции купли-продажи лесосырья, которое не выставляется на лесных аукционах, а также продукции первичной и углубленной деревообработки, продукции предприятий, осуществляющих переработку пищевых ресурсов леса и лекарственного сырья.

Таком образом можно сделать вывод, что структура лесного комплекса Украины сформировалась еще в условиях плановой экономики и отмечается неравномерностью территориального размещения сырьевой и производственно-технической базы, создает объективные ограничения для применения перспективных форм лесохозяйствования, апробированных в зарубежных странах.

Центральным органом государственного управления лесами является Гослесагентство, в непосредственном подчинении которого находятся областные управления лесного и охотничьего хозяйства, республиканский комитет Автономной Республики Крым по лесному и охотничьему хозяйству. В результате первого этапа административной реформы в ведение Гослесагентства было передано межхозяйственные лесхозы, которые находились в системе Минагрополитики Украины. Необходимость сосредоточения функций управления лесами в едином органе обусловлена потребностью в разработке унифицированных мер по совершенствованию системы эколого-экономического регулирования восстановления, воспроизводства и охраны лесных ресурсов.

Создание эффективной системы управления лесами является важнейшей задачей, которая сегодня стоит перед отечественной наукой и практикой. Ведь трансформационные процессы, которые происходили в лесном комплексе Украины начиная с 90-х гг., не дали положительных результатов, а бездействие в будущем может привести к упадку созданной предшествующими поколениями лесоводов инфраструктуры и потери потенциальных выгод, которые может дать в перспективе лесной комплекс национальному хозяйству страны. Поэтому основное внимание в дальнейших исследованиях нужно сосредоточить на дальнейшем обосновании теоретико-методологических положений, которые сформируют базис для решения проблемы совершенствования системы управления лесами в Украине на основе передового опыта соседних стран, в частности Республики Польши и Российской Федерации.

Библиографический список

1. Указ Президента Украины «Об образовании Государственного комитета лесного хозяйства Украины» от 29 июля 1997 г., № 732.
2. Указ Президента Украины «Об оптимизации системы центральных органов исполнительной власти» от 9 декабря 2010 г., № 1085/2010.
3. Положение о Государственном агентстве лесных ресурсов Украины : утв. Указом Президента Украины от 13 апреля 2011 г., № 458 / 2011.
4. Положение о Государственном комитете лесного хозяйства Украины : утв. постановлением Кабинета Министров Украины от 27 июня 2007 г., № 883.
5. Положение об областных управлениях лесного и охотничьего хозяйства : утв. Приказом Государственного комитета лесного хозяйства Украины 04.07.2007 г., № 223.
6. Государственное агентство лесных ресурсов Украины http://dklg.kmu.gov.ua.
7. Постановление Кабинета Министров Украины «Об итогах социально-экономического развития Украины в 2005 году и меры по улучшению экономической ситуации» от 13 марта 2006 г., № 273.
8. Министерство аграрной политики и продовольствия Украины http://www.minagro.gov.ua.
9. Указ Президента «О решении Совета национальной безопасности и обороны от 05.08.2010 года «О неотложных мерах по предотвращению пожарной опасности в Украине» от 06 августа 2010 г., № 801/2010.
10. Распоряжение Кабинета Министров Украины «О передаче целостных имущественных комплексов государственных лесохозяйственных предприятий в сферу управления Государственного агентства лесных ресурсов Украины» от 3 июля 2013 г., № 584-р.
11. Хвесик, М.А. Комплексне використання лісоресурсного потенціалу: механізм стимулювання, інституціональне та інноваційно-інвестиційне забезпечення: Монографія / М.А. Хвесик, О.М. Шубалий, Н.М. Василик. – К. : ТЗОВ «ДКС», 2011. – 498 с.

FEATURES OF FOREST MANAGEMENT SYSTEM TRANSFORMATION IN UKRAINE

Shubalyi A.M., PhD, ,Academic rank of Associate Professor Lutsk National Technical University, professor of applied statistics and labor saving

shubalyi@mail.ru
43001, Ukraine, Lutsk, st. Lviv, 75

Fundamentals of forest management system in Ukraine had been already laid in times of planned economy. Conducted analysis using historical and systemic method of of the characteristics of the organization of forest management has shown that since the 30-ies of XX century Ukraine hasn't had a specialized state forestry agency. Respective functions were performed by departments being a part of industry or agriculture regulatory bodies. Only in 1966 the Ministry of Forestry was established, later reformed to the State Forestry Committee in conditions of Ukraine's independence. Currently there is no single state body of forest management in Ukraine, and after the last transformation of the State Forest Resources Agency of Ukraine, it has lost the majorityof its authority. It is proved that in the market economy conditions, it is necessary to carry out a number of transformation procedures to eliminate bureaucracy and increase the role of regional regulatory bodies, to form a single center of decision-making by concentrating forest management functions in one agency – the State Forest Resources Agency of Ukraine. It is offered to divide forestry and processing sectors of activity of complex state forest enterprises by means of corporatization. On the basis of formed joint-stock companies, it is appropriate to establish the state regional joint stock holding wood processing companies. It is suggested to create a state joint-stock company «Forests of Ukraine», which is to deal with purely economic activities related to seed farming, planting, care, harvesting and timber storage for profit on a self sufficiency basis. The forestries are to be government-owned institutions performing only regulatory and supervisory functions

in the field of forest protection. Creation of specialized timber exchanges will facilitate the organization of transparent market of forest raw material resources and products at the regional level.

Key words: timber complex, forest management, regulatory body, transformation, forestry enterprise, corporatization.

References

1. *Ukaz Prezidenta Ukrainy «Ob obrazovanii Gosudarstvennogo komiteta lesnogo khozyaystva Ukrainy»* [Presidential Decree «On the Establishment of the State Forestry Committee of Ukraine»]. July 29, 1997, № 732.
2. *Ukaz Prezidenta Ukrainy «Ob optimizatsii sistemy tsentral'nykh organov ispolnitel'noy vlasti»* [Presidential Decree «On the optimization of the system of central executive bodies»]. December 9, 2010, № 1085/2010.
3. *Polozhenie o Gosudarstvennom agentstve lesnykh resursov Ukrainy* [Regulations of the State Forest Resources Agency of Ukraine] : approved by Presidential Decree, April 13, 2011, № 458/2011.
4. *Polozhenie o Gosudarstvennom komitete lesnogo khozyaystva Ukrainy* [Regulations of the State Forestry Committee of Ukraine] : approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine, June 27, 2007, № 883.
5. *Polozhenie ob oblastnykh upravleniyakh lesnogo i okhotnich'ego khozyaystva* [Regulations of regional departments of forestry and hunting] : approved by the Order of the State Forestry Committee of Ukraine, July 4, 2007, № 223.
6. The State Forest Resources Agency of Ukraine [Official site] Available at: http://dklg.kmu.gov.ua. (accessed 23 June 2014).
7. *Postanovlenie Kabineta Ministrov Ukrainy «Ob itogakh sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Ukrainy v* 2005 *godu i mery po uluchsheniyu ekonomicheskoy situatsii»* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On results of socio-economic development of Ukraine in 2005, and measures to improve the economic situation»]. March 13, 2006, № 273.
8. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine [Official site] Available at: http://www.minagro.gov.ua. (accessed 23 June 2014).
9. *Ukaz Prezidenta «O reshenii Soveta natsional'noy bezopasnosti i oborony ot* 05.08.2010 *goda «O neotlozhnykh merakh po predotvrashcheniyu pozharnoy opasnosti v Ukraine»* [Presidential Decree «On the decision of the Council of National Security and Defense of 05.08.2010» On urgent measures to prevent fire hazards in Ukraine «]. August 6, 2010, № 801/2010.
10. *Rasporyazhenie Kabineta Ministrov Ukrainy «O peredache tselostnykh imushchestvennykh kompleksov gosudarstvennykh lesokhozyaystvennykh predpriyatiy v sferu upravleniya Gosudarstvennogo agentstva lesnykh resursov Ukrainy»* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On the transfer of integral property complexes of state forest enterprises in the sphere of control of the State Forest Resources Agency of Ukraine»]. July 3, 2013, № 584-p.
11. *Khvesik M.A.*, *Shubaliy O.M.*, *Vasilik N.M. Kompleksne vykorystannja lisoresursnogo potencialu: mehanizm stymuljuvannja*, *instytucional'ne ta innovacijno-investycijne zabezpechennja* [Integrated Use of Forest Resource Potential: The Incentive Mechanism, Institutional and Investment Support]. Kyiv, 2011. 498 p (in Ukrainian).

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВЕСНЫХ ЗАГОТОВОК

А.А ФЕДОРОВА, *доц. каф. деревообрабатывающих производств ПГТУ, канд. техн. наук,*
А.А. КОЛЕСНИКОВА, *магистр техники и технологии деревоперерабатывающих производств лесопромышленного факультета ПГТУ*

kolesnikovaaa@volgatech.net
ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3

Первостепенной задачей лесопромышленного комплекса России является рациональное использование лесных ресурсов. Качество древесины спецсортиментов зачастую оценивается не только по сортообразующим порокам, но и по прочности. Стандартная методика испытания древесины на прочность является трудоемкой и разрушает целостность заготовок. Определение физико-механических свойств древесины заготовок возможно по ультразвуковому методу с помощью кернов, извлеченных из растущего дерева. Для определения переходных коэффициентов и формул от акустических показателей кернов к механическим показателям древесины заготовок необходимо учесть все факторы, влияющие на акустические показатели древесины заготовок. В результате исследований различных ученых было установлено влияние размеров образцов, пороков, строения древесины, анизотропии на акустические свойства древесины. Испытывались лыжные заготовки длиной 1500 мм: березовые – тангенциального спила; сосновые – радиального, тангенциального, радиально-тангенциального спила. Заготовки озвучивались ультразвуковым прибором вдоль волокон при последовательном отпиливании на отрезки длиной 300 мм. Каждый отрезок озвучивался в трех точках вдоль оси без наклона волокон и в трех точках под углом к направлению волокон. Радиальные заготовки распиливались на стандартные образцы размером 300×20×20 мм для ультразвуковых испытаний и для определения прочности на изгиб. Анализируется влияние длины, пороков древесины, наклона волокон на акустические показатели древесных заготовок. Приводятся зависимости прочности древесины на изгиб от плотности, скорости ультразвука, акустической константы, акустического сопротивления. При изменении длины заготовок значения скорости ультразвука, акустической константы, акустического сопротивления изменяются. Зона постоянных значений акустических показателей наблюдается при длине заготовок 600–1200 мм. Влияние сучков на акустические показатели образцов по длине заготовки приводтся на примере двух сосновых заготовок. Значение акустической константы и плотности по всей длине заготовки можно считать постоянными, если исключить пороки в виде сучков. При изменении угла наклона волокон до 5–7є максимальная погрешность изменения скорости ультразвука для разных заготовок составляет 5,7–12,1 %. Заготовки рекомендуется озвучивать строго в продольном направлении волокон, в трех точках по ширине и за показатель принимать среднее значение. Время прохождения и скорость ультразвука чувствительны к изменениям прочности древесины разных образцов заготовки. С уменьшением времени прохождения и увеличением скорости прохождения ультразвука прочность древесины на изгиб увеличивается. Получены формулы зависимости с высокой корреляционной связью. Подтверждается эффективность и целесообразность использования неразрушающего ультразвукового метода для оценки показателей свойств древесины.

Ключевые слова: древесина, ультразвуковые испытания, влияние факторов, результаты моделирования.

Одной из первостепенных задач лесопромышленного комплекса России является рациональное использование лесных ресурсов[1].

Качество древесины спецсортиментов зачастую оценивается не только по сортообразующим порокам, но и по прочности. Известно, что стандартная методика испытания древесины на прочность является трудоемкой и приводит к нарушению целостности древесины заготовок. Зачастую после испытания готовая продукция не удовлетворяет требованиям стандарта.

Неразрушающий метод ультразвуковых волн в исследованиях древесины применяли такие ученые, как К.С. Александров, В.Д. Никишов, М.С. Анциферов, Н.Г. Анциферова, Т.А. Макарьева, А.Я. Гольдштейнс, В. Букур, В.И. Федюков, А.А. Колесникова и др. [2].

В результате исследований было установлено, что длина волны колебаний должна быть намного больше поперечного сечения образца и для исключения интерференционных явлений она должна превышать длину волны в 1,5 раза [3–5]. При ультразвуковых испытаниях, определении акустических свойств древесины необходимо учесть влияние размеров образцов, пороки, строение древесины, анизотропию [6–8].

Определение физико-механических свойств древесины заготовок возможно по ультразвуковому методу с помощью кернов, извлеченных из растущего дерева. Для определения переходных коэффициентов и формул от акустических показателей кернов к

Таблица 1

Показатели свойств древесины березовых и сосновых заготовок
Indicators properties of birch and pine wood blanks

Длина *l*, мм	Плотность *c*, кг/мі	Скорость звука v, м/с	Акуст. конст. *K*, м⁴/(кг·с)	Акуст. сопрот. *R*·10⁻⁵	Длина *l*, мм	Плотность c, кг/мі	Скорость звука v, м/с	Акуст. конст. *K*, м⁴/(кг·с)	Акуст. сопрот. *R*·10⁻⁵
Березовая заготовка					Сосновая заготовка толщиной 25 мм				
1481,8	607,3	5589,6	9,2	34,0	1474,0	485,9	5139,0	10,6	25,0
1474,0	606,1	5734,0	9,5	34,8	1192,0	475,0	5264,6	11,1	25,0
1190,0	605,3	5921,0	9,8	35,8	1184,2	475,9	5278,1	11,1	25,1
1182,2	603,7	5851,5	9,7	35,3	902,2	469,2	5300,5	11,3	24,9
890,2	604,9	5939,0	9,8	35,9	894,4	467,5	5201,5	11,1	24,3
882,4	605,7	5917,8	9,8	35,9	595,4	484,2	5121,4	10,6	24,8
582,9	616,3	5902,2	9,6	36,4	587,6	484,4	5110,4	10,5	24,8
574,7	606,1	5836,5	9,6	35,4	300,6	466,5	5242,1	11,3	24,5
275,7	786,6	5850,3	7,4	46,0	293,0	460,9	5263,8	11,4	24,3
267,5	573,2	6102,8	10,7	35,0	285,0	464,7	5245,0	11,3	24,4

механическим показателям древесины заготовок необходимо учесть все факторы, влияющие на акустические показатели древесины как заготовок, так и кернов.

К размерно-качественным характеристикам специализированной продукции (авиационной, резонансной, лыжной, клееных деревянных конструкций и др.) требования разные. Поскольку черновые заготовки, стандартные образцы и керны имеют различные размеры, то необходимо учесть влияние всех факторов в каждом отдельном случае на акустические показатели свойств древесины.

Влияние размеров на показатели свойств древесины кернов и стандартных образцов, имеющих постоянное поперечное сечение, было показано в работе [2].

Для изготовления спортивно-беговых лыж широкого круга потребления используется древесина березы и сосны [9]. По требованиям лыжные заготовки имеют номинальную толщину 25 мм и длину не более 2500 мм.

Цель статьи – выявить закономерности изменения акустических показателей черновых заготовок под действием различных факторов.

Испытывались лыжные заготовки длиной 1500 мм для изготовления среднего клина: березовые – тангенциального спила толщиной 25 мм; сосновые – радиально-тангенциального спила толщиной 20 мм, радиального спила толщиной 25 мм, тангенциального спила толщиной 40 мм. Размеры исследуемых образцов измерялись с точностью до 0,05 мм, масса – 0,01 г, угол наклона волокон относительно оси заготовок – 1°. Заготовки озвучивались вдоль волокон ультразвуковым прибором УК-14П при последовательном отпиливании на отрезки длиной 300 мм. Каждый отрезок озвучивался в трех точках вдоль оси без наклона волокон и в трех точках под углом к направлению волокон. Радиальные заготовки распиливались на стандартные образцы размером 300Ч20Ч20 мм для ультразвуковых испытаний и для определения прочности на изгиб.

По результатам замеров времени прохождения ультразвука τ, с, через образцы определяли плотность ρ, кг/м^3; скорость звука v, м/с; акустическую константу K, м^4/(кг·с); акустическое сопротивление $R\cdot10^{-5}$, кг/(м^2·с), прочность на изгиб $\sigma_{изг}$, МПа. Показатели свойств показаны для двух заготовок в табл. 1.

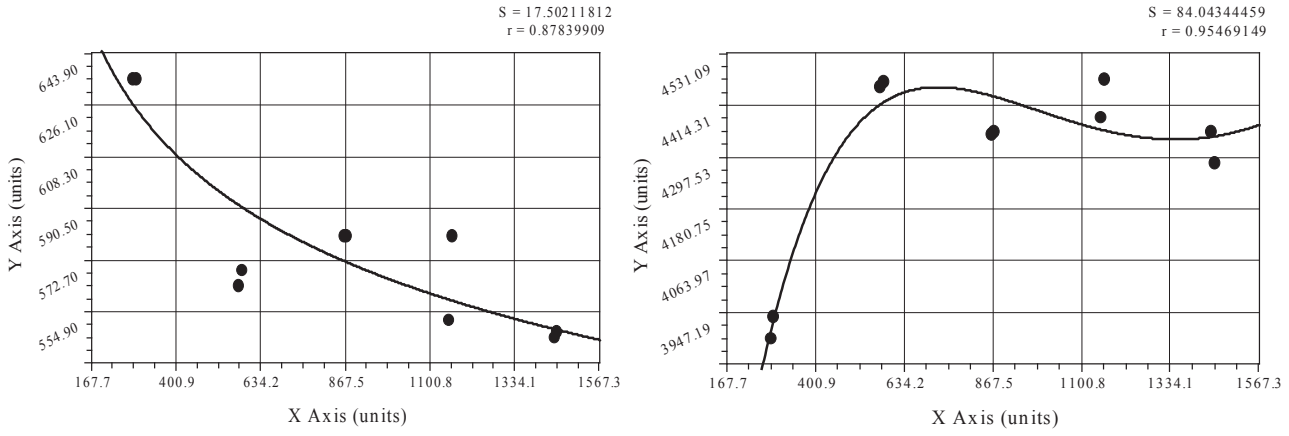
Выделенные числа в таблице резко отличаются от массива показателей данной заготовки и указывают на отрезки с дефектами в виде сучков. В дальнейшем эти точки при обработке данных убираются.

При изменении угла наклона волокон до 5–7є погрешность изменения скорости для разных образцов тангенциальных заготовок березы составляет 1,7–7,6 %, радиальных заготовок сосны – 1,3–12,1 %, тангенциальных заготовок сосны – 2,2–10,4 % и радиально-

Таблица 2

Параметры формулы (2) и коэффициенты корреляции для показателей древесных заготовок
Parameters in the formula (2) and the correlation coefficients for the indicators of wooden blocks

Параметры формулы	1 (березовой)	2 (сосновой) H = 20 мм	3 (сосновой) H = 20 мм	4 (сосновой) H = 25 мм	5 (сосновой) H = 40 мм
Скорости УЗВ $v(l)$					
A	6888,93210	5719,82080	5965,87560	5456,43270	1882,8074
B	0,0014828	0.000065363	2,02264e–005	0,00013846	–0,00039192
C	0,73163212	1,95857e–015	5,09728e–023	1,87355e–012	16,45995
D	1,3888261	6.4209219	11,057035	5,36579	0,92068
E	0,00089834	0,0046990	0,025498	0,0038049	0,0017755
R	0,87	0,81	0,81	0,76	0,85
Акустической константы $K(l)$					
A	10,076806	15,020477	13,81751	15,0097360	3,26667
B	0,001733208	0,0014768	6,09497e–005	0,0023020	–0,00051783
C	0,0016938	0,0010891	0,00042115	0,0017583	0,00020811
D	1, 3710282	1,44362	1,23779	1,40120	1,81704
E	0,00100006875	0,00085562	0,00056408	0,0010629	0,0032482
R	0,84	0,94	0,71	0,97	0,94
Акустическое сопротивление $R(l)$					
A	34,489196	25,17216	3,70699	24,656968	25,14571
B	0,00036696	0,00011263	0,0045692	3,61218e–005	5,39776e–005
C	0,0046960	8,69929e–011	23,87345	4,95153e–025	5,60708e–017
D	1,22532	3,77844	0	9,02538	6,580006
E	0,00062025	0,0023899	0	0,0063786	0,0078780
R	0,87	0,84	0,93	0,87	0,97



а) б)

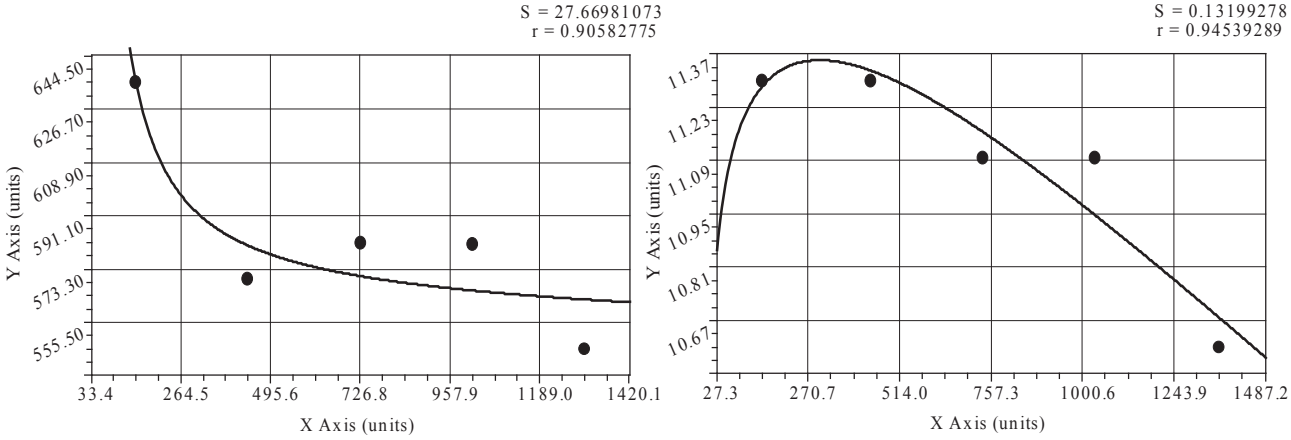
Рис. 1. Влияние длины на плотность (а) и скорость УЗВ (б) сосновой заготовки толщиной 40 мм (S – сумма квадратов отклонений, r – коэффициент корреляции)

Fig. 1. Influence of length of the density of (a) and the speed RAS (б) Pine billet 40 mm (S – sum of squared deviations, r – correlation coefficient)

тангенциальных заготовок сосны соответственно 3,5–7,3 % и 1,3–5,7 %. Максимальное отклонение показателей соответствует максимальному углу наклона. Таким образом, заготовки необходимо озвучивать строго в продольном направлении волокон в трех точках по ширине и за показатель принимать среднее значение.

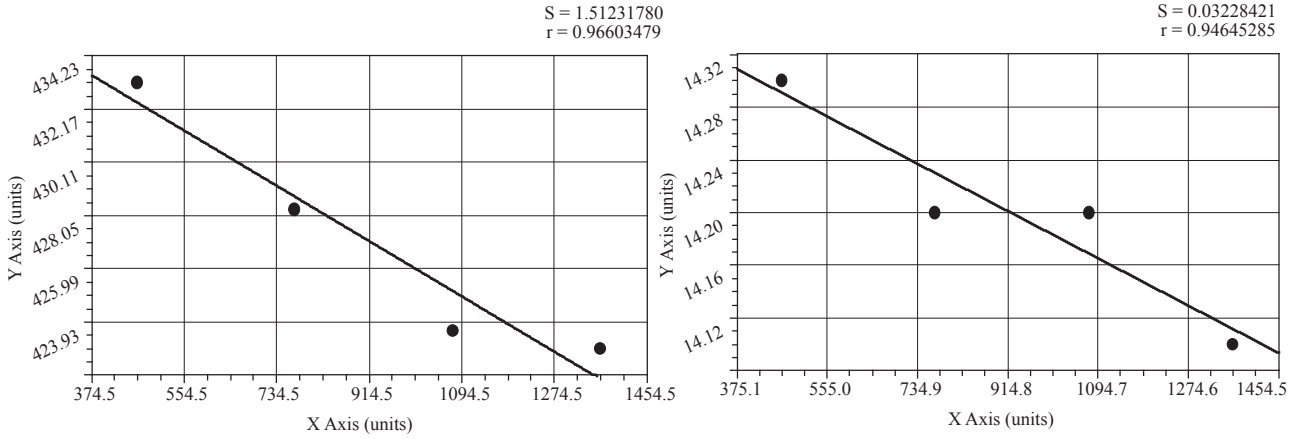
На основании полученных в ходе эксперимента данных с помощью программы CurveExpert [10] получены зависимости прочности от акустических показателей.

Зависимость плотности древесины от изменения длины сосновой заготовки толщиной 40 мм характеризуется уравнением (1), график которой как пример приведен на рис. 1а



а) б)

Рис. 2. Изменение плотности (а) и акустической константы (б) образцов по длине сосновых заготовок
Fig. 2. Change in density (a) and acoustic constants (б) samples along the length of the pine pieces



а) б)

Рис. 3. Изменение плотности (а) и акустической константы (б) по длине заготовки без пороков древесины

$$\rho = 634{,}39914 \exp((-0{,}00010596l). \quad (1)$$

Зависимости скорости ультразвука, акустической константы и акустического сопротивления вдоль волокон (y) от изменения длины заготовок характеризуются общим уравнением (2), параметры которой приведены в табл. 2.

$$y = a \exp((-bl) + cl^d \exp(-el). \quad (2)$$

График изменения скорости УЗВ в зависимости от изменения длины приведен на рис. 1б.

Зона постоянных значений исследуемых показателей для всех заготовок наблюдается при длине 600–1200 мм. Разница в значениях скорости для этой зоны всех заготовок 1,7–4,5 %, акустической константы – 0,7–5,6 %; акустического сопротивления – 0,8–2,9 %. Максимальная разница в значениях скорости (14,6 %) у сосновой заготовки связана с максимальной разницей плотности (14,8 %), которая объясняется осмоленностью участка доски (рис. 1).

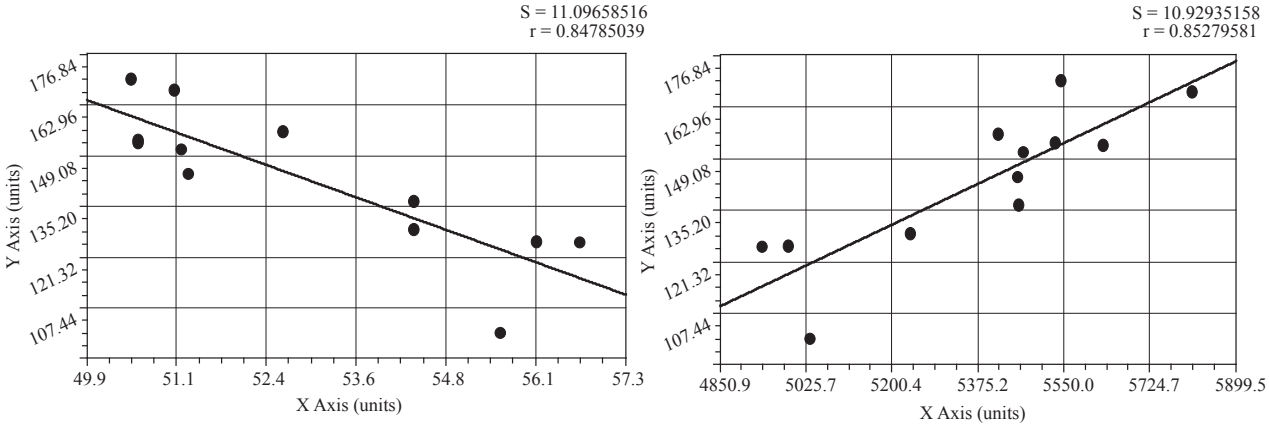
Все полученные формулы влияния длины на акустические показатели имеют высокую корреляционную связь. Различный характер и незначительные изменения показателей при изменении длины заготовок можно связать с наличием неоднородности строения древесины, с пороками в заготовках.

Влияние пороков в виде сучков на акустические показатели образцов по длине заготовки приводятся на примере двух сосновых заготовок толщиной 20 мм и 40 мм. На рис. 2 приведены графики изменения плотности и акустической константы для различных образцов вдоль длины заготовки.

Таблица 3

Параметры формулы (7) и коэффициенты корреляции для показателя древесной заготовки
Parameters of the formula (7), and the correlation coefficients for the exponent of wood harvesting

$\sigma_{изг} = f(x)$	a	B	r
$\sigma_{изг} = f(\tau)$	520,85149	–7,15008	0,85
$\sigma_{изг} = f(v)$	195,33490	–0,06280	0,86
$\sigma_{изг} = f(\rho)$	–8,60483	0,34788	0,75
$\sigma_{изг} = f(K)$	69,83800	6,40123	0,39
$\sigma_{изг} = f(R)$	8,24733	5,49567	0,62



а) б)

Рис. 4. Изменение прочности на изгиб: а – от времени прохождения УЗВ; б – от скорости прохождения УЗВ
Fig. 4. Changing bending strength: a – the time for the RAS; б – the rate of passage of RAS

Исключив точки с пороками, изменение акустической константы и плотности образцов будет выглядеть в виде прямой, рисунок 3. Формулы изменения показателей от расстояния S расположения испытуемого образца вдоль длины заготовки будут в виде

$$K = 14{,}38311 - 0{,}00019971s, \quad (3)$$

$$\rho = 437{,}93211 - 0{,}011891s. \quad (4)$$

Значение акустической константы и плотности заготовки можно считать постоянными, разность в показателях незначительная, соответственно 1,67 % и 2,7 %.

Зависимости прочности на изгиб от времени, скорости прохождения УЗВ, плотности, акустической константы и акустического сопротивления (x) характеризуются общим уравнением (5), параметры которого приведены в табл. 3.

$$\sigma_{изг} = a + bx. \quad (5)$$

Графики зависимости прочности на изгиб от времени и скорости прохождения УЗВ представлены на рис. 4.

Время прохождения УЗВ и скорость для разных образцов заготовки чувствительны к изменениям прочности на изгиб. С уменьшением времени прохождения УЗВ и увеличением скорости прохождения УЗВ прочность на изгиб увеличивается. Наблюдается высокая корреляционная связь показателей.

Выводы

Уравнения зависимостей акустических показателей от длины заготовок, пороков имеют высокую корреляцию.

Для сопоставления механических и акустических показателей свойств древесины заготовок необходимо учесть влияние всех факторов.

Замеры показателей свойств древесины при ультразвуковых испытаниях и определении прочности для нахождения переходных уравнений необходимо проводить на образцах, ориентированных строго по осям анизотропии без наличия пороков и влияния длины или с учетом их влияний.

С увеличением скорости прохождения ультразвука через древесину прочность древесины при изгибе прямо пропорционально возрастает.

Библиографический список

1. Лесной кодекс Российской Федерации : [Федер. Закон : принят Гос. Думой 8 ноября 2006 г. : по состоянию на 1 марта 2013 г.]. – М.: Проспект: КноРус, 2013. – 63 с.
2. Колесникова, А.А. Исследование свойств древесины по кернам : науч. изд. / А. А. Колесникова ; МарГТУ. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 177 с
3. Гольдштейнс, А.Я. Зависимость скорости распространения продольных импульсных ультразвуковых волн от геометрических размеров образцов натуральной и модифицированной полистиролом древесины березы / А.Я. Гольдштейнс // Химическая модификация древесины. – Рига: Зинатне, 1975. – С. 76–82
4. Макарьева, Т.А. Исследование акустических характеристик древесины, используемой для музыкальных инструментов, и разработка методов контроля в условиях производства : дис. …канд. техн. наук / Макарьева Татьяна Александровна. – М., 1976. – 200 с.
5. Никишов, В.Д. Исследование механических свойств древесины неразрушающими методами : дис. ... канд. техн. наук / В.Д. Никишов. – М., 1976. – 192 с.
6. Мелехов, В.И. Уточнение требований к показателям прочности пиломатериалов с сортообразующими пороками / В.И. Мелехов, В.Е. Бызов // Деревообраб. пром-сть. – 2009. – № 4. – С. 4–6.
7. Варшавский, В.А. Исследование влияния неоднородности строения древесины на модуль упругости и предел прочности крупных образцов при изгибе с установлением связи между показателями прочности и жесткости. дисс. ... канд. техн. наук / В.А. Варшавский. – М., 1977. – 23 с.
8. Бъедаров, Н. Влияние некоторых факторов на акустические свойства древесины / Н. Бъедаров // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2013. – № 3. – С. 112–115.
9. ГОСТ 17043-90. Лыжи. Технические условия. – Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 20 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).
10. Мазуркин, П.М. Дендрометрия. Статистическое древоведение : учеб. пособие / П.М. Мазуркин. – Ч.2. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2003. – 202 с.
11. Hasenstab, A., Rieck, C., Hillemeier, B., Krause, M.: Use of low frequency Ultrasound Echo Technique to Determine Cavities in Wooden Constructions. DGZfP (Ed.); International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) in Berlin, Germany, September 16-19, 2003, Proceedings on BB 85-CD, P51, Berlin (2003)

INFLUENCE OF FACTORS ON ACOUSTIC INDICATORS OF WOOD PREPARTIONS

Fedorova A.A., Ph.D., assistant professor of woodworking productions *Volga State University of Technology* Kolesnikova A.A., master of engineering and technology of wood processing productions timber faculty *Volga State University of Technology*

kolesnikovaaa@volgatech.net

Volga State University of Technology 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russian Federation, 424000

The primary task of Russian timber industry complex is the rational forest resources using. The quality of special round logs often assessed not only by timber defects, but by strength also. Standard method of wood strength test is time-consuming and destroys the integrity of wood samples. Determination of physical and mechanical properties of wood samples is possible by using ultrasonic method and core-samples extracted from growing trees. For determination of transition coefficients and formulas from acoustic properties of core-samples to mechanical properties of wood must take into account all factors which affect on acoustic characteristics of wood samples. The studies of different scientists show that there is a some influence of the sample size, wood structure, and wood anisotropy on the acoustic properties of wood. Ski billets with length 1500 mm were tested: birch – tangential sawing; pine – radial, tangential and radial-tangential sawing. Samples measured by ultrasonic device along grains with serial sawing segments off with 300 mm length. Each segment was measured at the three points along the axis without inclination of fibers and at three points with the angle to the direction of grains. Radial samples were sawn into standard sizes 300 Ч20 Ч 20 mm for ultrasound testing and to determine the bending strength. Effects of wood defects, samples length and slope of grains on wood acoustic properties are considered. Dependences of wood bending strength from wood density, ultrasound velocity, acoustic constant and acoustic resistance are performed. With changing the length of samples the value of ultrasonic velocity, acoustic constants, acoustic resistance change. The zone of constant values of acoustic indicators observed at length 600…1200 mm. The impact of wooden knots on the acoustic properties and sample length are shown by the example of two pine work pieces. Value of acoustic constants and density along the work piece length can be considered permanent if exclude knots. With the angle of grains changing up to 5–7 deg., maximum error of ultrasound velocity changing for different work pieces is 5.7–12.1 %. Work pieces (samples) is recommended to measure strictly in the longitudinal direction of grains, at three points in width and take the average value as an final result. Transmission time and velocity of ultrasound sensitive to wood strength different changes of different samples. By reducing the transmission time and increasing ultrasound velocity the bending strength of wood increases. Formulas with high correlation relationship were found. Productivity and advisability of non-destructive ultrasonic method using for performance evaluation of wood properties are confirmed.

Key words: wood, ultrasonic tests, influence of factors, results of modeling

References

1. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Forestry Code of the Russian Federation] : [Faderal Law: adopted by State. Duma November 8, 2006: As of March 1, 2013]. Moscow, Prospekt, KnoRus, 2013. 63 p.
2. Kolesnikova A.A. *Issledovanie svoystv drevesiny po kernam* [Research on wood properties by cores]. *Nauch. izd.* [scientific publication]. Yoshkar-Ola, MarGTU , 2002. 177 p.
3. Gol'dshteyns A.Ja. *Zavisimost' skorosti rasprostraneniya prodol'nykh impul'snykh ul'trazvukovykh voln ot geometricheskikh razmerov obraztsov natural'noy i modifitsirovannoy polistirolom drevesiny berezy* [Dependence of velocity of longitudinal ultrasonic pulse waves propagation on geometrical dimensions of natural and modified-polystyrene birch samples] *Khimicheskaya modifikatsiya drevesiny*. [Chemical remodel of wood.]. Riga. Zinatne, 1975. pp. 76–82.
4. Makar'eva T.A. *Issledovanie akusticheskikh kharakteristik drevesiny, ispol'zuemoy dlya muzykal'nykh instrumentov i razrabotka metodov kontrolya v usloviyakh proizvodstva* [Research on acoustic characteristics of wood used for musical instruments and the development of control methods under production conditions: Ph.D. thesis.]. Moscow, 1976. 200 p.
5. Nikishov V.D. *Issledovanie mekhanicheskikh svoystv drevesiny nerazrushayushchimi metodami* [Research on mechanical properties of wood by non-destructive methods: Ph.D. thesis.]. Moscow, 1976. 192 p.
6. Melehov, V.I. *Utochnenie trebovaniy k pokazatelyam prochnosti pilomaterialov s sortoobrazuyushchimi porokami* [Updating of requirements for durability characteristics of lumber with sortoobrazuyuschimi (wood) defects] *Derevoobrab. prom-st'*. [Journal of Wood industry.]. Moscow, 2009. № 4. pp. 4-6.
7. Varshavskiy, V.A. *Issledovanie vliyaniya neodnorodnosti stroeniya drevesiny na modul' uprugosti i predel prochnosti krupnykh obraztsov pri izgibe s ustanovleniem svyazi mezhdu pokazatelyami prochnosti i zhestkosti* [Study on structural imperfection of wood affect on elasticity modulus and large sample ultimate bending stress with tracing a connection between strength and toughness characteristics: author's abstract]. Moscow, 1977. 23 p.
8. B"edarov N. *Vliyanie nekotorykh faktorov na akusticheskie svoystva drevesiny* [Limited factors effect on acoustic properties of wood]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. Moscow, 2013. № 3. pp 112–115.
9. *GOST 17043-90. Lyzhi. Tekhnicheskie usloviya* [Skis. Specifications].Vved. 01.01.91. *Izd-vo standartov* [Standards Press]. Moscow, 1990. 20 p.
10. Mazurkin P.M. *Dendrometriya. Statisticheskoe drevovedenie* [Dendrometry. Statistical wood science: Work book]. P.2. Yoshkar-Ola. MarGTU Publ, 2003. 202 p.
11. Hasenstab, A., Rieck, C., Hillemeier, B., Krause, M.: Use of low frequency Ultra-sound Echo Technique to Determine Cavities in Wooden Constructions. DGZfP (Ed.); International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) in Berlin, Germany, September 16-19, Proceedings on BB 85-CD, Berlin, 2003. 51 p.

ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО ОБЪЕМА ПОЛОСТЕЙ НЕРОВНОСТЕЙ НА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Б.М. РЫБИН, *проф. каф. технологии деревоперерабатывающих производств МГУЛ, д-р техн. наук,*
Д.В. КИРИЛЛОВ, *инженер-технолог ООО ТПП «Авангард», ДСК-160*

rybin@mgul.ac.ru, kirillof@yandex.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Неровность поверхности древесины определяет фактическую площадь поверхности, подлежащей заполнению для создания равномерной клеевой прослойки в процессе склеивания и облицовывания, а также при формировании защитно-декоративного покрытия необходимой толщины при установленном расходе жидких лакокрасочных материалов. Целью работы является оценка фактического объема полостей неровностей, сформированных на поверхности древесины в виде рисок обработки и анатомических неровностей, с помощью параметров шероховатости. В работе рассмотрены образцы различных пород древесины после окончательной обработки шлифованной шкуркой 5-Н. На основании полученных данных о виде относительных опорных кривых для шлифованных поверхностей древесины с крупными анатомическими неровностями была предложена схема поверхности. Риски представлены боковыми поверхностями равнобедренных трехгранных призм, в поперечном сечении которых лежат треугольники высотами h и H и основаниями c. Анатомические неровности представлены поверхностями полуцилиндров диаметрами (радиусами) d_i (r_i). Приведена методика оценки фактического объема полостей анатомических неровностей и неровностей, сформированных в результате механической обработки различных пород древесины. Совокупность предложенных параметров шероховатости позволит оценить объемы полостей анатомических неровностей и неровностей, сформированных в результате механической обработки, и в дальнейшем использовать полученные данные для корректирования величины расхода клеевых и лакокрасочных материалов для достижения необходимого качества при склеивании и отделке древесины и древесных материалов.

Ключевые слова: объем полостей анатомических неровностей, объем полостей неровностей механической обработки, параметры шероховатости.

Неровности поверхности древесины определяют фактическую площадь поверхности, подлежащей заполнению для создания равномерной клеевой прослойки в процессе склеивания и облицовывания, а также при формировании защитно-декоративного покрытия необходимой толщины при установленном расходе жидких лакокрасочных материа-

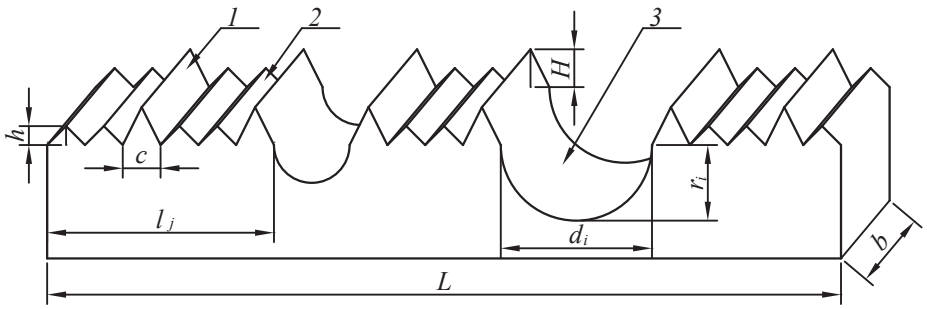


Рис. 1. Схема поверхности древесины: 1, 2 – риски обработки высотами H и h соответственно; 3 – анатомические неровности; L, b – соответственно длина и ширина контролируемого участка; c – максимальная ширина рисок обработки в поперечном сечении; d_i и r_i – соответственно диаметр и радиус i-й анатомической неровности; l_j – длина j-го участка поверхности, не включающего анатомические неровности

Fig. 1. Scheme wood surface 1, 2 – risks of treatment heights H and h, respectively; 3 – anatomically irregularities; L, b – length and width, respectively controlled area; c – the maximum processing width of scratches in cross section; d_i and r_i – respectively the diameter and the radius of the i-th anatomical irregularities; l_j – length of the j-th section of the surface that does not include anatomical irregularities

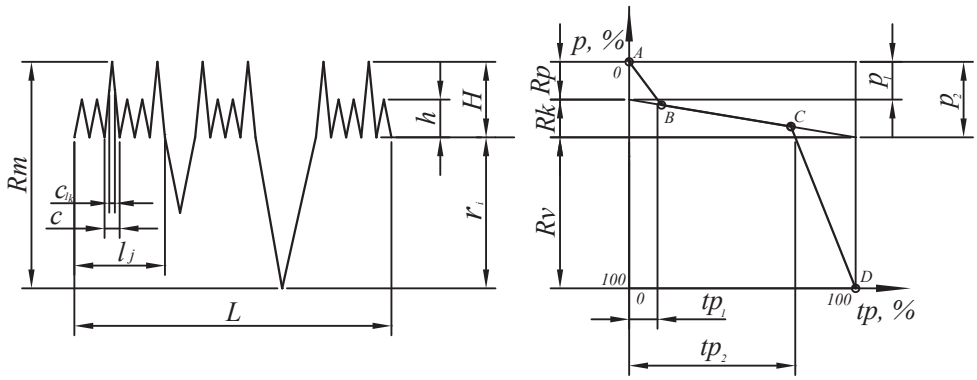


Рис. 2. Профилограмма и относительная опорная кривая контролируемого участка шлифованной поверхности древесины: а – профилограмма, б – относительная опорная кривая, Rm – параметр шероховатости, оценивающий глубину поверхностного слоя материала, включающего риски обработки и анатомические неровности; p_1, p_2– уровни сечения профиля, %; tp_1 и tp_2 – соответственно относительная опорная длина тела неровностей на уровне сечения p_1 и p_2, %; r_i – радиус i-ой анатомической неровности; c_{1k} и c – опорная длина, приходящаяся на тело k-й неровности с высотой H соответственно на уровне сечения p_1 и p_2

Fig. 2. Profilogram and relative reference curve controlled section polished wood surface:a – profilogram, б – relative reference curve Rm – roughness parameter in assessing the depth of the surface layer of the material, including risks of treatment and non-anatomical evenness; p_1, p_2 – sectional profile levels, %; tp_1 and tp_2 – respectively, relative to the reference body length non-flatness section at p_1 and p_2, %; r_i – radius of the i-th anatomical irregularities; c_{1k} and c – the length of the support attributable to the body of the k-th bumps with a height H, respectively, at cross sections p_1 and p_2

лов [1]. Совокупное влияние шероховатости и анатомических неровностей на фактическую площадь контакта можно оценить с помощью параметров шероховатости *Rp*, *Rk*, *Rv* ГОСТ 7016-2013 «Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности» [2, 3].

Целью работы является оценка фактического объема полостей неровностей, сформированных на поверхности древесины в виде рисок обработки и анатомических неровностей с помощью параметров шероховатости.

В работе рассмотрены образцы различных пород древесины после окончательной обработки шлифованной шкуркой 5-Н [4].

На основании полученных данных о виде относительных опорных кривых для шлифованных поверхностей древесины с крупными анатомическими неровностями [5–7] была предложена следующая схема поверхности рис. 1. Риски представлены боковыми поверхностями равнобедренных трехгранных призм, в поперечном сечении которых лежат

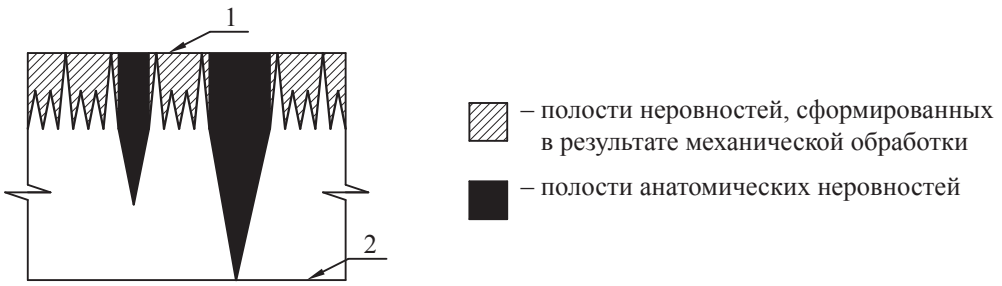


Рис. 3. Полости поверхности древесины: 1 и 2 – линии сечения профиля соответственно на уровне 0 и 100 %
Fig. 3. Cavities of the wood surface 1 and 2 – section line profile respectively at 0 and 100 %

треугольники высотами h и H и основаниями c. Анатомические неровности представлены поверхностями полуцилиндров диаметрами (радиусами) d_i (r_i.). Профилограмма, условно полученная при ощупывании поверхности поперек волокон древесины, показана на рис. 2 *а*. Форма анатомических неровностей на профилограмме приближается к треугольной или трапециевидной по причине конструктивных особенностей щупа (конечный радиус – 10 мкм, угол «раскрытия» – 90 градусов).

Опорная кривая (рис. 2 *б*), условно построенная по профилограмме, состоит из трех участков, отличающихся между собой углом наклона.

Отрезок AB (рис. 2 б) соответствует приращению относительной опорной длины за счет тела неровностей с высотой H; отрезок BC соответствует приращению относительной опорной длины за счет тела неровностей с высотами h и H; отрезок CD соответствует приращению относительной опорной длины за счет тела анатомических неровностей.

На рис. 3 приведен фрагмент профиля поверхности древесины с цветовым обозначением полостей рисок обработки и анатомических неровностей.

Фактический объем полостей $V_ф$, сформированных на поверхности образца в результате механической обработки, с учетом анатомических неровностей определяется как

$$V_ф = V_1 + V_2, \quad (1)$$

где V_1 – фактический объем полостей неровностей, сформированных в результате механической обработки (шлифование);

V_2 – фактический объем полостей анатомических неровностей.

Фактический объем полостей неровностей, сформированных в результате механической обработки древесины, может быть определен как (рис. 1, 3):

$$V_1 = V_{н.ш.} – (V_{б.пр.} M + V_{м.пр.} N), \quad (2)$$

где $V_{н.ш.}$ – объем поверхностного слоя древесины, затронутого механической обработкой;

$V_{б.пр.}$ и $V_{м.пр.}$ – объемы неровностей высотами H и h;

M и N – количество неровностей высотой H и h соответственно.

Объем поверхностного слоя, затронутого механической обработкой, определяется по формуле (рис. 1)

$$V_{н.ш.}=H\cdot b\cdot\sum_{j=1}^{m} l_j, \quad (3)$$

где H – максимальная глубина рисок обработки;

b – ширина контролируемого участка (образца);

l_j – длина j-го участка поверхности, не включающего анатомические неровности.

За высоту неровностей H примем значение суммы параметров Rp и Rk (рис. 2 *а* и *б*):

$$H = Rp + Rk. \quad (4)$$

Суммарная длина участков поверхности

$$\sum_{j=1}^{m} l_j,$$

не включающих анатомические неровности, на относительной опорной кривой (рис. 2 б) определяется величиной tp_2:

$$\sum_{j=1}^{m} l_j = tp_2 \cdot \frac{L}{100}, \quad (5)$$

где L – длина участка (образца);

m – количество участков, не включающих анатомические неровности.

Учитывая (4) и(5), формулу (3) можно записать, как

$$V_{н.ш} = S_н(Rp + Rk)tp_2/100. \quad (6)$$

где $S_н$ – номинальная площадь поверхности участка (образца).

Номинальная площадь поверхности участка определяется как

$$S_н = bL. \quad (7)$$

Объемы неровностей высотами H и h соответственно можно вычислить с учетом выражения (4), если принять равенство $h = Rk$, по формулам (рис. 1, 2)

$$V_{б.пр.} = 1/2(Rp + Rk)cb, \quad (8)$$

$$V_{м.пр.} = 1/2Rkcb. \quad (9)$$

Количество неровностей M высотой H можно определить, в соответствии с рис. 1 и 2 *а*, как

$$M=\frac{1}{c_1}\sum_{k=1}^{M}c_{1k}, \quad (10)$$

где c_1 – опорная длина, приходящаяся на тело одной неровности высотой H на уровне сечения p_1;

$\sum_{k=1}^{M}c_{1k}$ – суммарная длина, приходящаяся на тело неровностей высотой H на уровне сечения p_1.

Если рассмотреть фрагмент поперечного сечения неровности высотой H, то по правилу подобия треугольников ABC и ADE (рис. 4), учитывая (4) c_1 можно определить как

$$c_1 = Rp/(Rp + Rk)c. \quad (11)$$

Суммарная длина

$$\sum_{k=1}^{M}c_{1k},$$

приходящаяся на тело неровностей высотой H на уровне сечения p_1, на относительной опорной кривой рис. 2 *б* определяется величиной tp

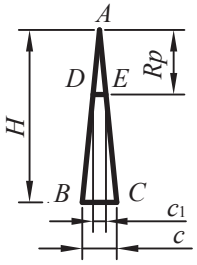


Рис. 4. Фрагмент поперечного сечения неровности (риска обработки) высотой H

Fig. 4. Fragment cross-sectional irregularities (risk treatment) of height H

$$\sum_{k=1}^{M}c_{1_k}=tp_1\cdot\frac{L}{100}. \quad (12)$$

Учитывая формулы (11, 12), количество неровностей высотой H составит

$$M=\frac{Rp+Rk}{Rp}\cdot\frac{tp_1}{100}\cdot\frac{L}{c}. \quad (13)$$

Количество неровностей высотой h можно определить, из общего количества рисок обработки

$$N = G – M, \quad (14)$$

где G – общее количество рисок обработки.

Количество неровностей G можно определить по формуле

$$G=\frac{\sum_{j=1}^{m}l_j}{c}. \quad (15)$$

Учитывая (5), запишем выражение (15) в виде

$$G=\frac{tp_2}{100}\cdot\frac{L}{c}. \quad (16)$$

С учетом выражений (16) и (13) формула (14) для определения количества неровностей высотой h после преобразования примет вид

$$N=\frac{L}{c}\left(\frac{tp_2}{100}-\frac{Rp+Rk}{Rp}\cdot\frac{tp_1}{100}\right). \quad (17)$$

Формулу (2) для определения фактического объема полостей между рисками обработки в соответствии с выражениями (6, 8, 13, 9 и 17) после преобразования можно записать в виде

$$V_1=S_н\cdot\left\{(Rp+Rk)\frac{tp_2}{100}-0{,}5\cdot\left[\frac{tp_2}{100}\cdot Rk-\frac{tp_1}{100}\cdot(Rp+Rk)\right]\right\}. \quad (18)$$

Фактический объем полостей анатомических неровностей равен

$$V_2 = V_{ан}\,k_{ан}, \quad (19)$$

где $V_{ан}$ и $k_{ан}$ – соответственно средний объем и количество полостей анатомических неровностей.

Средний объем одной полости можно определить (рис. 1 и 3) по формуле

$$V_{ан} = (d_{ср}H + \pi d_{ср}^{\,2}/8)b, \quad (20)$$

где $d_{ср}$ – средний диаметр анатомических неровностей (рис. 1).

За усредненную глубину анатомических неровностей приближенно можно принять величину параметра Rv (рис. 2 *б*). При условии, что полости сосудов и клеток

вскрыты в результате механической обработки на половину своего диаметра, получим выражение

$$d_{ср} = 2Rv. \quad (21)$$

Средний объем полости (20) с учетом (4) составит

$$V_{ан} = (2Rv(Rp + Rk) + \pi Rv^2/2)b. \quad (22)$$

Количество анатомических неровностей можно определить по формуле

$$k_{ан.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{d_{ср}}, \quad (23)$$

где $\sum_{i=1}^{n} d_i$ – сумма диаметров анатомических неровностей, зафиксированных на профилограмме (рис. 1, 2 а).

Сумму диаметров анатомических неровностей

$$\sum_{i=1}^{n} d_i$$

можно определить, зная длину участка L и суммарную длину участков, не включающих анатомические неровности

$$\sum_{j=1}^{m} l_j$$

(рис. 1) по формуле

$$\sum_{i=1}^{n} d_i = L - \sum_{j=1}^{m} l_j. \quad (24)$$

После преобразования (24) с учетом выражения (5) получим

$$\sum_{i=1}^{n} d_i = L\cdot\left(1 - \frac{tp_2}{100}\right). \quad (25)$$

Подставив выражения (21, 25) в формулу (23), количество анатомических неровностей можно определить как

$$k_{ан} = L/2Rv(1 - tp_2/100). \quad (26)$$

Учитывая выражения (22) и (26), формула (19) примет следующий вид

$$V_2 = \left[2\cdot Rv\cdot(Rp+Rk) + \frac{\pi\cdot Rv^2}{2}\right]\cdot b\cdot\frac{L}{2\cdot Rv}\cdot\left(1 - \frac{tp_2}{100}\right).$$

В соответствии с формулой (7) можно записать

$$V_2 = \left(Rp + Rk + \frac{\pi}{4}\cdot Rv\right)\cdot S_н\cdot\left(1 - \frac{tp_2}{100}\right). \quad (27)$$

Подставив полученные выражения для объемов полостей в формулу (1) и сделав преобразование, получим следующее выражение

$$V_ф = S_н\cdot\left\{Rp + Rk - 0{,}5\left[\frac{tp_2}{100}\cdot Rk + \frac{tp_1}{100}\times\right.\right.$$
$$\left.\left.\times(Rp+Rk)\right] + \frac{\pi}{4}\cdot Rv\cdot\left(1 - \frac{tp_2}{100}\right)\right\}. \quad (28)$$

Фактический объем полостей, образованных шероховатостью и анатомическими неровностями, зависит от номинальной площади поверхности $S_н$, а также от параметров шероховатости и величины относительной опорной длины на конкретном уровне сечения.

В таблице представлены результаты измерений параметров шероховатости с помощью прибора профилометр № 160, а также результаты расчета объемов полостей неровностей на поверхности некоторых пород древесины после шлифования шкуркой 5-Н по предлагаемой методике, изложенной в данной статье.

Доля объема полостей (таблица), образованных анатомическими неровностями, V_2 в общем объеме $V_ф$ зависит от породы древесины. Для древесины крупнососудистых пород, таких как керунг, махагони, венге, размеры сосудов могут колебаться в пределах от 90 до 320 мкм [8, 9]. Для этих пород рассчитанная доля V_2 составляет от 45 до 60 %, что свидетельствует о доминирующей роли анатомических неровностей в формировании микрополостей на поверхности заготовок и деталей.

Для древесины мелкососудистых пород, таких как береза, ольха и липа, размеры сосудов могут колебаться в пределах от 30 до 130 мкм [8, 10]. Для этих пород рассчитанная доля V_2 составляет в среднем 25 %.

Для древесины сосны доля V_2 составляет в среднем 36 %, что можно объяснить наличием на обработанной поверхности вскрытых полостей трахеид в зоне ранней древесины (по данным [11], диаметр таких трахеид может достигать 40 мкм).

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

– предложенные в ГОСТ 7016-2013 параметры шероховатости *Rp*, *Rk*, *Rv* позволяют достаточно надежно оценить объем полостей неровностей анатомического происхождения и неровностей, полученных в результате ме-

Таблица

Соотношение объема полостей анатомических неровностей и полостей неровностей рисок обработки для некоторых пород древесины
Ratio of cavities anatomical irregularities and cavities irregularities scratches treatment for some types of wood

	Порода древесины	Значение параметра шероховатости, мкм			Рассчитанные объемы полостей неровностей на 1 м^2 поверхности, 10^{-6} м^3		Доля объема в общем объеме полостей неровностей в %, для	
		Rp	*Rk*	*Rv*	V_1	V_2	V_1	V_2
Крупнососудистые	Ироко	4,80	9,20	103,00	7,61	12,43	38	62
	Керуинг	7,7	11,8	85	10,51	15,52	40	60
	Амарант	6,01	8,66	75,73	8,38	9,70	46	54
	Венге	8,60	12,90	119,43	12,28	13,34	48	52
	Махагони	5,23	14,00	71,58	10,26	8,58	54	46
	Дуб	7,89	8,77	73,41	10,17	8,29	55	45
	Бук	4,8	7,17	19,6	6,38	5,25	55	45
Хвойные	Сосна	5,18	6,52	16,4	6,62	3,79	64	36
Мелкососудистые	Липа	6,58	8,08	11,8	8,67	2,85	75	25
	Ольха	7,2	7,56	12,1	9,01	3,06	75	25
	Береза	4,56	5,58	9,5	6,11	1,90	76	24

ханической обработки древесины шлифованием;

– для оценки объемов полостей рисок обработки целесообразно использовать параметры шероховатости *Rp* и *Rk* или их совокупность. Для оценки объемов полостей неровностей анатомического происхождения рекомендуется использовать преимущественно параметр шероховатости *Rv*;

– совокупность предложенных параметров шероховатости позволит оценить объемы полостей анатомических неровностей и неровностей, сформированных в результате механической обработки, и в дальнейшем использовать полученные данные для корректирования величины расхода клеевых и лакокрасочных материалов для достижения необходимого качества при склеивании и отделке древесины и древесных материалов.

Библиографический список

1. Рыбин, Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учебник / Б.М. Рыбин. – М.: МГУЛ, 2003. – 568 с.
2. Рыбин, Б.М. Стандартизация шероховатости поверхности древесины и древесных материалов / Б.М. Рыбин, В.Г. Санаев, Д.В. Кириллов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, № 3. – 2012. – С. 109–114.
3. ГОСТ 7016-2013 «Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности». – Введ. 1.01.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт).
4. Гончаров, Н.А. Технология изделий из древесины: учебник / Н.А. Гончаров, В.Ю. Башинский, Б.М. Буглай. – 2-е изд., испр. и дополн. – М.: Лесная пром-сть, 1990. –528 с.
5. Рыбин, Б.М. К вопросу выбора параметров шероховатости для оценки неровностей древесины / Б.М. Рыбин, В.Г. Санаев, Д.В. Кириллов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2012. – № 4. – С. 68–71.
6. Зотов, А.А. Управление физико-механическими свойствами покрытий древесины: учеб. пособие / А.А. Зотов, В.Ф. Крисанов, В.Г. Санаев, Е.Е. Овчаренко. – М.: МГУЛ, 1998. –218 с.
7. Рыбин, Б.М. К вопросу шероховатости поверхности древесины и древесных материалов / Б.М. Рыбин, Д.В. Кириллов // Технология и оборудование для переработки древесины. Научн. тр. – Вып. 353. – М.: МГУЛ, 2011. – С. 17–23.
8. DELTA – DEscription Language for Taxonomy: база данных содержит сведения о некоторых породах древесины, используемых в промышленности. – http://delta-intkey.com/wood/en/ – Commercial Timbers: Descriptions, Illustrations, Identification, and Information Retrieval

9. Станко, Я.Н. Древесные породы и основные пороки древесины. Иллюстрированное справочное пособие для работников таможенной службы / Я.Н. Станко, Г.А. Горбачева; под ред. Н.М. Шматкова, А.В. Беляковой; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – М., 2010. –155 с.
10. Furnierwerk Fritz Kohl GmbH & Co. KG: справочник. – 1-е изд., расширенное. – Карлштадт, 2007. – 310 с.
11. Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник / Б.Н. Уголев. – 5-е изд. – М.: МГУЛ, 2007. – 351 с.

ASSESSMENT OF THE ACTUAL VOLUME OF CAVITIES IRREGULARITIES ON THE PROCESSED SURFACE OF WOOD

Rybin B.M., prof. MFSU technology wood processing industries, Dr. Sc. Sciences, Kirillov D.V., engineer LLC CCI «Vanguard», DSC-160

rybin@mgul.ac.ru, kirillof@yandex.ru
Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

Roughnesses of a surface of wood determines the actual surface area to be completed for creation of a uniform adhesive layer in the process sleeve as its covering, and also at formation of protective-decorative coatings which are necessary thickness when the consumption of liquid paintwork materials. The aim of this work is to assess the actual volume of cavities irregularities : open for action on the surface of the wood in the form of scratches processing and anatomical cavities, using the roughness parameters.This paper examines the samples of various breeds of wood, after the final treatment sanded sanded 5-H. On the basis of the data obtained on the relative reference curves for grinding of wood, with large anatomical variation was proposed surface. The risks presented lateral surfaces isosceles triangular prisms, in the cross section of which are triangles of height h and H and c grounds. Anatomical irregularities presents surfaces of the parts of the coupling diameter (radius) d_i (r_i). The technique of an estimation of the actual volume of the anatomical cavities imperfections and irregularities generated due to mechanical processing of different wood species. The totality of the proposed roughness parameters will allow to estimate the volumes of anatomical cavities imperfections and irregularities generated due to mechanical processing and, further, to use data for the adjustment of the flow rate adhesive, paint and varnish materials for achievement of necessary quality bonding and finishing of wood and wood materials.

Key words: volume of anatomical cavities of irregularities, the volume of cavities irregularities machining, roughness parameters.

References

1. Rybin, B.M. *Tekhnologiia i oborudovanie zashchitno-dekorativnykh pokrytii dreve-siny i drevesnykh materialov: uchebnik* [Technology and equipment for protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow, MGUL, 2003. 568 p.
2. Rybin B.M. *Standartizatsiia sherokhovatosti poverkhnosti drevesiny i drevesnykh materialov* [Standardization of wood and wood materials roughness]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. № 3, 2012, pp. 109-114.
3. *GOST 7016-2013 «Izdeliia iz drevesiny i drevesnykh materialov. Parametry she-rokhovatosti poverkhnosti»* [Wood products roughness parameters]. Moscow, Standartinform, 2014. 12 p. (Mezhgosudarstvennyi standart).
4. Goncharov N.A. *Tekhnologiia izdelii iz drevesiny: uchebnik* [Technology of wood products]. Moscow, Lesnaia promyshlennost', 1990. 528 p.
5. Rybin B.M. *K voprosu vybora parametrov sherokhovatosti dlia otsenki nerovnostei drevesiny* [To the question of the choice of roughness parameters for the estimation of woods roughnesses] Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. № 4, 2012, pp. 68-71.
6. Zotov A.A. *Upravlenie fiziko-mekhanicheskimi svoistvami pokrytii drevesiny* [Management of physical-mechanical properties of coatings wood]. Moscow, MGUL, 1998, 218 p.
7. Rybin B.M. *K voprosu sherokhovatosti poverkhnosti drevesiny i drevesnykh materialov* [To the question of a roughness of wood and wood materials] *Tekhnologiia i oborudovanie dlia pererabotki drevesiny. Nauchn. tr. Vyp. 353*. Moscow, MGUL, 2011, pp. 17-23.
8. DELTA – DEscription Language for Taxonomy: *baza dannykh soderzhit svedeniia o ne-kotorykh porodakh drevesiny, ispol'zuemykh v promyshlennosti*. – Elektronnye dannye. Re-zhim dostupa: http://delta-intkey.com/wood/en/ – Commercial Timbers: Descriptions, Illustra-tions, Identification, and Information Retrieval
9. Stanko Ia.N. *Drevesnye porody i osnovnye poroki drevesiny. Illiustrirovannoe spravochnoe posobie dlia rabotnikov tamozhennoi sluzhby* [Tree species and the main defects of wood. Illustrated reference book for customs service employees] pod red. N.M. Shmatkova, A.V. Beliakovoi; Vsemirnyi fond dikoi prirody (WWF). Moscow, 2010, 155 p.
10. Furnierwerk Fritz Kohl GmbH & Co. KG. 1-e izd., rasshirennoe. Karlstadt, 2007, 310 p.
11. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie: uchebnik* [Wood science and forest management]. Moscow, MGUL, 2007, 351 p.

КИНЕТИКА ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЛИПИДОВ В ЭТИЛОВЫЕ ЭФИРЫ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

А.Н. ИВАНКИН, *проф., зав. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, д-р хим. наук*,
О.П. ПРОШИНА, *доц. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, канд. хим. наук*,
Г.Л. ОЛИФЕРЕНКО, *доц. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, канд. хим. наук*,
В.И. ПАНФЕРОВ, *доц., начальник НИЧ МГУЛ, канд. техн. наук*,
М.И. БАБУРИНА, *зав. лаб. ВНИИМП им. В.М. Горбатова, канд. биол. наук*

aivankin@mgul.ac.ru, proshina@mgul.ac.ru, evdokur@mail.ru, info@vniimp.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»,
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ
ГНУ ВНИИМП им. В.М.Горбатова Россельхозакадемии, 109316, Москва, ул. Талалихина, 26

Рассмотрена проблема получения биотоплива из возобновляемого растительного сырья, в качестве которого использовали масло подсолнечника Helianthus annus сорта Альбатрос первого отжима с кислотным числом 0,38 мг КОН/г. Жирно-кислотный состав сырья по данным газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором включал (%): $C_{6:0}$ (капроновая) 0,01; $C_{8:0}$ (каприловая) 0,02; $C_{10:0}$ (каприновая) 0,01; $C_{12:0}$ (лауриновая) 0,2; $C_{14:0}$ (миристиновая) 0,2; $C_{15:0}$ (пентадекановая) 0,4; $C_{16:0}$ (пальмитиновая) 5,4; $C_{17:0}$ (маргариновая) 0,7; $C_{18:0}$ (стеариновая) 3,6; $C_{19:0}$ (нондекановая) 0,1; $C_{20:0}$ (арахиновая) 0,2; $C_{22:0}$ (бегеновая) 0,4; $C_{14:1}$ (миристолеиновая, цис-9-тетрадеценовая) 0,2; $C_{15:1}$ (цис-10-пентадеценовая) 0,4; $C_{16:1}$ (пальмитолеиновая) 0,2; $C_{17:1}$ (цис-10-гептадеценовая) 0,3; $C_{18:1}$ n9c (олеиновая) 53,9; C18:1n9t (элаидиновая, транс-9-октадеценовая) 0,1; $C_{20:1}$ (цис-11-эйкозеновая) 2,8; $C_{22:1}$ n9 (эруковая) 2,4; $C_{18:2}$ n6c (линолевая, цис-9,12-октадекадиеновая) 11,9; $C_{18:3}$n6 (γ-линоленовая, цис-6,9,12-октадекатриеновая) 8,2; $C_{18:3}$n3 (α-линоленовая, цис-9,12,15-октадекатриеновая) 1,9; $C_{20:2}$ (цис-11,14-эйкозадиеновая) 0,1; $C_{20:3}$ n6 (цис-8,11,14-эйкозатриеновая) 0,1; $C_{20:4}$n6 (арахидоновая) 0,1; $C_{22:2}$ (цис-13,16-докозадиеновая) 0,01; $C_{22:6}$n3 (цис-4,7,10,13,16,19-докозагексаеновая) 0,1. Изучали кинетику процесса превращения триглицеридов масла в этиловые эфиры жирных кислот, смесь которых используется в качестве технического биодизеля. Представлена общая кинетическая схема процесса и показано, что каждая из составляющих процесса этерификации реакций псевдо-второго порядка является обратимой и для увеличения выхода продукта необходимо использовать избыток спирта и кислый катализатор. Установлены кинетические закономерности реакции трансэтерификации липидов растительного происхождения этанолом в присутствии H_2SO_4 с целью получения этиловых эфиров жирных кислот. Показано, что константа скорости этерификации растительных триглицеридов составляет 0,19 – 1,85 (% масс. Ч мин)$^{-1}$, а энергия активации процесса гидролиза три-, ди– и моноглицеридов в реакции трансэтерификации растительного масла равна соответственно 55,6; 54,4 и 23,2 кДж/моль. Представлены данные формальной оптимизации технических показателей проведения синтеза моноалкиловых эфиров – биодизеля.

Ключевые слова: биодизель, этиловые эфиры жирных кислот, экотопливо.

Производство жидкого топлива из возобновляемого сырья остается одной из актуальнейших проблем промышленно развитых и развивающихся стран [1, 2]. Потенциальная ограниченность нефтяных ресурсов и их высокая стоимость обуславливают продолжающиеся поиски экономически оправданной замены минеральному топливу. В настоящее время в качестве такой замены используют биоэтанол, который производится из древесных отходов или растительных культур, содержащих крахмал или сахар, а также биодизель (смесь метиловых эфиров жирных кислот), который получают из масличных культур или природных жиров [3–5].

Спрос на биотопливо заметно растет. Во многих странах, таких как Германия, Япония, США, Россия, законодательно разрешено использование 5 % добавок биодизеля в автомобильном топливе. Объем выпуска биотоплива ежегодно возрастает, Китай обещает к 2020 г. выйти на уровень ежегодного производства в 8 млн т [6]. Доля биотоплива в топливном балансе будет возрастать по мере падения нефтедобычи и увеличения потребности в автомобильном и авиационном бензине [7–9].

За рубежом биодизельное топливо получают конверсией триглицеридов растительных масел [10]. В качестве сырья для производства жидкого биотоплива используются соевое, рапсовое, пальмовое, касторовое и другие доступные в конкретном регионе растительные масла [11]. Применяют также жиры животного и рыбного происхождения [10, 12]. Процесс этерификации природных триглицеридов осуществляют высокими спиртами [13], метанолом [9–14] или этило-

вым спиртом [10–15]. Получение конечных эфиров жирных кислот наиболее эффективно протекает в присутствии катализаторов, в качестве которых используют ферменты [9, 10], неорганические основания [11, 14–16], комплексы солей переходных металлов [14, 18], ионообменные смолы [12]. Реализация данного процесса в промышленных условиях обычно осуществляется в коррозионно стойкой химической аппаратуре с различными техническими устройствами, позволяющими интенсифицировать процесс получения продукта в оптимальных гидродинамических условиях конверсии вязких жидких сред [5].

Цель работы заключалась в изучении кинетических особенностей трансформации липидов растительного происхождения в смесь эфиров природных жирных кислот, которую под названием биодизель можно использовать в качестве жидкого моторного топлива.

В работе были использованы реактивы: этиловый спирт абсолютированный (99,8 %) и медицинский по ГОСТ 51723, катализатор – серную кислоту по ГОСТ4204, а также растительное масло, в качестве которого использовали продукт из семян зрелого подсолнечника *Helianthus annus* сорта Альбатрос с длительностью вегетационного периода 85 сут и урожайностью 30 ц/га. Семена содержали около 52 % масла, которое отжимали на прессе при комнатной температуре и давлении 5 МПа. Такое сырье для получения биодизеля представляет собой масло, состоящее из триглицеридов общей формулы $R_1OCH_2CH(OR_2)CH_2OR_3$, где $R_{1,2,3}$ – остаток жирной кислоты [2, 4]. Растительное масло является продуктом природного происхождения и в его составе содержится некоторое количество свободных жирных кислот, наличие которых может влиять на кинетику превращений [3]. В работе использовали масло первого отжима с кислотным числом КЧ ≈ 0,38 мг КОН/г. Жирно-кислотный состав определяли методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором [4, 8]. Содержание основных остатков жирных кислот в использованном растительном масле (%): $C_{6:0}$ (капроновая) 0,01; $C_{8:0}$ (каприловая) 0,02; $C_{10:0}$ (каприновая) 0,01; $C_{12:0}$ (лауриновая) 0,2; $C_{14:0}$ (миристиновая) 0,2; $C_{15:0}$ (пентадекановая) 0,4; $C_{16:0}$ (пальмитиновая) 5,4; $C_{17:0}$ (маргариновая) 0,7; $C_{18:0}$ (стеариновая) 3,6; $C_{19:0}$ (нондекановая) 0,1; $C_{20:0}$ (арахиновая) 0,2; $C_{22:0}$ (бегеновая) 0,4; $C_{14:1}$ (миристолеиновая, *цис*-9-тетрадеценовая) 0,2; $C_{15:1}$ (*цис*-10-пентадеценовая) 0,4; $C_{16:1}$ (пальмитолеиновая) 0,2; $C_{17:1}$ (*цис*-10-гептадеценовая) 0,3; $C_{18:1}$ n9c (олеиновая) 53,9; C18:1n9t (элаидиновая, *транс*-9-октадеценовая) 0,1; $C_{20:1}$ (*цис*-11-эйкозеновая) 2,8; $C_{22:1}$ n9 (эруковая) 2,4; $C_{18:2}$ n6c (линолевая, *цис*-9,12-октадекадиеновая) 11,9; $C_{18:3}$n6 (γ-линоленовая, *цис*-6,9,12-октадекатриеновая) 8,2; $C_{18:3}$n3 (α-линоленовая, *цис*-9,12,15-октадекатриеновая) 1,9; $C_{20:2}$ (*цис*-11,14-эйкозадиеновая) 0,1; $C_{20:3}$ n6 (*цис*-8,11,14-эйкозатриеновая) 0,1; $C_{20:4}$n6 (арахидоновая) 0,1; $C_{22:2}$ (*цис*-13,16-докозадиеновая) 0,01; $C_{22:6}$n3 (*цис*-4,7,10,13,16,19-докозагексаеновая) 0,1. Сумма насыщенных жирных кислот – 48,5 %; ненасыщенных – 51,5 %.

При исследовании кинетики реакцию трансэтерификации проводили в режимах, обеспечивающих кинетическую область протекания реакции.

Анализ состава смеси липидов проводили методом тонкослойной хроматографии на пластинках Силуфол УФ254 в системе растворителей гексан:эфир:уксусная кислота 7:3:1. Относительное расположение классов липидов представлен на рис. 1.

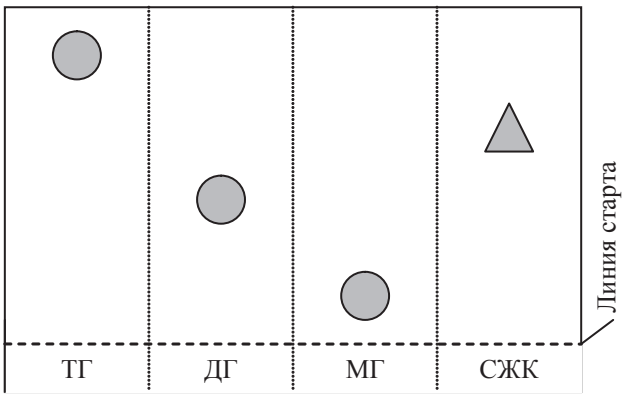


Рис. 1. Расположение фракций липидов на пластинке для ТСХ-анализа: ТГ – триацилглицериды; ДГ – диацилгилицериды; МГ – моноацилглицериды; СЖК – свободные жирные кислоты

Fig. 1. Location lipid fractions on a plate for TLC analysis: TG – triacylglycerides; DW – diatsilgilitseridy; MG monoatsilglitseridy; FFA – free fatty acids

Для проведения реакции этерификации (этанолиза) вместо традиционно применяемого за рубежом метанола [6] использовали этиловый спирт по причине его меньшей токсичности [8]. Чтобы исключить влияние воды на скорость обратимой этерификации, для кинетических измерений использовали обезвоженный абсолютированный этанол.

Известно, что развитие реакции этерификации триглицеридов (TG) масла идет трехступенчато с промежуточным образованием диглицеридов (DG) и моноглицеридов (MG) и последующим получением 1 моль глицерина (GL) и 3 моль эфиров жирных кислот [6, 7]:

$$TG + ROH \underset{k_4}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} DG + R'CO_2R$$

$$DG + ROH \underset{k_5}{\overset{k_2}{\rightleftharpoons}} MG + R'CO_2R$$

$$MG + ROH \underset{k_6}{\overset{k_3}{\rightleftharpoons}} GL + R'CO_2R$$

$$TG + 3ROH \underset{k_8}{\overset{k_7}{\rightleftharpoons}} 3R'CO_2R + GL,$$

где R', R – остаток жирной кислоты алкил $C_{6\text{-}24}$;

k – константа скорости;

TG – триацилглицериды;

DG – диацилгилицериды;

MG – моноацилглицериды;

GL – глицерин.

Каждая из этих реакций является обратимой, и для смещения реакции этанолиза вправо, в сторону целевого продукта, использовали избыток спирта и гомогенный катализатор H_2SO_4, который предварительно растворяли в спирте. При растворении катализатора в спирте образуется ионный раствор, в котором содержатся H^+-ионы, которые способствуют ускорению процесса.

Указанные выше реакции можно рассматривать как реакции псевдо-второго порядка, которые могут быть описаны в серии дифференциальных уравнений [6, 7]:

$$\frac{d[TG]}{dt} = -k_1[TG][A] + k_2[DG][A] - k_7[TG][A]^3 + k_8[A][GL]^3 \quad (1)$$

$$\frac{d[DG]}{dt} = k_1[TG][A] - k_2[DG][E] - k_3[DG][A] + k_4[MG][E] \quad (2)$$

$$\frac{d[MG]}{dt} = k_3[DG][A] - k_4[MG][E] - k_5[MG][A] + k_6[GL][E] \quad (3)$$

$$\frac{d[E]}{dt} = k_1[TG][A] - k_2[DG][E] + k_3[DG][A] - k_4[MG][E] + k_5[MG][A] - k_6[MG][E] + k_7[TG][A]^3 - k_8[GL][E]^3 \quad (4)$$

$$\frac{d[GL]}{dt} = k_5[MG][A] - k_6[GL][E] + k_7[TG][A]^3 - k_8[GL][E],^3 \quad (5)$$

где A – равновесная концентрация спирта;

E – эфиров.

Общая скорость реакции второго рода для триглицерида [TG] равна:

$$-d\,[TG] / dt = k\,[TG]^2.$$

Следовательно, уровень конверсии триглицеридов пропорционален квадрату молярной концентрации триглицеридов.

Интегрируя уравнения (1 – 5) получаем:

$$k_{TG}t = 1 / [TG] - 1 / [TG_o] \quad (6)$$

$$k_{DG}t = 1 / [DG] - 1[DG_o] \quad (7)$$

$$k_{MG}t = 1 / [MG] - 1 / [MG_o], \quad (8)$$

где k – константа скорости;

t – время реакции;

TG_o – начальная концентрация триглицеридов;

DG_o – начальная максимальная концентрация диглицеридов;

MG_o – исходная концентрация моноглицеридов.

Механизм этанолиза в первом приближении может быть записан системой четырех протекающих параллельно обратимых химических реакций, которые представлены выше [7].

На рис. 2 и 3 приведены типичные кинетические кривые протекания трансэтерификации. Видно, что на начальной стадии реакции скорость образования этиловых эфиров была значительной. Затем превращение субстрата снижалось и достигало стационарного значения к 60 мин. Можно предположить, что реакция трансэтерификации природных жиров и масел является двухфазной. В первые несколько минут существуют отдельные фазы триглицеридов и спирта, затем проис-

Таблица 1

Константы k скорости образования три– (TG), ди– (DG) и моноглицеридов (MG) при различных температурах

Formation rate constant k three-(TG), di-(DG) and monoglyceride (MG) at different temperatures

Стадия процесса	Температура, °С	k (%масс. × мин)$^{-1}$	Корреляционный коэффициент, r
ТГ→ДГ	40	0,19 ± 0,06	0,9751
	50	0,26 ± 0,11	0,9944
	60	0,39 ± 0,09	0,9863
	70	0,52 ± 0,15	0,9935
ДГ→МГ	40	0,35 ± 0,11	0,9928
	50	0,52 ± 0,17	0,9962
	60	0,72 ± 0,22	0,9841
	70	0,95 ± 0,25	0,9669
МГ→ГЛ	40	1,22 ± 0,34	0,9884
	50	1,44 ± 0,33	0,9752
	60	1,37 ± 0,29	0,9864
	70	1,85 ± 0,21	0,9835

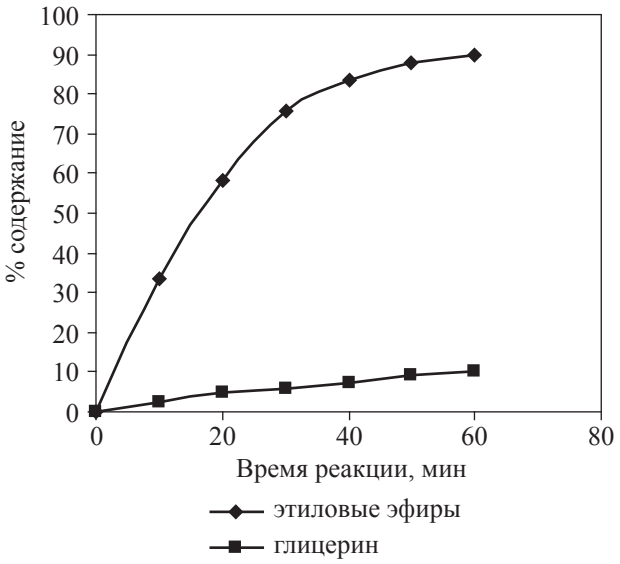


Рис. 2. Развитие реакции трансэтерификации при 70° С и 1,5 % H_2SO_4

Fig. 2. Development transэterifikatsii reactions at 70° C and 1,5 % H_2SO_4

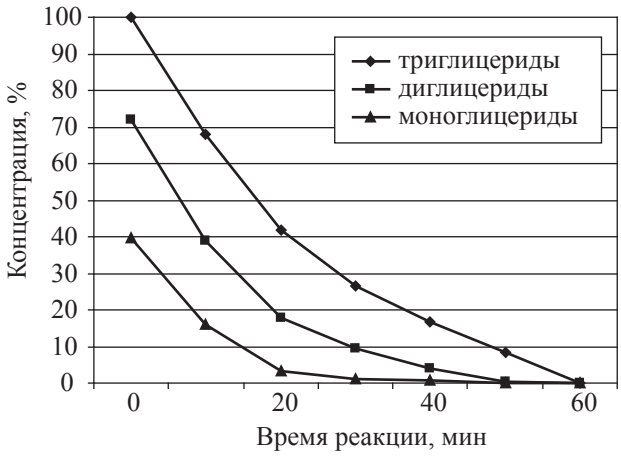


Рис. 3. Образование продуктов реакции во время трансэтерификации животного жира этанолом при 70°С и 1,5 % H_2SO_4

Fig. 3. Form reaction products during the transesterification of animal fat with ethanol at 70° C and 1,5 % H_2SO_4

ходит гомогенизация системы за счет интенсивного перемешивания с последующим образованием двухфазной системы вследствие образования избытка глицерина.

Температурный коэффициент реакции трансэтерификации ацилглицеридов изучали при 1-процентной концентрации катализатора и молярном соотношении спирт:масло – 6:1 (рис. 4). Температурный диапазон эксперимента варьировался от 40 до 70° С. Конверсия липидов при более низкой температуре затруднена в связи с повышенной вязкостью сырья, что препятствует оптимальному растворению масляной фазы в спирте. Более высокая температура приводит к потерям спирта в реакционной смеси за счет его испарения и соответствующего исключения из зоны реакции в связи с приближением к точке кипения. Исследования показали, что оптимальным температурным диапазоном проведения реакции при использовании этанола с максимальной конверсией является 65–70° С.

Таблица 2

Энергия активации процесса гидролиза три-, ди- и моноглицеридов в реакции трансэтерификации растительного масла

The activation energy of hydrolysis tri-, di-and monoglycerides in the reaction transesterification of vegetable oils

Реакция	E_a, кДж/моль	R
ТГ → ДГ	55,6	0,9969
ДГ → МГ	54,4	0,9985
МГ → ГЛ	23,2	0,7347

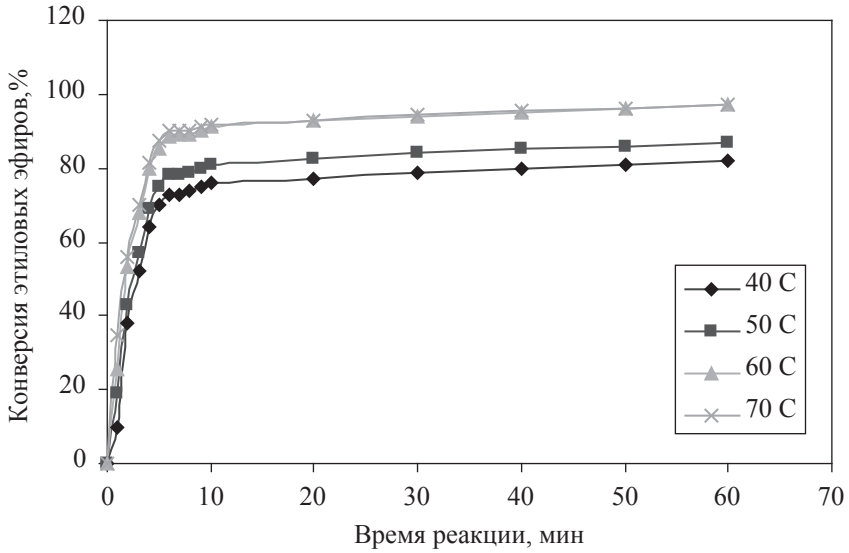


Рис. 4. Зависимость концентрации этиловых эфиров от времени реакции при различных температурах
Fig. 4. Concentration dependence of ethyl esters of the reaction time at different temperatures

Как указывалось выше, процесс гидролиза триглицеридов лучше всего описывается псевдомоделью реакции второго порядка, в которой зависимость 1/[TG] от времени реакции линейна. Полученные значения кинетических констант представлены в табл. 1.

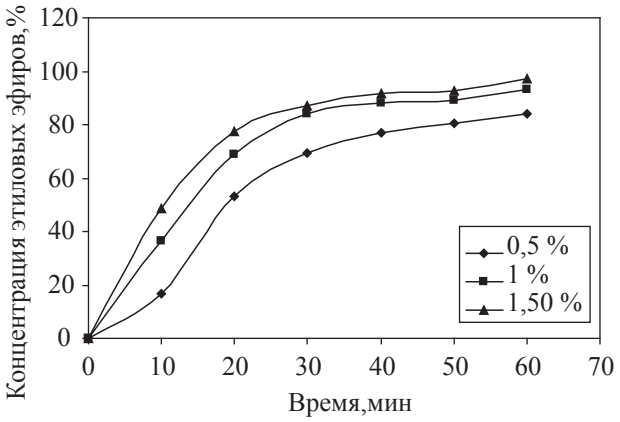


Рис. 5. Зависимость выхода эфиров от времени реакции при различных концентрациях кислого катализатора
Fig. 5. Dependence of the esters from the reaction at various time concentrations of acid catalyst

Из данных табл. 1 видно, что при увеличении температурных режимов проведения реакции константа скорости образования продукта (k) увеличивается в порядке $k_{MG}>k_{DG}>k_{TG}$. Этот подход был использован для эмпирического определения энергии активации (E_a). Результаты приведены в табл. 2.

На рис. 5 показано влияние концентрации катализатора H_2SO_4 по отношению к количеству используемого масла. Установлено, что при 0,5 % H_2SO_4 наблюдается некоторое запаздывание конверсии тригдицеридов в этиловые эфиры, после чего конверсия ускоряется. Процесс описывается S-образной кривой. Это можно объяснить наличием фаз в реакционной смеси. Поскольку концентрация липидов в фазе этанола низкая, в начале реакции имеет место ограничение массообмена. По мере развития реакции концентрация липидов в фазе этанола увеличивается, что

приводит к более высокой конверсии. На рис. 5 видно, что при использовании 0,5 % H_2SO_4 времени на протекание реакции требуется больше 1 ч. Заметных различий в конверсии триглицеридов в этиловые эфиры для 1 % и 1,5 % добавляемого катализатора не наблюдали, поэтому 1 % H_2SO_4 принят за оптимум для трансэтерификации этанолом.

Найденные значения констант скоростей реакции превращения растительных триглицеридов в биодизель, которые не превышали значения 1,85 % в мин, показывают, что при температурах, близких к температуре кипения этанола, достижение равновесной конверсии происходит в течение 1 часа, однако развитие обратного процесса превращения продуктов реакции в исходные триглицериды приводит к тому, что реальная конверсия не превышает 50 %. Для смещения равновесия в сторону образования биодизеля необходимо использовать известные приемы смещения химически равновесных процессов по принципу Ле Шателье, в частности путем удаления из зоны реакции образующихся продуктов. В данном случае глицерина.

Для получения технического биодизеля из растительного масла с выходом более 85 % использовали следующие условия: 1 кг растительного масла смешивали с 0,2 кг этанола, содержащего 0,02 кг серной кислоты, и перемешивали в стеклянной емкости при 70° С в течение 1 ч, выстаивали в течение 0,5 ч без перемешивания для образования внизу глицеринового слоя, который декантировали, затем процесс повторяли трижды. Разделение фаз и полнота удаления глицерина контролировалась визуально. Жирно-кислотный состав продукта практически соответствовал исходному сырью.

Таким образом, в работе установлены некоторые кинетические закономерности реакции трансэтерификации липидов растительного происхождения этиловым спиртом в присутствии кислого катализатора с целью получения этиловых эфиров жирных кислот и последующего применения в качестве экотоплива. Полученные кинетические уравнения описывают процесс алкоголиза ацилглицеридов одноатомным алифатическим спиртом. Результатом эксперимента является также формальная оптимизация технических условий проведения синтеза моноалкиловых эфиров для получения биодизеля.

Библиографический список

1. Смирнова, Т.Н. Биодизель – альтернативное топливо для дизелей / Т.Н. Смирнова, В.М. Подгаецкий // Двигатель. – 2007. – № 2. – С. 32–34.
2. Иванкин, А.Н. Биотопливо из возобновляемого сырья: перспективы производства и потребления / А.Н. Иванкин, А.Д. Неклюдов, Н.А. Горбунова, М.И. Бабурина, Д.Г. Горохов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 6. – С. 91–95.
3. Акинин, Д.В. Биотопливо в лесных машинах / Д.В. Акинин, В.Ю. Прохоров // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – Т. 74. – № 5. – С. 106–109.
4. Горохов, Д.Г. Жидкое биотопливо из растительного и животного сырья: технические и экономические аспекты / Д.Г. Горохов, М.И.Бабурина, А.Н. Иванкин, О.П. Прошина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – Т. 74. – № 4 . – С. 74–78.
5. Рошковски, А. Жидкие растительные топлива и окружающая среда // Коммунальное обозрение. – 1999. – № 6. – С. 97–102.
6. Meher L.C. Technical aspect of biodiesel production by transesterification. Review / L.C.Meher, D.V.Sagar, S.N. Naik // Renewal and Sustainable Energy Reviews. – 2006. – № 10. – P. 29 – 35.
7. Boocock D.G. Fast formation of high-purity methyl esters from vegetable oils / D.G. Boocock, S.K. Konar, V. Mao, C. Lee, S. Bulugan // Journal of American Oil and Chemist Society. – 1998. – № 9. – P. 67.
8. Пат. № 2381262 С2, Российская Федерация, МПК С11С 3/04. Способ переработки животного жира в жидкое топливо / А.Б. Лисицын, М.И. Бабурина, А.Н. Иванкин, Д.Г. Горохов. Заявл. 03.04.2008. № 2008112639/13. Опубл. 10.02.2010. Бюл. № 4.
9. Герман, А.Б. Кинетика гидролиза животного жира панкреатической липазой / А.Б. Герман, А.Д. Неклюдов А.Н. Иванкин А.В. Бердутина // Прикладная биохимия и микробиология. – 2002. –Т. 38. – № 6. – С. 604–608.
10. Ксиаоху Ф. Получение биодизеля из рыбьего жира // Ф. Ксиаоху, Р. Бартон, Г. Аустик // Химия и технология топлив и масел. – 2010. – № 5. – С. 3–7.
11. Галиакбиров, А.Р. Метод получения эфиров рапсового масла / А.Р. Галиакбиров, З.А.Гарипова, А.В. Ахметов, О.А. Баулин, М.Н. Рахимов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2011. – № 1. – С. 40–43.
12. Caetano, C.S. Esterification of fatty acids to biodiesel over polymers with sulfonic acid groups / C.S. Caetano, L. Guerreiro, I.M. Fonseca, A.M. Ramos, J. Vital, J.E. Castanheiro //Applied Catalysis A: General. – 2009. – V. 359. № 1–2. – P. 41 – 46.
13. Готовцев, П.М. Современные технологии получения биодизеля / П.М. Готовцев, М.А.Ломоносова,

В.В. Бутылин, Е.Б. Мостова, Н.И. Перковская // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2013. – Т. 9. – № 3. – С. 54–61.
14. Jiang Y. Esterification of oleic acid with ethanol catalyzed by sulfonated cation exchange resin: Experimental and kinetic studies/Y. Jiang, J. Lu, K. Sun, L. Ma, J. Ding //Energy Conversion and Management. – 2013. – V. 76. – № 12. – P. 980–985.
15. Hassan S.Z. Parametric effects on kinetics of esterif ication for biodieselproduction: A Taguchi approach / S.Z. Hassan, M. Vinjamur // Chemical Engineering Science. – 2014. – V. 110. – № 5. – P. 94–104.
16. Chai M. Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry / M. Chai, Q. Tu, M. Lu, Y. J.Yang // Fuel Processing Technology. – 2014. – V. 125. – № 9. – P. 106–113.
17. Лисицын, А.Н. Рапс – высокоценная масличная культура многоцелевого назначения / А.Н. Лисицын, В.Н. Григорьева, Л.Н. Лишаева // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2013. – № 1. – С. 5–12.
18. Oliveira J.F. G. Biodiesel production from waste coconut oil by esterification with ethanol: The effect of water removal by adsorption // Renewable Energy. – 2010. – V. 35. № 11. – P. 2581–2584.

THE KINETICS OF THE CATALYTIC TRANSFORMATION OF PLANT LIPIDS IN ETHYL ESTERS OF FAT ACIDS FOR BIODIESEL PRODUCTION

Ivankin A.N., Prof. Faculty of chemistry and biotechnology MSFU, Dr., Proshina O.P., Associate Prof. Faculties of chemistry and biotechnology MSFU, PhD, Oliferenko G.L., Associate Prof., Faculties of chemistry and biotechnology MSFU, PhD, Panferov V.I., Associate Prof., Chief Science Department MSFU, PhD, Baburina M.I., Associate Prof., Chief of The V.M. Gorbatov VNIIMP lab., PhD

aivankin@mgul.ac.ru, proshina@mgul.ac.ru, evdokur@mail.ru, info@vniimp.ru
Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia
The Gorbatov's All-Russian Meat Research Institute (VNIIMP), 26, Talalikhina str., 109316, Moscow

The problem of reception of biofuel from renewed raw material of sunflower oil Helianthus annus grades Albatross with acid number of 0.38 mgKOH/g is considered. The fatty acid structure of raw material according to a gas chromatography with PID detector was (%): C6:0 (caproic) 0.01; C8:0 (caprylic) 0.02; C10:0 (capric) 0.01; C12:0 (lauric) 0.2; C14:0 (myristic) 0.2; C15:0 (pentadecanoic) 0.4; C16:0 (palmitic) 5.4; C17:0 (margarine) 0.7; C18:0 (stearic), 3.6; C19:0 (nonadecanoic) 0.1; C20:0 (arachidic) 0.2; C22:0 (behenic) 0.4; C14:1 (myristoleic) 0.2; C15:1 (cis-10-pentadecenoic) 0.4; C16:1 (palmitoleic) 0.2; C17:1 (cis-10-heptadecenoic) 0.3; C18:1 (oleic) 53.9; C18:1n9t (elaidic) 0.1; C20:1 (cis-11-eicosenoic) 2.8; C22:1n9 (erucic) 2.4; C18:2n6c (linoleic) 11.9; C18:3n6 (γ-linolenic) 8.2; C18:3n3 (α-linolenic, cis-9,12.15-octadecatrienoic) 1.9; C20:2 (cis-11,14-eicosadienoic) 0.1; C20:3n6 (cis-8,11,14-eicosatrienoic) 0.1; C20:4n6 (arachidonic) 0.1; C22:2 (cis-13,16-docosadienoic) 0.01; C22:6n3 (cis-4,7,10, 13,16,19-docosahexaenoic) 0.1. The kinetics of transformation of oil triglycerides to ethyl esters of fatty acids, used as biodiesel was studied. Some kinetic laws of the trans etherification reaction of plant lipids into fat acids ethyl esters at presence of the acid catalyst with the purpose of reception of biodiesel was investigated. It is shown, that the constant of speed of etherification was 0.19 – 1.85 (% of weights Ч min)$^{-1}$, and the activation energy of the process of hydrolysis of three-, bi– and mono glycerides in trans etherification reaction of vegetable oil makes accordingly 55.6; 54.4 and 23.2 кJ/mole. Data of formal optimization of technical parameters of carrying out of synthesis of mono alkyl ethers – a biodiesel engine are presented.

Key words: Biodiesel, Ethyl ethers of fatty acids, Eco fuel

References

1. Smirnova T.N., Podgaetsky V.M. Biodiesel – an alternative fuel for diesel engines. *Dvigatel* [Engine], 2007, no. 2, pp 32-34 (in Russian).
2. Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Gorbunova N.A., Baburina M.I., Gorohov D.G. Biofuels made from renewable raw materials: production and consumption Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2008, vol. 72, no. 6, pp. 91-95 (in Russian).
3. Akinin D.V., Prohorov V.Yu. Biofuels in forest machines Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2010, vol. 74, no. 5, pp. 106-109 (in Russian).
4. Gorohov D.G., Baburina M.I., Ivankin A.N., Prosina O.P. Liquid biofuels from plant and animal matter: technical and economic aspects. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2010, vol. 74, no. 4, pp. 74-78 (in Russian).
5. Roshkovsky A. Liquid vegetable oil and the environment. *Kommunalnoe Obozrenie* [Utility Review], 1999, no. 6, pp. 97-102 (in Russian).
6. Meher L.C., Sagar D.V., Naik S.N. Technical aspect of biodiesel production by transesterification. *Renewal and Sustainable Energy Reviews*, 2006, no.10, pp. 29-35.
7. Boocock D.G., Konar S.K., Mao V., Lee C., Bulugan S. Fast formation of high-purity methyl esters from vegetable oils. Boocock D.G. *J. Amer. Oil Chem. Soc*., 1998, no 9, pp. 67.
8. Lisitsin A.B. et al. *Method of processing of animal fat into liquid fuel*. Patent RF, no. 2381262, 2010.
9. German A.B., Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Reaction kinetics of hydrolysis of animal fat by pancreatic lipase. *Prikladnaya Biohimiya Microbiologia* [Prikl Biokhim Mikrobiol], 2002, vol. 38, no.6, pp. 604-608.
10. Ksiaohu F., Barton R., Austik G. Getting biodiesel from fish oil. *Himia I Tehnologia Topliv I Masel* [Chem. Technol. Fuels Oils], 2010, no. 5, pp. 3-7.

11. Galiakbarov A.P., Garipova Z.A., Ahmetov A.V., Baulin O.A., Rahimov M.N. Method of producing esters of rapeseed oil. *Neftepererabotka I Neftehimia* [Oil Proc. Petrochem.], 2011, no.1, pp. 40-43.
12. Caetano C.S., Guerreiro L., Fonseca I.M., Ramos A.M., Vital J., Castanheiro J.E. Esterification of fatty acids to biodiesel over polymers with sulfonic acid groups. *Applied Catalysis A: General*, 2009, vol. 359, no. 1–2, pp. 41-46.
13. Gotovtsev P.M., Lomonosova M.A., Butilin V.V., Mostova E.B., Perkovskaya N.I. Modern technology of biodiesel. *Ovchinnikov Bull. Biotech. Phys. Chem. Biol*., 2013, vol. 9, no. 3, pp. 54-61 (in Russian).
14. Jiang Y., Lu J., Sun K., Ma L., Ding J. Esterification of oleic acid with ethanol catalyzed by sulfonated cation exchange resin: Experimental and kinetic studies. *Energy Conver. Manag*., 2013, vol. 76, no. 12, pp. 980 – 985.
15. Hassan S.Z., Vinjamur M. Parametric effects on kinetics of esterification for biodieselproduction: A Taguchi approach. *Chem. Eng. Sci*., 2014, vol. 110, no. 5, pp. 94-104.
16. Chai M., Tu Q., Lu M., Yang Y. J. Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry. *Fuel Proc. Technol*., 2014, vol. 125, no. 9, pp. 106-113.
17. Lisitsin A.N. Grigorieva V.N., Lishaeva L.N. Rape is a highly valuable multipurpose oilseeds. *Vestnik VNII zirov* [Bulletin of the Russian Scientific Research Institute of Fats], 2013, no. 1, pp. 5-12 (in Russian).
18. Oliveira J.F.G. Biodiesel production from waste coconut oil by esterification with ethanol: The effect of water removal by adsorption. *Renewable Energy*,2010, vol. 35, no. 11, pp. 2581-2584.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ СЕРЕБРА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ

А.Н. ИВАНКИН, *проф., зав. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, д-р. хим. наук*,
Г.Л. ОЛИФЕРЕНКО, *доц. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, канд. хим. наук*,
Ю.М. ЕВДОКИМОВ, *проф. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, канд. хим. наук*,
О.П. ПРОШИНА, *доц. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, канд. хим. наук*

aivankin@inbox.ru, proshina@mgul.ac.ru, evdokur@mail.ru, oliferenko2@inbox.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Рассмотрена проблема получения нанодисперсных материалов, которые можно использовать для модификации свойств древесины и изделий на ее основе. Задача исследования заключалась в разработке подходов к оценке размеров металлических нанокластеров, образующихся в процессе формирования наночастиц тяжелых металлов, в частности, серебра в водно-органической среде. Для получения агрегативно устойчивых высокодисперсных наночастиц Ag использовали химический способ диспергирования металла путем восстановления ионного серебра из его азотнокислой соли до молекулярного состояния в водно-спиртовой среде под воздействием органического восстановителя, в качестве которого применяли 1 % раствор формальдегида. Описана методология определения наноразмерности материалов в жидкой фазе в модельных системах образования наночастиц серебра. Представлены расчетные уравнения для анализа полидисперсных систем с наночастицами Ag , подчиняющихся уравнению Рэлея. Показано, что использование метода светорассеивания позволяет определять размеры образующихся частиц в нанодиапазоне, а формирование нанокластеров Ag протекает во времени. В зависимости от условий образования были обнаружены наночастицы Ag с условным размером от 60 до 160 нм. Использование модельной системы получения наночастиц Ag для пропитки древесины бука позволило увеличить устойчивость древесины к биологическому разрушению. Результаты микробиологического анализа показали, что поверхностная проба на чистоту по содержанию количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, а также по развитию дрожжей и плесеней подтверждает факт того, что образцы древесины, содержащие наночастицы серебра, потенциально обладают большей устойчивостью к биодеградации.

Ключевые слова: нано частицы серебра, композиционные материалы, нанодисперсность.

Нанодисперсные материалы проявляют ряд свойств, которые не являются характерными для агрегатированного состояния вещества [1,2]. Важным проявлением таких свойств является усиление антимикробной активности. Известно, что введение в состав композиционных биоматериалов наночастиц позволяет существенно стабилизировать биохимические изменения композитов, увеличивая тем самым срок его хранения [3–5]. Известно также, что нанодиспергированные материалы, в частности наночастицы металлов переменной валентности, обладают до конца неизученными антимикробными свойствами [5, 6].

Для практических целей при разработке новых композиционных материалов необходима информация об истинной наноразмерности включенных в состав композита нанообразований.

Задача данного исследования заключалась в разработке подходов к оценке размеров металлических нанокластеров, образующихся в процессе формирования наночастиц тяжелых металлов на примере серебра.

Для получения агрегативно устойчивых высокодисперсных металлических наночастиц Ag использовали химический способ диспергирования металла путем восстановления ионного серебра из его азотнокислой соли до молекулярного состояния в 50 %-ной водно-спиртовой среде под воздействием органического восстановителя, в качестве которого использовали 1 % раствор формальдегида. Реакцию получения наночастиц серебра проводили смешением 1:1 0,02 н. растворов нитрата Ag с 25 % раствором аммиака, с последующим прибавлением равных объемов этанола и 1 % формальдегида и нагреванием при 30°С или выстаиванием на свету в течение суток. Образовывались модельные 0,1 % нанозоли, диаметр частиц которых изучали методом светорассеивания по Рэлею [4].

Метод анализа наночастиц в жидкости может быть основан на светорассеивании сильно разбавленных сред [6–8]. Взаимодействие дисперсных частиц с лучом света в газовой среде также позволяет оценивать размеры наночастиц по траектории луча, в качестве которого используют монохроматический лазер [9, 10].

Анализ наноразмерных систем твердых частиц в жидкости можно проводить с использованием турбидиметрической методики [7]. Турбидиметрический метод определения размеров диспергированных в жидкости частиц основан на том, что при прохождении света через коллоидный псевдораствор, содержащий малые частицы, поглощение практически отсутствует. Ослабление интенсивности падающего света равно полной интенсивности света, рассеянного коллоидным псевдораствором во всех направлениях. Для систем с частицами, диаметр которых меньше длины световой волны, величина полного светорассеяния подчиняется уравнению Рэлея [8].

Соотношение между способностью системы рассеивать свет и измеряемой с помощью спектрофотометра оптической плотностью раствора (A) толщиной l при площади сечения в 1 см^2 равно (рис.1)

$$A = lg\,(I_o / I_п), \qquad (1)$$

где I_o и $I_п$ – интенсивности падающего и прошедшего света.

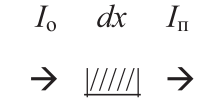


Рис. 1. Ослабление интенсивности света
Fig. 1. Attenuation of light intensity

Для элементарного слоя раствора (на рис.1 он заштрихован) толщина dx ослабленной интенсивности света dI, происходящей в результате его рассеяния, будет равна

$$-dI = \tau I dx, \qquad (2)$$

где I – интенсивность света, падающего на элементарный слой;

τ – коэффициент, характеризующий способность системы рассеивать свет; он называется *мутностью*.

Интегрирование уравнения (2) от $x = 0$ до $x = l$ дает

$$ln\,(I_o / I_п) = 2{,}3lg\,(I_o / I_п) = \tau l. \qquad (3)$$

Как видно из этого уравнения, мутность измеряется в см$^{-1}$. Эта величина, обратная расстоянию, которое должен пройти поток света, чтобы его интенсивность уменьшилась в число e раз.

Исходя из уравнений (1) и (2), можно установить связь между мутностью и оптической плотностью

$$\tau = 2{,}3\,A / l. \qquad (4)$$

Мутность системы τ можно выразить через интенсивность рассеянного света $I_р$. Для 1 см^3 дисперсной системы справедливо основанное на законе сохранения энергии равенство $I_п = I_o - I_р$. Тогда из уравнения (3) при $l = 1$ см следует, что

$$\tau = ln\,(I_o / I_п) = ln\,[\,I_o / (I_o - I_р)\,]. \qquad (5)$$

Учитывая, что $I_р << I_o$, и пользуясь разложением в ряд, отбросив бесконечно малые величины второго порядка малости, можно получить

$$ln\,[\,I_o / (I_o - I_р)\,] \approx ln\,[\,1 + I_р / I_o\,] \approx I_р / I_o.$$

Следовательно,

$$\tau = I_р / I_o. \qquad (6)$$

Исходя из уравнения (6), мутность численно равна световой энергии, рассеиваемой 1 см^3 раствора во всех направлениях, при интенсивности падающего света, равной единице. Для суспензии со сферическими частицами уравнение Рэлея можно написать в виде

Таблица 1

Пример разбавлений модельной системы образования дисперсных частиц серебра в жидкой фазе

Sample dilution model education system of dispersed particles of silver in liquid

Разбавление	A_{546}	$C_{масс}$, г/см^3	$C_{об}$, см^{3}вещества/см^3 системы	τ, см$^{-1}$ $\tau = 2{,}3\ A_{546}/l$	τ/ $C_{об}$
Вода	0,137	–	–	–	–
1:10000	0,159	0,000043	0,000048	0,37	7780
1:5000	0,177	0,00009	0,000095	0,41	4200
1:3000	0,192	0,00015	0,00016	0,42	3020
1:2000	0,243	0,00025	0,00024	0,61	2498

$$I_р/I_о = 24\pi^3/\lambda^4 \cdot [(n_1^2 - n_2^2) / (n_1^2 + n_2^2)]^2 \cdot C_{об} \cdot V, \quad (7)$$

где $I_р$ – полная интенсивность света, рассеянного 1 см^3 системы в 1 сек;

λ – длина волны света, см;

n_1 – показатель преломления дисперсной фазы;

n_2 – показатель преломления дисперсионной фазы;

$C_{об}$ – объемная доля дисперсной фазы;

V – объем частицы, см^3.

Пользуясь уравнениями (6) и (7), размер частиц можно вычислить по уравнению

$$V = (\tau / C_{об}) \cdot 1 / k,$$

где $k = 24\pi^3 /\lambda^4 \cdot [(n_1^2 - n_2^2) / (n_1^2 + n_2^2)]^2$. (8)

Уравнение Рэлея справедливо лишь для разбавленных систем (C << 0,01 мг/л), так как оно не учитывает вторичного рассеяния света и взаимодействия между частицами. Поэтому для определения размера частиц следует найти τ для ряда дисперсий с разной кратностью разбавления и экстраполировать величину τ / $C_{об}$ до $C_{об}$ = 0.

$$[\tau] = lim\ (\tau / C_{об}),\ C_{об} \to 0. \quad (9)$$

При анализе полидисперсных систем, подчиняющихся уравнению Рэлея, вычисляется среднемассовый объем частиц, а достаточно надежные результаты измерения светорассеяния турбидиметрическим методом могут быть получены для систем со сравнительно большими значениями мутности порядка 10^{-2} см$^{-1}$. В табл. 1 показаны расчетные соотношения, по которым построена зависимость τ / $C_{об}$ от $C_{об}$ (рис. 2).

Из данных рис. 2 видно, что наблюдается нелинейность данных, но система подчиняется уравнению Рэлея условно и τ / $C_{об}$ = 8000…9000 при $C_{об} \to 0$.

Экстраполяционное значение τ / $C_{об}$ при $C_{об} \to 0$ может быть принято равным 9000, очевидно, что оно составляет $(9 \pm 2) \cdot 10^3$.

Подставляем полученные значения в уравнение 8 и находим величину k

$$k = 24\pi^3 /\lambda^4 \cdot [(n_1^2 - n_2^2) / (n_1^2 + n_2^2)]^2, \quad (10)$$

где λ – длина волны света $\lambda = \lambda_{вак} / n_2 = 546$ нм / 1,5 = 365·10^{-9} м;

n_1 – показатель преломления дисперсной фазы, равный 1,333;

n_2 – показатель преломления дисперсионной фазы, принимаем рав– ным 1,5 (поскольку для реальных систем величина $n_D^{20} = 1{,}3 \ldots 1{,}7$);

$C_{об}$ – объемная доля дисперсной фазы;

V – объем частицы, см^3.

$k = 24 \cdot 3{,}14^3/(365 \cdot 10^{-9})^4 \cdot [(1{,}333^2 - 1{,}5^2)/(1{,}333^2 + 1{,}5^2)]^2 = (24 \cdot 31)/1{,}77 \cdot 10^{-26} \cdot [(-0{,}48)/(4{,}02)]^2 = (24 \cdot 31)/1{,}77 \cdot 10^{-26} \cdot 0{,}01 = 4{,}2 \cdot 10^{26}$ м$^{-4}$.

Рассчитываем объем глобулярной частицы V по уравнению 8, подставив в него значение τ/ $C_{об}$ (9000) при $C_{об} \to 0$

$V = (\tau / C_{об}) \cdot 1 / k = 9000$ см$^{-1}$ · / $4{,}2 \cdot 10^{26}$ м$^{-4}$ = $= 2{,}14 \cdot 10^{-21}$ м^3.

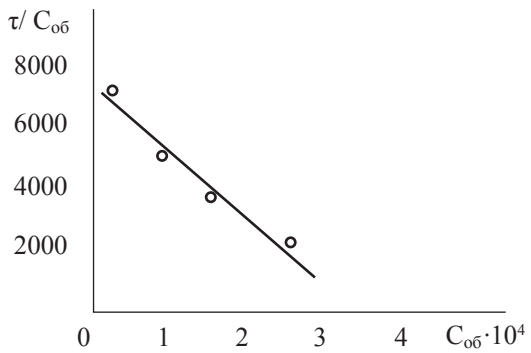


Рис. 2. Зависимость τ/ $C_{об}$ от $C_{об}$

Fig. 2. Dependence of τ / $C_{об}$ $C_{об}$ from

Таблица 2

Дисперсность системы с частицами серебра, нм
Disperse systems with silver particles, nm

Условия получения	Время нагревания, мин				Время выдержки на свету, ч
	10	30	60	180	24
Смешивание (1:1) 0,02 н. раствора $AgNO_3$ с 25 % раствором аммиака, добавление равных объемов этанола и 1 % водного раствора CH_2=O, нагревание при 30°С	60	80	80	100	160

Рассчитываем радиус глобулы в суспензии

$r = \sqrt[3]{3V/4\pi} = \sqrt[3]{0{,}511 \cdot 10^{-21}} = 0{,}8 \cdot 10^{-7}$ м = 80 нм.

Таким образом, средний диаметр сформированных дисперсных частиц серебра в модельной дисперсии, составляет в среднем около 160 нм.

В табл. 2 приведены условные диаметры наночастиц Ag при их формировании в использованной модельной системе. Расчеты для каждой точки проведены аналогично представленным.

Из данных табл. 2 видно, что размерность наночастиц по Рэлею увеличивается по мере развития процесса восстановления ионного серебра.

Описанная модельная система получения наночастиц была использована для пропитки древесины бука.

Результаты бактериального анализа [3] показали, что поверхностная проба на чистоту по содержанию количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), а также по развитию дрожжей и плесеней, подтверждает факт того, что образцы древесины, содержащие наночастицы серебра, потенциально были более чем в три раза устойчивее к биодеградации.

Полученные данные могут быть использованы для разработки новых нанобиокомпозитов на основе растительных материалов.

Библиографичес3кий список

1. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе / Под ред. А.Н. Обливина. – М.: МГУЛ, 2011 – 220 с.
2. Сергеев, Г.Б. Нанохимия. – М.: КДУ, 2007. – 336 с.
3. Ivankin, A.N. Nano-silver as a potential protective material for foodstuff on the basis of animal row material / A.N. Ivankin, O.L. Figovsky, Yu.M. Evdokimov, N.A. Gorbunova // Scientific Israel – Technological Advantages (SITA–journal). – 2011. – V.13. – № 1. – P. 20 – 23.
4. Серов, А.В. Антимикробный препарат на основе наносеребра / А.В. Серов, В.И. Шипулин, И.М. Шевченко // Мясная индустрия. – 2010. – № 2. – С. 29–32.
5. Sarkar, S. Facile synthesis of silver nano particles with highly efficient anti-microbial property/ S. Sarkar, A.D. Jana, S.K. Samanta, G. Mostafa // Polyhedron. – 2007. – V. 26. – № 15. – P. 4419 – 4426.
6. Кузнецова, Т.Г. Наноидентификация нанообъектов в составе сырья и продуктов пищевого назначения / Т.Г. Кузнецова, Е.Б.Селиванова, А.В. Богданова, А.Н. Иванкин // Экологические системы и приборы. – 2012. – № 2. – С.18–22.
7. Копунова, Г.А. Аналитическая химия: лабораторные работы: учебно-методическое пособие / Г.А. Копунова, Г.Л. Олиференко, В.А.Беляков, А.Н. Иванкин. – М.: МГУЛ, 2012. –16 с.
8. Иванкин, А.Н. Устройство для определения размера наночастиц в жидкости / А.Н. Иванкин, Г.Л. Олиференко. Пат. РФ № 96372 U1. Заявл. 01.03.10. Опубл. 27.07.2010. Бюл. № 21.
9. Лиханова, Л.М. Определение размера наночастиц композиционных материалов методом корреляционной спектроскопии / Л.М. Лиханова, В.А. Беляков, Ю.П. Семенов, А.Н. Иванкин // Технология и оборудов. для переработки древесины: сб. науч. Тр. – Вып. 358. – М: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – С. 162 – 170.
10. Vossmeyer, T. CDS nanoclusterssynthesis, characterization, sizede-pendent oscillator strength, temperature shift of the excitonictransition energy, and reversible AB sorbency shift / T. Vossmeyer, L. Katsikas, M. Giersig, I. Popovic // J. Phys. Chem. – 1994. – V.98. – P. 7665 – 7673.

THE RECEIVING OF THE SILVER NANO PARTICLES FOR MODIFYING PROPERTIES OF WOOD-BASED COMPOSITES

Ivankin A.N., Prof. Faculty of chemistry and biotechnology MSFU, Dr., Oliferenko G.L., Associate Prof., Faculties of chemistry and biotechnology MSFU, D, Evdokimov Yu.M, Prof. Faculty of chemistry and biotechnology MSFU, PhDr., Proshina O.P., Associate Prof. Faculties of chemistry and biotechnology MSFU, PhD

aivankin@inbox.ru, proshina@mgul.ac.ru, evdokur@mail.ru, oliferenko2@inbox.ru
Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

The problem of obtaining of nano materials that you can use to modify the properties of wood and wood products was investigated. The subject of the study was to develop approaches to estimating the size of nano metal clusters generated in the process of formation of nano particles of heavy metals, particularly silver in water-organic medium. To obtain the highly stable dispersed of Ag nanoparticles we use the chemical method of dispersing metal by recovery of ionic silver nitrate to molecular condition in water-alcohol environment under the influence of organic reducing agent, which is used as a 1 % solution of formaldehyde. A methodology for the determination of nano dimensions material in a liquid phase in model systems of education of silver nano particles was described. The mathematical equation for analysis of polydisperse particle systems Ag, subordinated to the Rayleigh equation are presented. It is shown that the use of hydrodynamical method enables you to determine the size of the particles in the nanometer range, and the formation of nano cluster of Ag runs in time. Depending on the conditions of formation of Ag nano particles we were found the particles with size from 60 to 160 nm. The use of a model system of nanoparticles Ag for impregnation of wood of a Beech has increased the resistance of wood to biological decay. Results of microbiological analysis have shown that surface sample purity content of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms, as well as yeast and mold development confirms that the specimens of wood containing silver nanoparticles, potentially have greater resistance to biodegradation.

*Key words***:** *silver nano particles, composite materials, nano dispersion*

References

1. *Nanotehnologe i nanomaterialy v lesnom komplekse* [Nano technology and nano materials in forestry]. Ed. A.N. Oblivin. Moscow, MSFU Publ., 2011. 220 p. (in Russian).
2. Sergeev G.B. *Nanohimia* [Nano chemistry]. Moscow, KDU, 2007. 336 p. (in Russian).
3. Ivankin A.N., Figovsky O.L., Evdokimov Yu.M., Gorbunova N.A. Nano-silver as a potential protective material for foodstuff on the basis of animal row material. Scientific Israel – Technological Advantages (SITA–journal), 2011, vol. 13, no. 1, pp. 20 – 23.
4. Serov A.V., Shipulin V.I., Shevchenko I.M. Antimicrobial drug based on nano silver. *Myasnaya Industria* [Meat Industry], 2010, no. 2, pp. 29–32 (in Russian).
5. Sarkar S., Jana A.D., Samanta S.K., Mostafa G. Facile synthesis of silver nano particles with highly efficient anti-microbial property. *Polyhedron*, 2007, vol. 26. no. 15, pp. 4419 – 4426.
6. Kuznetsova T.G., Selivanova E.B., Bogdanova A.V., Ivankin A.N. Nano objects identification of raw materials and products of edible products. *Ekologicheskie sistemy I pribory* [Environmental Systems and Devices], 2012, no. 2, pp. 18–22 (in Russian).
7. Kopunova G.A., Oliferenko G.L., Beliakov V.A., Ivankin A.N. *Analytical Chemistry: laboratory work: training manual*. Moscow, MSFU Publ., 2012. 16 p. (in Russian).
8. Ivankin A.N. et al. *Device for determining the size of nanoparticles in liquid*. Patent RU 96372, 2010.
9. Lihanova L.M., Beliakov V.A. Semenov Yu.P., Ivankin A.N. Determining the size of nanoparticles composites using correlation spectroscopy . *Trudy MGUL «Tehnologia dlia pererebotki drevesini»* [Proc. of the MSFU «Technology and equipment for wood processing»], 2012, vol. 358, pp. 162 – 170 (in Russian).
10. Vossmeyer T., Katsikas L., Giersig M., Popovic I. CDS nanoclusterssynthesis, characterization, sizede-pendent oscillator strength, temperature shift of the excitonictransition energy, and reversible AB sorbency shift. *J. Phys. Chem*., 1994, vol. 98, pp. 7665 – 7673.

НАНОМАТЕРИАЛЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В.А. МАКУЕВ, *проф. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, член-кор. РАЕН, д-р техн. наук,*
В.С. НАЙМАН, *вед. инж. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук,*
Е.Е. КЛУБНИЧКИН, *доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук,*
В.Е. КЛУБНИЧКИН, *доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук*

klubnichkin@mgul.ac.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В статье рассмотрена экологическая проблема использования двигателей внутреннего сгорания, работающих на жидком углеводородном топливе, при сгорании которых в атмосферу выбрасывается значительное количество вредных отравляющих веществ. В настоящее время ведется активный поиск альтернативных видов топлив, особенно биотоплива, но также ведутся разработки двигателей с использованием водорода.На кафедре колесных и гусеничных машин ФГБОУ ВПО МГУЛ проводятся поисковые работы по использованию озона, получаемого из проходящего воздуха для образования горючей смеси, позволяющего улучшить показатели процесса горения углеводородной смеси. Присутствие озона в горючей смеси улучшает полноту горения, так как озон обладает лучшими окислительными свойствами по сравнению с кислородом. По полученным четырем патентам на двигатели внутреннего сгорания можно отметить несколько положительных моментов: сгорание топлива полностью без выброса в атмосферу вместе с выхлопными газами; новое техническое решение систем образования горючей смеси из современных компонентов.В статье рассмотрена примерная конструкция с использованием нано материала, пропускающего в камеру сгорания для образования горючей смеси только чистый кислород, при этом азот не пропускается, что значительно улучшит тепловой процесс в двигателе внутреннего сгорания.

Ключевые слова: двигатель, топливо, камера сгорания, кислород, озон, горючая смесь, выхлопные газы, горение, наноматериал.

В настоящее время экологические проблемы использования двигателей внутреннего сгорания (ДВС), связанные со сжиганием углеводородных топлив, актуальны, как и экономия топлива и поиск новых видов альтернативных (растительных) топлив. В Московском государственном университете леса эту проблему решают на кафедре колесных и гусеничных машин.

На состав выхлопных газов ДВС большое влияние оказывает режим работы двигателя, поэтому для конкретной машины необходимы определенные условия работы и нагрузочные режимы [9]. Исследованиями установлено, что окись углерода CO в больших количествах образуется при работе бензиновых двигателей на богатых горючих смесях при коэффициенте избытка воздуха меньше единицы [1]. Однако такой недостаток является субъективным, и устранить его полностью любыми способами не удается.

У бензиновых двигателей горючая смесь, поступающая в цилиндры в готовом виде, более однородная, чем в дизельных двигателях, поэтому в выхлопных газах практически сажи не бывает. Однако много сажи выделяется с выхлопными газами в дизельных двигателях, так как в зонах с очень богатой смесью молекулы углерода, образовавшиеся при высокой температуре, не успевают прореагировать с кислородом [2].

Сотрудниками кафедры запатентованы устройства, которые способствуют уменьшению количества расхода топлива, увеличению эффективности двигателя и решению экологической проблемы за счет уменьшения выброса вредных выхлопных газов в атмосферу. Для решения этих вопросов были использованы новые технические разработки и наноматериалы.

По патенту РФ № 85443 [3] авторами предложено в канал воздуховода смонтировать озонатор, а для контроля концентрации озона, преобразованного из кислорода воздуха, поместить озонометр. Для работы озонатора в отсеке двигателя устанавливают источник энергии. Присутствие озона в горючей смеси улучшает полноту горения, так как озон обладает лучшими окислительными свойствами по сравнению с кислородом.

По патенту РФ № 88393 [4] авторами предложено установить воздушный фильтр в виде проницаемой мономолекулярной пленки, управляемой электрическим полем, которая служит мембраной, пропускающей только

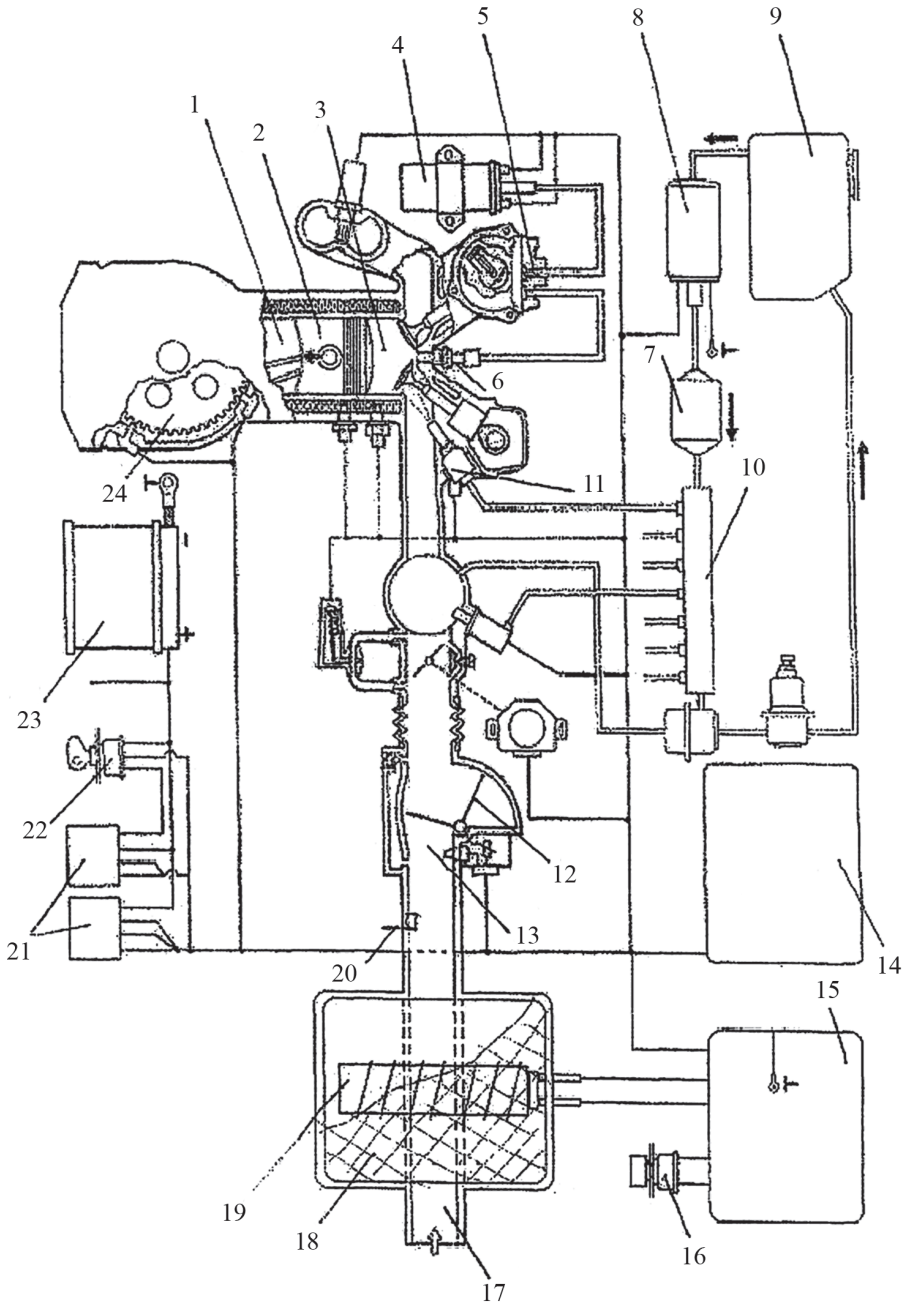


Рисунок. Схема устройств и агрегатов ДВС: 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – камера сгорания; 4 – катушка зажигания; 5 – прерыватель-распределитель; 6 – свеча; 7–11 – система подачи топлива; 12 – воздушная заслонка; 13 – воздуховод; 14 – датчик вращения коленчатого вала; 15 – дополнительный источник энергии; 16 – выключатель озонатора; 17 – входной воздушный патрубок; 18 – наноматериал; 19 – озонатор

Figure. Scheme devices and units of ICE: 1 - a cylinder; 2 - piston; 3 - combustion chamber; 4 - ignition coil; 5 - breaker distributor; 6 - candle; 7-11 - fuel supply system; 12 - air damper; 13 - the air; 14 - the gauge of rotation of the crankshaft; 15 - additional source of energy; 16 - switch ozonator; 17 - the air inlet pipe; 18 - nanomaterial; 19 - ozonator

кислород. На двигателе также устанавливают источник электрического поля мембраны. Поступление кислорода вместо воздуха для создания горючей смеси также улучшает процесс горения, т.е. топливо сгорает почти полностью без выброса остатков в атмосферу вместе с выхлопными газами [7, 8, 10].

Дальнейшие поиски новых решений привели к совершенствованию конструкций. Это заявлено в патентах РФ № 97169 [5] и № 97170 [6], в которых предложены новые технические решения систем образования горючей смеси из современных компонентов, например, на рис. 1 показана схема по патенту

РФ № 97170, где в цилиндр 1 под поршень 2 в камеру сгорания 3 подается горючая смесь, которая воспламеняется высоким напряжением тока от катушки 4, проходя через прерыватель-распределитель 5 разрядом на свече 6. Топливо подается через систему агрегатов 7;8;9;10 и 11. Подача воздуха происходит по воздуховоду 17 и после очистки воздушным фильтром воздух проходит через наноматериал 18, где задерживается азот, а проходит дальше только кислород, который озонатором 19 преобразуется в озон для создания горючей смеси.

Продукты сгорания топлива, которые выполняют механическую работу в цилиндрах двигателя, получаются в результате окисления углерода топлива в соответствии с химическими реакциями

$C + O_2 = CO_2$(полное сгорание топлива);

$2C + O_2 = 2CO$ (неполное сгорание топлива);

а также образуется вода

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O.$$

Количество поступающего топлива и воздуха регулируется в зависимости от режима работы ДВС. С учетом весового содержания в 1 кг топлива углерода, водорода и кислорода количество необходимого кислорода воздуха равно

$$8/2 \times 0{,}854 + 8 \times 0{,}142 - 0{,}003 = 3{,}41 \text{ кг.}$$

Теоретически для полного сгорания 1 кг топлива требуется следующее количество воздуха L_0

$$L_0 = 1/0{,}23 \times 3{,}41 = 14{,}83 \text{ кг.}$$

Однако, как известно, воздух состоит из 20,95 % кислорода O_2, 78,08 % азота N, остальное – инертные газы, углекислый газ, водяной пар и др.

Процессы смесеобразования и горения горючей смеси в ДВС не являются оптимальными, так как азот N не поддерживает горения. В полезных моделях по патентам, приведенным выше, предложено оснастить систему очистки и подачи воздуха дополнительно озонатором, источником питания озонатора, а также озонометром. Получение озона O_3 в воздуховоде ДВС обеспечит лучшее смесеобразование и горение смеси, так как озон имеет сильные окислительные свойства. Сгорание углеводорода в камере сгорания ДВС получается в соответствии с химическими реакциями

$$3C + 2O_3 = 3CO_2 \text{ (полное сгорание);}$$

$$3C + O_3 = 3CO \text{ (неполное сгорание);}$$

$$3H_2 + O_3 = 3H_2O.$$

При работе ДВС в атмосферу выбрасываются не только токсичные газы, но и двуокись углерода CO_2, которая играет важную роль в атмосфере земли, поэтому не является нарушением экологических норм. Однако азотные соединения, которые образуются в процессе горения, до сих пор не учитываются и влияние азота на тепловой процесс в двигателе не рассматривался. Вопросы выброса углекислого газа и азотных соединений, а также их возможное практическое использование требуют дополнительных исследований.

Поэтому следующим решением проблемы стало дополнение к воздушному фильтру кислородопроводящей мембраны, управляемой электрическим полем [5]. Такое конструктивное решение позволяет исключить поступление азота N в камеру сгорания двигателя. Это устройство даст возможность улучшить смесеобразование и условия горения. В целом это решение позволит снизить расход топлива и увеличить эффективность ДВС без существенных конструктивных изменений.

Библиографический список

1. Ерхов, А.В. Тепловой и динамический расчет двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / А.В. Ерхов, В.С. Извеков. – 4-е изд. – М.: МГУЛ, 2009. – 40 с.
2. Котиков, В.М. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли (колесные и гусеничный лесные машины), Т.1. Двигатели внутреннего сгорания : учебник / В.М. Котиков [и др.]. – М.: МГУЛ,. 2007. – 353 с.
3. Пат. 85443 Российская Федерация на полезную модель, МПК F02B 1/00. Двигатель внутреннего сгорания / Макуев В.А., Клубничкин Е.Е., Найман В.С., Клубничкин В.Е.; заявитель и патентообладатель МГУЛ (RU). – № 2009105277/22; заявл. 17.02.2009; опубл. 10.08.2009 , Бюл. № 22. – 1 с.
4. Пат. 88393 Российская Федерация на полезную модель, МПК F02B 1/00. Двигатель внутреннего сгорания / Макуев В.А., Галкин Ю.С., Клубничкин Е.Е., Найман В.С., Клубничкин В.Е.; заявитель и патентообладатель МГУЛ (RU). – № 2009111616/22;

заявл. 01.04.2009; опубл. 10.11.2009 , Бюл. № 31. – 1 с.: ил.
5. Пат. 97169 Российская Федерация на полезную модель, МПК F02B 47/00. Двигатель внутреннего сгорания / Макуев В.А., Клубничкин Е.Е., Найман В.С., Клубничкин В.Е., Овсянников И.А.; заявитель и патентообладатель МГУЛ (RU). – № 2010107344/06; заявл. 01.03.2010; опубл. 27.08.2010 , Бюл. № 22. – 1 с.: ил.
6. Пат. 97170 Российская Федерация на полезную модель, МПК F02B 47/00. Двигатель внутреннего сгорания / Макуев В.А., Клубничкин Е.Е., Найман В.С., Клубничкин В.Е. Овсянников И.А.; заявитель и патентообладатель МГУЛ (RU). – № 2010107350/06; заявл. 01.03.2010; опубл. 27.08.2010 , Бюл. № 24. – 2 с.: ил.
7. Воскобойников, И.В. Многооперационные лесные машины. Монография. Том 1, / И.В. Воскобойников, В.А. Кондратюк, В.М. Крылов, Д.В. Кондратюк, Е.Е. Клубничкин. – М.: МГУЛ, 2013. – 480 с.
8. Воскобойников, И.В. Многооперационные лесные машины. Монография. Том 2, / И.В. Воскобойников, В.А. Кондратюк, В.М. Крылов, Д.В. Кондратюк, Е.Е. Клубничкин. – М.: МГУЛ, 2013. – 496 с.
9. Клубничкин, В.Е Оценка влияния внешних условий на лесозаготовительные машины/ В.Е. Клубничкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – № 6. – С. 119–123.
10. Ксеневич, И.П. Наземные тягово-транспортные системы Том 3. / И.П. Ксеневич, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. Энциклопедия. – М.: Машиностроение, 2003. – 788 с.

NANOMATERIALS AND THEIR USE IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Makuev V.A., prof. Univ. wheeled and tracked vehicles MFSU, Corresponding Member. RANS, Dr. Sc. Sciences, Nayman V.S., Lead. Ing. Univ. wheeled and tracked vehicles MFSU, PhD. tehn. Sciences, Klubnichkin E.E., Assoc. Univ. wheeled and tracked vehicles MFSU, PhD. tehn. Sciences, Klubnichkin V.E., Assoc. Univ. wheeled and tracked vehicles MFSU, PhD. tehn. Sciences

klubnichkin@mgul.ac.ru
Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

The article describes the use of an environmental problem of internal combustion engines operating on liquid hydrocarbon fuels, which when burned emits a significant amount of harmful toxic substances currently under active search for alternative fuels, especially biofuels, but also being developed engines using hydrogen. At the Department of wheeled and tracked vehicles Moscow State Forest University conducted exploratory work on the use of ozone produced from the passing air to form a combustible mixture, allowing for improved performance of the process of combustion of a hydrocarbon mixture. The presence of ozone in a combustible mixture improves the completeness of combustion, since ozone has superior oxidation properties compared to oxygen. According to the obtained four patents for internal combustion engines can note some positive things: completely without combustion venting with the exhaust gases; new technical solution to the education systems of the combustible mixture of modern components. The article describes an exemplary structure using nano transmissive material in the combustion chamber to form a combustible mixture only pure oxygen, wherein nitrogen is not skipped, which greatly improves the thermal process in a combustion engine.

Key words: engine, fuel, combustion chamber, oxygen, ozone, fuel mixture, exhaust fumes, burning, nanomaterial.

References

1. Erkhov A.V., Izvekov V.S. *Teplovoy i dinamicheskiy raschet dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Thermal and dynamic analysis of internal combustion engines]. Moscow, MGUL, 2009, p. 40.
2. Kotikov V.M., e.a. *Teoriya i konstruktsiya mashin i oborudovaniya otrasli* (*kolesnye i gusenichnyy lesnye mashiny*) [Theory and construction machinery and equipment industry (wheeled and tracked forestry machines)], T.1. Moscow, MGUL, p. 353.
3. Makuev V.A., Klubnichkin E.E., Nayman V.S., Klubnichkin V.E. *Dvigatel' vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engine]. Patent RF, no. 85443, 2009.
4. Makuev V.A., Galkin Yu.S., Klubnichkin E.E., Nayman V.S., Klubnichkin V.E. *Dvigatel' vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engine]. Patent RF, no. 88393, 2009.
5. Makuev V.A., Klubnichkin E.E., Nayman V.S., Klubnichkin V.E., Ovsyannikov I.A. *Dvigatel' vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engine]. Patent RF, no. 97169, 2010.
6. Makuev V.A., Klubnichkin E.E., Nayman V.S., Klubnichkin V.E., Ovsyannikov I.A. *Dvigatel' vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engine]. Patent RF, no. 97170, 2010.
7. Voskoboinikov I.V. , Kondratyuk V.A., Krylov V.M., Kondratyuk D.V., Klubnichkin E.E. *Mnogooperatsionnye lesnye mashiny* [Multioperational forest machines]. Monograph. Volume 1. 2013. p. 480.
8. Voskoboinikov I.V. , Kondratyuk V.A., Krylov V.M., Kondratyuk D.V., Klubnichkin E.E. *Mnogooperatsionnye lesnye mashiny* [Multioperational forest machines]. Monograph. Volume 2. 2013. p. 496.
9. Klubnichkin V.E. *Otsenka vliyaniya vneshnikh usloviy na lesozagotovitel'nye mashiny* [Evaluation of the influence of external conditions on forest machines]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik. № 6, 2010 pp 119-123.
10. Ksenevich I.P., Goberman L.A., Goberman V.A. *Nazemnye tyagovo-transportnye sistemy* [Ground trailer transport systems]. Volume 3. Encyclopedia. – Moscow, *Mashinostroenie* [Engineering], 2003. p. 788.

ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО СЛУЧАЙНОМУ ПРОФИЛЮ ПУТИ

М.В. ПОДРУБАЛОВ, *доц. каф. технической механики МГУЛ, канд. техн. наук,*
В.К. ПОДРУБАЛОВ, *доц. каф. теории и конструирования машин МГУЛ, канд. техн. наук*

podrubalov@mgul.ac.ru, podrubalov@bk.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В статье приведены результаты теоретических исследований по выбору рациональных параметров системы виброзащиты лесохозяйственной модификации трактора мощностью 110 кВт с подрессоренным сиденьем оператора и зависимыми подвесками передних и задних колес. Представлены расчетная схема динамической системы и математическая модель, описывающая стационарные вертикальные колебания различных масс трактора при моделировании его движения по случайному профилю пути. За целевую функцию качества взяты вибрационные характеристики – среднеквадратические значения вертикальных ускорений на сиденье в соответствии с требованиями старого и нового стандартов по условиям труда при оценке вибрации на эталонных треках. Алгоритмы модели были реализованы на ЭВМ. Выявлено, что оптимальными являются вариант с жесткостями подвески колес и сиденья 50 и 4,3 кН/м и коэффициентами сопротивления 4 и 0,5 кНс/м – удовлетворяет СТ ИСО 2631, а также соответственно 70; 4,3 кН/м и 8; 0,5 кНс/м – удовлетворяет ГОСТ 12.2.019-86, но не удовлетворяет СТ ИСО. При этом максимальные динамические прогибы подвесок колес составляют 36… 48 мм. Для жесткости подвески колес более 70 кН/м не удается сколько-нибудь существенно приблизиться даже к отечественному нормативу. Расчетами показано, что для трактора с оптимальными подвесками колес подвеска сиденья практически неэффективна в диапазоне частот до 2,8 Гц. Для неподрессоренного варианта снижение уровня вибрации подвеской сиденья доходит до 25% начиная с частот 1,4 Гц, однако сам уровень ускорений при этом составляет большие величины (3,4…3,7 м/с^2 в диапазоне частот 1,4 – 2,8 Гц). Экспериментальными данными по параметрам возбуждений от искусственных треков и лесных фонов установлено, что выводы, полученные при использовании в математической модели в качестве входного воздействия эталонного трека, практически инвариантны для пасечного волока и лесной дороги.

Ключевые слова: колесный трактор, возбуждение, математическая модель, вибрация, эталонный фон, лесной фон, спектральный анализ.

Создание энергонасыщенного трактора со всеми колесами одинакового размера мощностью 110 кВт, которое осуществляется в России, предполагает разработку ряда модификаций его конструкции для основных отраслей производства страны. Одно из главных мест в этом занимает проектирование на его базе лесохозяйственных машин различного назначения. Множественность компоновочных решений по размещению специального оборудования для лесных технологий обеспечивается наличием у трактора рамы и размещением кабины на любом ее участке. Рамная конструкция остова обуславливает также применение неразрезных переднего и заднего мостов.

Одним из факторов, от которых зависит конкурентноспособность мобильной машины, являются ее комфортабельность, производительность и долговечность. Поэтому разработка для машины эффективной системы виброзащиты, обеспечивающей снижение динамической нагруженности различных узлов и агрегатов, улучшение условий труда оператора, повышение тягово-сцепных свойств, уменьшение динамических составляющих воздействия на почву и грунт, а также увеличения производительности труда является крайне актуальной. Определяющим элементом в структурной схеме системы виброзащиты, влияющим на перечисленные выше факторы, является система подрессоривания остова трактора [1].

Диапазон статических нагрузок на одну подвеску трактора с учетом его различного применения может составлять от 7 до 30–40 кН. Для такого диапазона невозможно подобрать нерегулируемый упругий элемент подвески, который удовлетворял бы требованиям по обеспечению энергоемкости, минимальной материалоемкости и сохранению постоянного значения собственной частоты колебаний остова. Поэтому, учитывая также и компоновку, при задании параметров в расчетной оценке вибронагруженности трактора нами предполагалось применение зависимой регулируемой пневматической подвески, как наиболее перспективной.

Составим расчетную схему динамической системы трактора (рис.1). На схеме трактор интерпретируется в виде системы твердых тел, соединенных голономными упруго-дисси-

пативными связями, колебания которой могут быть описаны системой дифференциальных уравнений. Вследствие того, что по своей компоновке трактор практически симметричен по отношению к опорам (развесовка 52% на 48%), то можно на начальном этапе исследований принять коэффициент распределения подрессоренных масс в пределах 0,8–1,2. При таких значениях колебания передней части машины происходят практически независимо от колебаний задней части [2] и, следовательно, расчетную схему можно представить цепной моделью динамической системы (рис.1). В этом случае рассматриваются только вертикальные колебания неподрессоренной m_1, подрессоренной m_2 масс трактора и оператора m_3 при условном расположении кабины и сидения над каким-либо мостом. Необходимо отметить, что такое расположение сиденья будет являться лимитирующим по уровню вертикальной вибрации оператора.

Расчетная оценка вибронагруженности трактора при случайном стационарном кинематическом воздействии проводилась по линейной математической модели. При этом допущения, используемые при моделировании колебаний масс трактора и оператора, являются общепринятыми [2] и поэтому в статье не приводятся. Учитывая то, что массы подрессоренных и неподрессоренных частей остова трактора существенно выше, чем подрессоренная масса оператора и сиденья, связь между ними моделировалась как детекторная.

При таком подходе дифференциальные уравнения колебаний масс m_1 и m_2 динамической системы (рис.1) с учетом перемены знака имеют вид

$$m_1\ddot{q}_1+k_1(\dot{q}_1-\dot{Q}_1)+c_1(q_1-Q_1)+k_2(\dot{q}_1-\dot{q}_2)+c_2(q_1-q_2)=0;$$
$$m_2\ddot{q}_2 + k_2(\dot{q}_2 - \dot{q}_1) + c_2(q_2 - q_1) = 0. \quad (1)$$

После преобразования Фурье уравнений (1) получим

$$[m_2\omega^2 + k_2(j\omega) + c_2]q_2(j\omega) - [k_2(j\omega) + c_2]\, q_1(j\omega) = 0, \quad (2)$$

где $q_{1,2}(j\omega)$ и $Q_1(j\omega)$ – преобразования Фурье функций $q_{1,2}(t)$ и $Q_1(t)$,

ω – частота, рад/с; $j = \sqrt{-1}$.

Из системы уравнений (2) можно определить частотные характеристики рассматриваемой системы

$$W_{q1}(j\omega) = q_1(j\omega)/Q_1(j\omega);$$
$$W_{q2}(j\omega) = q_2(j\omega)/Q_1(j\omega), \quad (3)$$

При умножении частотных характеристик (3) на их комплексно-сопряженные выражения получим исходные формулы для расчета вибронагруженности трактора

$$|W_{q1}(j\omega)|^2 = C/B;$$
$$\left|W_{\ddot{q}_2}(j\omega)\right|^2 = \omega^4\left|W_{q_2}(j\omega)\right|^2 = \frac{\omega^4 A}{B};$$
$$|W_{q1-Q1}(j\omega)|^2 = E/B;\ |W_{q2-q1}(j\omega)|^2 = D/B, \quad (4)$$

где $A = (c_1c_2 - k_1k_2\omega^2)^2 + (c_2k_1 + c_1k_2)^2\omega^2$;

$B = \{c_1c_2 - [m_2(c_1 + c_2) + k_1k_2 + m_2c_2]\omega^2 + m_1m_2\omega^4\}^2 + \{(c_2k_1 + c_1k_2)\omega - [m_2(k_1 + k_2) + m_1k_2]\omega^3\}^2$;

$C = [c_1c_2 - (m_2c_1 + k_1k_2)\omega^2]^2 + [(c_2k_1 + c_1k_2)\omega - m_2k_1\omega^3]^2$;

$D = \omega^4m_2^2(c_1^2 + k_1^2\omega^2)$;

$E = [m_1m_2\omega^4 - c_2(m_1 + m_2)\omega^2]^2 + [k_2(m_1 + m_2)\omega^3]^2$

Выходные спектральные характеристики динамической системы для масс m_1 и m_2 рассчитывались как

$$S_{q2}(\omega) = |W_{q2}(j\omega)|^2\, S_{Q1}(\omega);$$
$$S_{\ddot{q}_2}(\omega) = \left|W_{\ddot{q}_2}(j\omega)\right|^2 \cdot S_{Q_1}(\omega);$$
$$S_{q1-Q1}(\omega) = |W_{q1-Q1}(j\omega)|^2\, S_{Q1}(\omega);$$
$$S_{q2-q1}(\omega) = |W_{q2-q1}(j\omega)|^2\, S_{Q1}(\omega); \quad (5)$$

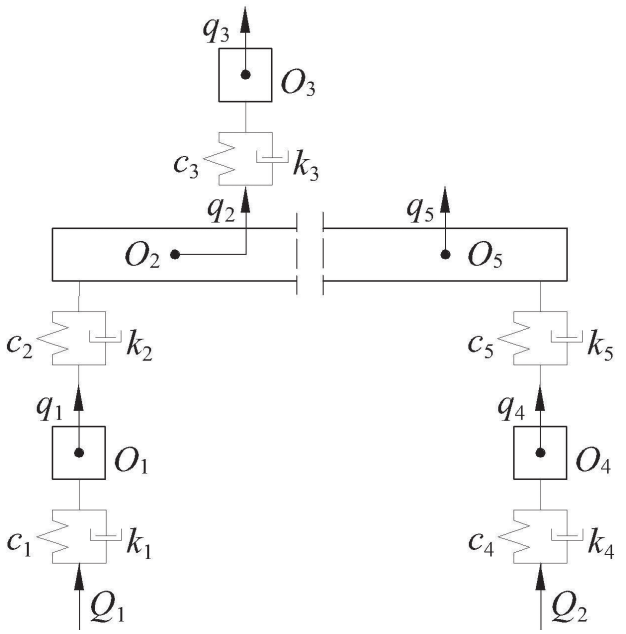


Рис. 1. Расчетная схема динамической системы трактора

Fig. 1. Calculation scheme of the dynamical system of the tractor

где

$$S_{Q_1}(\omega) = \frac{2\alpha_v}{\pi}\sigma^2_{Q_1} \cdot \frac{\omega^2 + \alpha_v^2 + \beta_v^2}{\left(\omega^2 - \alpha_v^2 - \beta_v^2\right)^2 + 4\alpha_v^2\omega^2};$$

$\alpha_v = \alpha \cdot v$; $\beta_v = \beta \cdot v$ – коэффициенты аппроксимации корреляционной функции воздействия (1/с) при скорости трактора v, м/с;

σ^2_{Q1} – дисперсия ординат профиля пути, м^2.

Для оценочных выходных спектральных характеристик вибронагруженности оператора на сиденье спектры (5) являются входными функциями. Поэтому с учетом ранее принятых допущений для одномассовой системы можно записать

$$S_{\ddot{q}_3}(\omega) = \left|W_{q_3}(j\omega)\right|^2 \cdot S_{\ddot{q}_2}(\omega);$$
$$S_{q3-q2}(\omega) = |W_{q3-q2}(j\omega)|^2 S_{q2}(\omega);$$
$$|W_{q3}(j\omega)|^2 = D_1/D_2;$$
$$|W_{q3-q2}(j\omega)|^2 = \omega^2 m_3/c_3 \times 1/D_2; \qquad (6)$$

где

$$D_1 = 1 + \omega^2(k_3/c_3)^2;$$
$$D_2 = 1 - \omega^2(m_3/c_3)^2 + \omega^2(k_3/c_3)^2.$$

Для того, чтобы провести сравнение уровня вибрации на сиденье оператора на соответствие с его величиной отечественного и международного стандарта [3,4] (табл.1), необходимо получить оценки среднеквадратических значений (СКЗ) вертикальных ускорений в октавных диапазонах частот (ОДЧ): 0,7–1,4 Гц – среднегеометрическая частота (СГЧ) 1 Гц; 1,4–2,8 Гц –СГЧ 2 Гц; 2,8–5,6 Гц – СГЧ 4 Гц; 5,6 – 11,2 Гц – СГЧ 8 Гц. Эти оценки, а также СКЗ прогибов шины и подвески колеса рассчитывались по формуле

$$\sigma^i_{\ddot{q}_3,\Delta_{1,2}} = \sqrt{\int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} S_{\ddot{q}_3,\Delta_{1,2}}(\omega)\, d\omega}, \qquad (7)$$

где ω_i, ω_{i+1} – граничные частоты ОДЧ, $i = \overline{1,4}$;

$\Delta_1 = q_1 - Q, \Delta_2 = q_2 - q_1$ – деформации (прогибы) шины и упругого элемента подвески колеса

По представленным алгоритмам (3–7) была разработана компьютерная программа расчета характеристик вибронагруженности масс трактора и оператора. В качестве входного кинематического воздействия на вход динамической системы подавалось возбуждение от эталонного агрофона при скорости движения трактора 2,5 м/с. Эти фон и скорость являлись стандартными для испытаний с.-х. техники и лесных машин по оценке вибрации на сиденье оператора [5]. Параметры спектра воздействия, рассчитываемого по формуле (5), при этом следующие [7]: $\sigma^2_{Q1} = 2{,}28 \cdot 10^{-4}$ м^2, $\alpha_v = 4{,}5$ 1/с, $\beta_v = 3{,}1$ 1/с. В настоящее время для колесных тракторов и самоходных машин в качестве эталонных приняты фоны СТ ИСО [6].

В табл. 2 представлены вибрационные характеристики возбуждений от эталонных искусственных треков [8] и лесных фонов. Скорости для треков регламентированы самими стандартами [5, 6]. Скорости движения машины по пасечному волоку и лесной дороге выбраны как предельные на основании опыта ранее проведенных испытаний колесного лесохозяйственного трактора в производственных условиях [9] и, для лучшего сравнения, равными скорости движения по треку агрофона. Методика регистрации и обработки экспериментальных данных по лесным фонам соответствовала [10].

Анализ данных табл. 2 показывает, что уровень возбуждения вертикальной вибрации машины при выбранном в представленной работе режиме движения выше, чем для других треков во всех рассматриваемых диапазонах частот. Т.е. ясно, что при оптимизации, если трактор будет выполнять рекомендации стандартов (табл. 1) для используемого нами возбуждения от агрофона, то они будут выполняться и для эталонных дорог.

Несколько иная картина у возбуждений от реальных лесных фонов. Наибольшие отличия от параметров агрофона они имеют в 1 ОДЧ (29–25 %) и 4 ОДЧ (9,6–4,6 раз! – очень низкие величины), т.е. в тех диапазонах, где колесные машины легко выполняют требования стандартов (см. ниже).

В 3 ОДЧ их превышения лежат в том же диапазоне значений, что и у треков дорог, поэтому здесь приведенный выше вывод тот же. Для 2 ОДЧ возбуждение у пасечного волока практически совпадает с возбуждением от агрофона (0,97), а у лесной дороги его уровень на 19% выше. Именно только это можно рассматривать и при необходимости учитывать (вводя коррекцию) при анализе резуль-

Таблица 1

Рекомендуемые [4] и допускаемые [3] СКЗ ускорений (м/с²) на сиденье
Featured [4] and allowed [3] RMS accelerations (m/s²) on the seat

СГЧ, Гц	Диапазон частот, Гц	СТ ИСО 2631 [4]		ГОСТ 12.2.019–86 [3]	
		X, *Y*	*Z*	*X*, *Y*	*Z*
1	0,7–1,4	0,39	1,1	0,632	–
2	1,4–2,8	0,42	0,79	0,846	1,2
4	2,8–5,6	0,8	0,57	1,6	0,6
8	5,6–11,2	1,62	0,6	3,21	0,5

Таблица 2

Параметры возбуждений по ускорению от треков и лесных фонов
Excitation parameters to accelerate from the tracks and forest backgrounds

Профиль пути	Скорость, м/с	ОДЧ, Гц			
		0,7–1,4	1,4–2,8	2,8–5,6	5,6–11,2
Агрофон ГОСТ 12.2.002 – 91	2,5	Абсолютные величины СКЗ, м/с²			
		0,44	1,14	3,07	7,04
Дорога ГОСТ 12.2.002 – 91	4,17	Превышение параметров агрофона (разы)			
		1,22	1,24	1,47	1,20
Ровная поверхность (дорога) ГОСТ 31323 – 2006 (ИСО 5008:2002)	3,33	1,47	1,62	1,55	1,18
Пасечный волок	2,5	0,71	0,97	1,77	9,61
Лесная дорога	2,5	0,75	0,81	1,42	4,62

Таблица 3

Информационная модель цепной динамической системы трактора
Information model of a chain of dynamic system of the tractor

Обозначение	Размерность	Значение, диапазон варьирования
m_1	Кг	480
m_2	Кг	920
m_3	Кг	60
c_1	кН/м	336
c_2	кН/м	50; 70; 100; 130; 10 000
c_3	кН/м	4,3
k_1	кНс/м	3,0
k_2	кНс/м	4; 8; 12; 16; 20
k_3	кНс/м	0,5; 0,8; 1,0; 1,5

татов расчета характеристик во 2 ОДЧ с СГЧ 2 Гц.

Расчеты проведены для варианта трактора без орудий, являющегося лимитирующим по вибронагруженности [5, 6]. Информационная модель для цепной динамической системы трактора (рис. 1) представлена в табл. 3, из которой также виден план расчетного эксперимента при выборе структуры и параметров системы виброзащиты. Упруго-демпфирующие параметры шины 16,9*R*38 модели Ф-52 (c_1 = 336 кН/м, k_1 = 3 кНс/м) и подвески сиденья АУ 31.00000 (c_3 = 4,3 кН/м, k_3 = 0,8 кНс/м), которое обладает наилучшими характеристиками среди отечественных образцов, определены по ранее полученным экспериментальным данным. Блокировка подвески во время расчетов осуществлялась введением в программу жесткости подвески колеса c_2 = 10000 кН/м. Диапазон жесткостей и коэффициентов сопротивления подвески колеса при варьировании задавался с учетом потенциальной технической осуществимости ее элементов с такими параметрами.

Из графиков на рис. 2 и 3 видно, что оптимальными являются варианты c_2 = 50 кН/м,

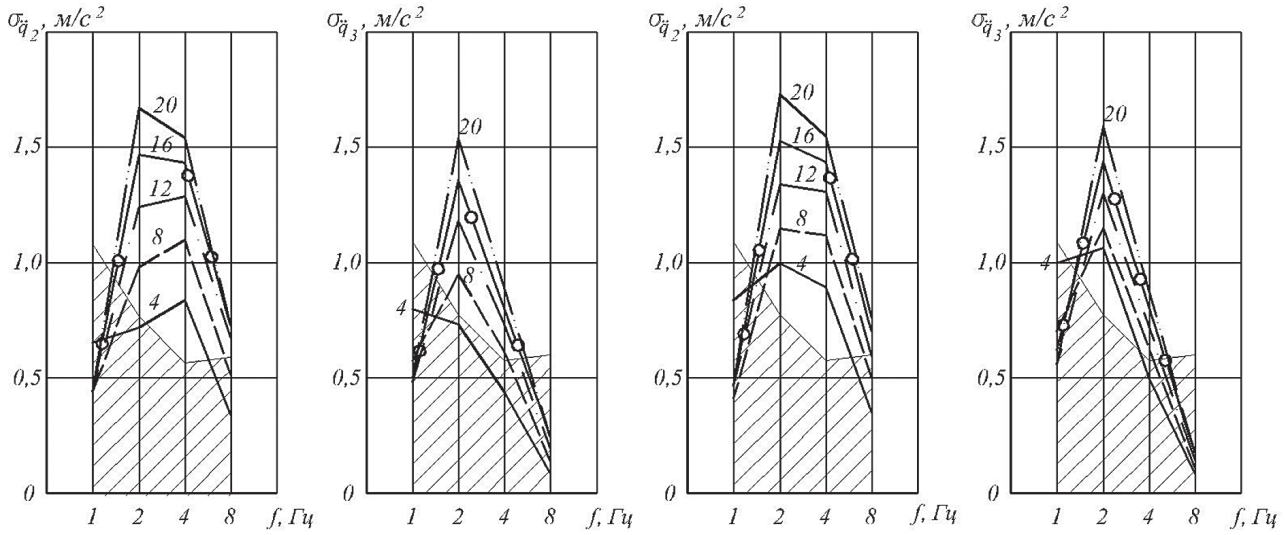


Рис. 2. СКЗ вертикальных ускорений на остове ($\sigma_{\ddot{q}_2}$) и на сиденье АУ 31.00000 ($\sigma_{\ddot{q}_3}$) для различных коэффициентов сопротивления (k_2 = 4–20 кНс/м) и жесткости подвески колеса

Fig. 2. Rms vertical acceleration on the skeleton ($\sigma_{\ddot{q}_2}$) and the seat AU 31.00000 ($\sigma_{\ddot{q}_3}$) for different resistance coefficients (k_2 = 4–20 kNs/m) and stiffness Arm Bush

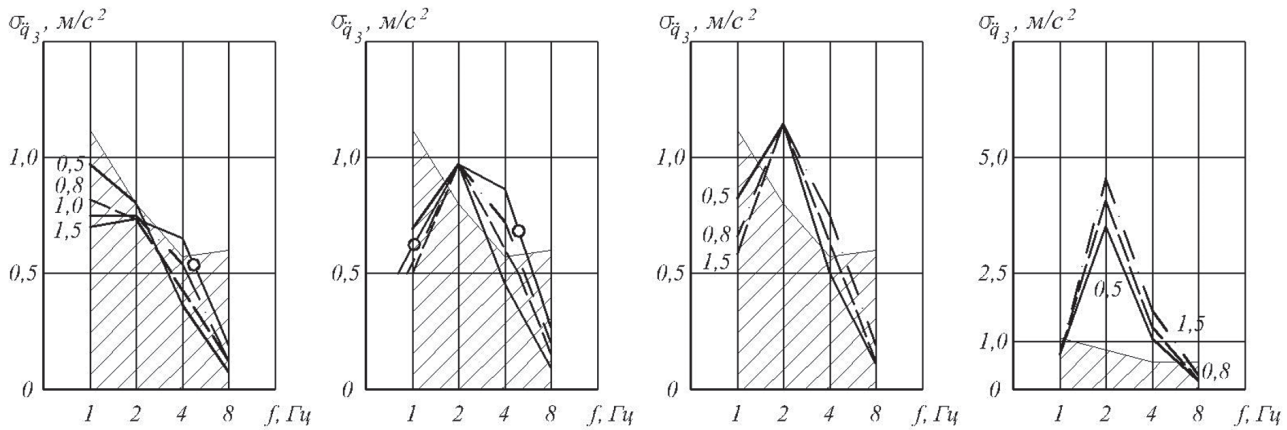


Рис. 3. СКЗ вертикальных ускорений на сиденье для различных коэффициентов сопротивления в подвеске сиденья (k_3 = 0,5; 0,8; 1,0; 1,5 кНс/м) и жесткостей подвески колеса

Fig. 3. Rms vertical acceleration on the seat for different coefficients of resistance in the suspension seat (k_3 = 0,5; 0,8; 1,0; 1,5 kNs/m) and stiffness Arm Bush

k_2 = 4 кНс/м, k_3 = 0,5 кНс/м (удовлетворяет СТ ИСО, табл. 1) и c_2 = 70 кН/м, k_2 = 8 кНс/м, k_3 = 0,5 кНс/м (удовлетворяет ГОСТ, но не удовлетворяет СТ ИСО). На графиках области рекомендуемых значений стандартов для наглядности заштрихованы. По оси абсцисс – СГЧ. Расчеты по представленной модели показали, что при жесткости c_2>70 кН/м не удается сколько-нибудь существенно приблизиться даже к уже отмененному отечественному нормативу (табл. 1) при любых значениях демпфирования в подвесках колеса и сиденья.

Необходимо отметить, что подвеска сиденья для системы виброзащиты, включающей подвеску колеса, практически неэффективна во 2 ОДЧ (наблюдаются весьма малые в 3–7% как положительные, так и отрицательные колебания СКЗ) и эффективна в 3 ОДЧ с СГЧ 4 Гц. Для бесподвесочного варианта (c_2 = = 10000 кН/м) сиденье дает снижение СКЗ ускорений во 2 ОДЧ несколько в большей степени – до 25% (вариант с k_3 = 0,5 кН с/м). Вообще, широкое варьирование коэффициентом сопротивления в подвеске сиденья с 0,5 до 1,5 кНс/м (в инженерном понимании – установка в подвеску с тем же передаточным отношением от одного до трех дополнительных гидроамортизаторов, используемых

для подвесок сидений) не выявило сколько-нибудь значимого эффекта по сравнению с введением в конструкцию системы виброзащиты подвески колеса (рис. 3).

Качественную картину изменения расчетных оценок в диапазонах частот с СГЧ 1,2,4 и 8 Гц наглядно представляют характерные графики спектральных плотностей выходных процессов (рис.4). По ним видно, насколько эффективным средством является подвеска колеса. Происходит сразу двойное действие: большое уменьшение площади спектров и сдвиг их максимумов в область более низких частот. В то же время для бесподвесочного варианта мощность колебаний на остове трактора во 2 и 3 ОДЧ настолько велика, что подрессоренное сиденье может лишь частично снизить вибрацию в 3 ОДЧ.

Расчет прогибов передних подвесок колес и шин для подрессоренного трактора показал (рис. 5), что они лежат в пределе $\sigma_{Q1} = 1{,}51 \times 10^{-2}$ м, что подтверждает правомочность применения линейной математической модели, описывающей колебания массовой динамической системы для используемого воздействия агрофона. Из графика видно, что при принятии гипотезы нормальности процессов прогибов подвески (а они нормальны, поскольку распределение ординат профиля агрофона нормально и нами применяется линейная модель), максимальные прогибы будут составлять для выбранных вариантов: c_2 = 50 кН/м, k_2 = 4 кНс/м – Δ_2 = ±48мм и c_2 = 70 кН/м, k_2 = 8 кНс/м – Δ_2 = ±36мм, что вполне реализуемо на практике при введении в конструкцию трактора регулируемой пневматической подвески колес.

Зависимости рис. 5 наглядно показывают, что подвеска колес уменьшает СКЗ нагруженности шин в 2,5 раза. Это говорит о положительном влиянии подрессоривания колес не только на вибрацию трактора, но и на показатели долговечности шин и такой важный фактор, как снижение динамических воздействий на дорогу и почву. Здесь необходимо также отметить эффект уменьшения СКЗ прогибов подвески колес при увеличении в ней демпфирования. Так, для выбранного варианта с жесткостью c_2 = 50 кН/м этот показатель

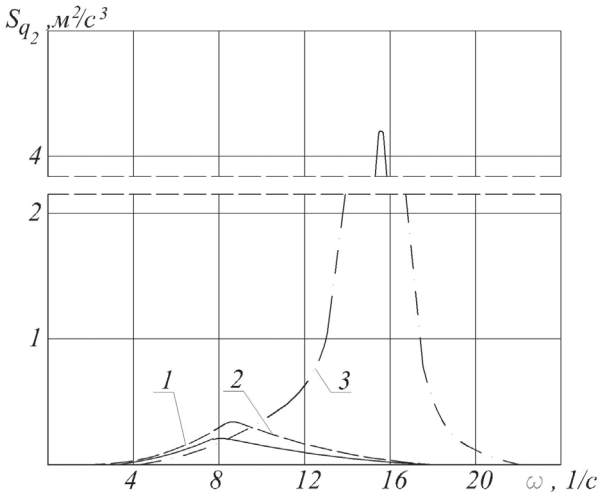


Рис. 4. Спектральные плотности ускорений на остове и сиденье для оптимальных вариантов по СТ ИСО 5008:2002 (1), ГОСТ 12.2.019-86 (2) и бесподвесочного варианта (3): 1) c_2 = 50 кН/м, k_2 = 4 кНс/м, k_3 = 0,5 кНс/м; 2) c_2 = 70 кН/м, k_2 = 8 кНс/м, k_3 = 0,5 кНс/м; 3) подвеска колеса заблокирована

Fig. 4. Spectral densities of acceleration on the frame and the seat for the best options for ISO 5008:2002 ST (1), GOST 12.2.019-86 (2) and bespodvesochnogo option (3): 1) c_2 = 50 kN / m, k_2 = 4 kNs/m, k_3 = 0,5 kNs/m; 2) c_2 = 70 kN/m, k_2 = 8 kNs/m, k_3 = 0,5 kNs/m; 3) Arm locked

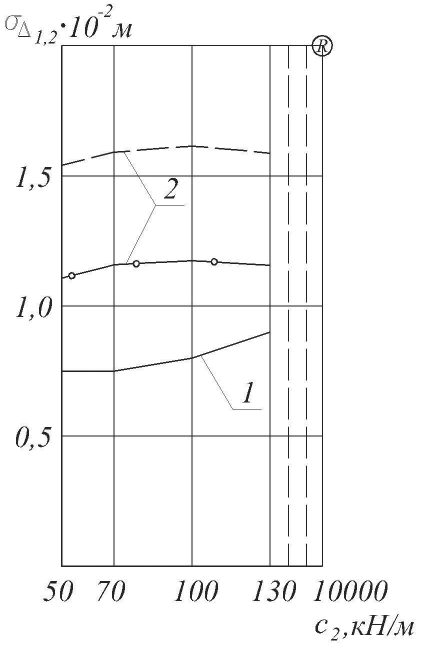


Рис. 5. СКЗ прогибов шины (1) и подвески переднего колеса (2) при различных жескостях подвески: (——) – k_2 = 4 кНс/м; (– – –) – k_2 = 8 кНс/м; ® – подвеска колеса заблокирована

Fig. 5. Rms tire deflection (1) and the suspension of the front wheel (2) at different zheskostyah suspension: (——) – k_2 = 4 kNs/m; (– – –) – k_2 = 8 kNs/m; ® – Arm locked

снижается в 1,3 раза с 16 до 11мм (правда, с почти таким же увеличением СКЗ ускорений на остове и сиденье – рис. 2). Т.е., например, установка более мощного амортизатора в подвеску снизила бы ее требуемый динамический ход с $\Delta_2 = \pm 48$ до ± 33 мм. Для СКЗ прогибов шин такого влияния от роста демпфирования в подвеске колес не наблюдается.

Таким образом, проведенная расчетная оценка вертикальной вибрации трактора при имитации его движения по эталонному профилю пути и выбор рациональных параметров системы виброзащиты оператора по критерию достижимости нормативов стандартов позволили на стадии проектирования сформулировать основные требования к параметрам системы подрессоривания остова.

При этом выявлены качественная и количественная картины изменения критериев при варьировании параметров системы виброзащиты трактора. Экспериментальными данными установлено, что выводы, полученные при использовании в математической модели в качестве входного воздействия эталонного искусственного трека, практически инвариантны для пасечного волока и лесной дороги.

Библиографический список

1. Подрубалов, В.К. Спектральный анализ пространственных колебаний колесного трактора при стационарном кинематическом воздействии./ В.К. Подрубалов, А.Н. Никитенко // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 5. – С. 19–25.
2. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля. – М.: Машиностроение, 1972. – 390 с.
3. ГОСТ 12.2.019-86. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 2003. –17 с.
4. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Межгосударственный стандарт. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования. Москва. Стандартинформ. М., 2008. – 24 с.
5. ГОСТ 12.2.002-91. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1991.
6. ГОСТ 31323-2006 (ИСО 5008:2002) Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Тракторы сельскохозяйственные колесные и машины для полевых работ. М., 2012. – 19 с.
7. Подрубалов, В.К. Методы получения и спектральный анализ вибрационных характеристик искусственных треков./ В.К. Подрубалов, М.В. Подрубалов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. – №2(14). – Том 1. – С. 303–310.
8. Подрубалов, М.В. Формирование функции цели при оптимизации системы виброзащиты транспортного агрегата мотоблока./ М.В. Подрубалов // М.: Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 3 (79). – С. 110–113.
9. Волошин, Ю.Л. Исследование плавности хода лесохозяйственного трактора класса 1,4 в производственных условиях./Ю.Л. Волошин, Ю.А. Добрынин // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – №1. – С. 15–18.
10. Тулузаков, Д.В. К вопросу о методике определения данных по профилям пути мобильных машин лесного и лесопаркового хозяйств. /Д.В. Тулузаков, М.В. Подрубалов, В.К. Подрубалов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014 – №2(101). – С. 34–40.

ASSESSMENT OF VERTICAL VIBRATION OF A WHEEL TRACTOR AT MOVEMENT ON A CASUAL PROFILE OF A WAY

Podrubalov M.V., Ph.D. technical Science, the senior lecturer of chair Technical mechanics, Podrubalov V.K., Ph.D. technical Science, the senior lecturer of chair Theory and designing of cars

podrubalov@mgul.ac.ru, podrubalov@bk.ru

Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

In the paper the results of theoretical research on the choice of rational parameters of vibration protection systems of forest modification of the tractor with the capacity of 110 kW with the sprung seat of the operator and independent suspension front and rear wheels. Presents settlement scheme dynamical systems, and mathematical model describing the stationary vertical vibrations of various mass of the tractor when modeling of motion for random profile path. For the objective function of the quality taken vibration characteristics - RMS vertical accelerations on the seat in accordance with the requirements of the old and new standards on working conditions in the evaluation of vibration on the master tracks. The model algorithms have been implemented on the computer. It is revealed, that are optimal variant with the stiffness of the suspension wheels and seats 50 and 4.3 kN/m and drag coefficients 4 and 0.5 SNS/m satisfies ARTICLE ISO 2631, and accordingly 70; 4,3 kN/m and 8; 0,5 SNS/m - meets GOST 12.2.019-86, but does not satisfy ARTICLE ISO. Maximum dynamic deflections of wheel suspensions are 36... 48 mm for pressure in tires, wheels and more than 70 kN/m unable to significantly even come close to the national standard. Calculations show that for a tractor with optimal pendants wheel

suspension seat is practically not effective in the frequency range up to 2.8 GHz. For unsprung variant reducing vibration suspension seat up to 25% since the frequency of 1.4 Hz; however, the level of acceleration is large values (3,4 3,7...m/S² in the frequency range of 1.4 to 2.8 Hz). Experimental data on parameters of excitations from artificial tracks and forest backgrounds established that the findings when used in mathematical models as input to impact the reference track, almost invariant for bee dies and forest roads.

Key words: wheel tractor, excitement, mathematical model, vibration, reference background, forest background, spectral analysis.

References

1. Podrubalov V.K., Nikitenko A.N. *Spektral'nyy analiz prostranstvennykh kolebaniy kolesnogo traktora pri statsionarnom kinematicheskom vozdeystvii* [Spectral analysis of spatial fluctuations of wheeled tractors with stationary kinematic effects]. *Traktory i sel'khozmashiny* [Tractors and agricultural machinery].1986. № 5. pp. 19-25.
2. Rotenberg R.V. *Podveska avtomobilya* [Car suspension]. Moscow, Mashinostroenie, 1972. 390 p.
3. State Standard 12.2.019-86. Tractors and self-propelled agricultural machines. General safety requirements. Moscow, Standartinform Publ., 2003. 17 p. (In Russian)
4. State Standard 31191.1-2004 (ISO 2631-1:1997). Interstate standard. Vibration and impact. Measurement of the overall vibration and assessment of its effects on humans. Part 1. General requirements. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 24 p. (In Russian)
5. State Standard 12.2.002-91. Tech agriculture. Methods of safety assessment. Moscow, Standartinform Publ., 1991. 42 p. (In Russian)
6. State Standard 31323-2006 (ISO 5008:2002) Vibration. Determination of the parameters of the vibration characteristics of self-propelled machines. The agricultural wheeled tractors and machinery for field work. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 19 p. (In Russian)
7. Podrubalov V.K., Podrubalov M.V. *Metody polucheniya i spektral'nyy analiz vibratsionnykh kharakteristik iskusstvennykh trekov* [Methods of obtaining and spectral analysis of the vibration characteristics of artificial tracks]. Izvestiya MGTU «MAMI». 2012. № 2(14). vol. 1. pp. 303-310.
8. Podrubalov M.V. *Formirovanie funktsii tseli pri optimizatsii sistemy vibrozashchity transportnogo agregata motobloka* [The formation of the objective function for optimization vibration protection systems of the transport unit of tillers]. Moscow, Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. 2011. № 3 (79). pp. 110-113.
9. Voloshin Yu.L., Dobrynin Yu.A. *Issledovanie plavnosti khoda lesokhozyaystvennogo traktora klassa 1,4 v proizvodstvennykh usloviyakh* [The study of smoothness forestry tractors of class 1.4 in production conditions]. *Traktory i sel'khozmashiny* [Tractors and agricultural machinery]. 1977. №1. pp. 15-18.
10. Tuluzakov D.V., Podrubalov M.V., Podrubalov V.K. *K voprosu o metodike opredeleniya dannykh po profilyam puti mobil'nykh mashin lesnogo i lesoparkovogo khozyaystv* [To the question about the method of determining data profiles road mobile machines forest and forest farms]. Moscow, Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. 2014. №2 (101). pp. 34-40.

НЕЧЕТКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПРОСТРАНСТВА И ВЕРОЯТНОСТИ НЕЧЕТКИХ СОБЫТИЙ

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. каф. высшей математики МГУЛ, д-р техн. наук*

olga.m.pol@yandex.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Как показывает практика, не всегда можно построить корректные модели и решить поставленные задачи, используя только теорию вероятностей и не прибегая при этом к понятиям теории нечетких множеств. Особенно это касается задач обработки информации, основанной на естественном языке и содержащей нечеткие понятия. В статье предлагается подход к определению нечетко-вероятностных пространств и вероятностей нечетких событий, который открывает новые возможности обработки информации с неопределенностью двух типов – случайности и нечеткости. Случайная величина задается рядом распределения или плотностью распределения вероятностей, что позволяет определить вероятность принадлежности этой случайной величины к любому подмножеству действительной прямой. Однако кроме числовых значений случайной величины могут быть заданы ее лингвистические значения, которыми невозможно оперировать только методами теории вероятностей без привлечения понятий теории нечетких множеств. В статье определяется нечеткое событие, операции над нечеткими событиями и вероятность нечеткого события. Приводятся примеры вычисления вероятностей нечетких событий. Предложенный в статье подход позволяет решать задачи различных областей деятельности человека в условиях неопределенности разных типов. Общим для класса таких задач является наличие статистической информации, возможность повторения эксперимента и присутствие эксперта, который в рамках естественного (профессионального) языка описывает событие, вероятность которого необходимо определить.

Ключевые слова: нечетко-вероятностное пространство, вероятность нечеткого события.

Многолетние попытки решения задач с разными типами неопределенности привели к появлению и развитию методов обработки информации, которые сочетают основы теории вероятностей и математической статистики в совокупности с основами теории нечетких множеств. Дискуссии о приоритетах теории вероятностей над теорией нечетких множеств в последние годы звучат неубедительно, что, несомненно, связано с теми достижениями и темпами развития, которые демонстрирует теория нечетких множеств.

Достаточно привести ряд простых примеров, которые подтверждают, что не всегда возможно построить корректные модели и решить поставленные задачи, используя только теорию вероятностей и не прибегая при этом к понятиям теории нечетких множеств. Предположим, что мы хотим найти вероятность нормального функционирования объекта. Или найти вероятность того, что параметр X достаточно большой, если он немного больше параметра Y со значениями около 0,3. Чтобы найти требуемые вероятности, сначала необходимо понять природу событий «нормальное функционирование», «достаточно большой», «низкий», «немного больше», «около 0,3». Будут ли эти события событиями в том понимании, которое вкладывается в определение случайного события в рамках теории вероятностей? Если нет, то и вероятности этих, скажем так, «особых событий» мы в рамках только теории вероятностей определить не сможем.

Хотелось бы привести высказывание Bernie Widrow, всю свою жизнь посвятившего разработкам в области теории адаптивной фильтрации, которая, как известно, целиком основана на теории вероятностей. Адаптивные фильтры используются в каждом модеме в мире и являются одной из необходимых технологий, делающих возможным существование Интернет. Высказывание Bernie Widrow прозвучало в рамках открытой дискуссии членов BISC-Group (Инициативной группы Калифорнийского университета Беркли по мягким вычислениям) и было адресовано основателю теории нечетких множеств профессору Lotfi Zadeh: «Я продолжу работать с вероятностью, но я сохраню мои глаза открытыми для того, чтобы видеть ваш прогресс в работе с нечетким подходом. Я думаю, что нечеткий подход – новая рациональная конструкция, имеющая большое практическое и проницательное значение».

Теория вероятности не разрабатывалась, чтобы иметь дело с восприятием человека – особенно с восприятием, описанным на

естественном языке. Однако она может быть обобщена через добавление понятий и методик, взятых из теории нечетких множеств и нечеткой логики. В таком случае обобщенная теория вероятностей действительно имеет возможность обрабатывать информацию, основанную на естественном языке.

Основным понятием теории вероятностей, как известно, является вероятностное пространство. Чтобы обобщить это понятие, остановимся на основных аспектах его построения.

Рассмотрим некоторый эксперимент, не ограничивая общности, со счетным числом исходов $\omega_1, \omega_2, \ldots \omega_n, \ldots$, которые несовместны, образуют полную группу и не обязательно равновероятны. Исходы $\omega_1, \omega_2, \ldots \omega_n, \ldots$ будем называть элементарными событиями, а их совокупность

$$\Omega = \{ \omega_1, \omega_2, \ldots \omega_n, \ldots\}$$

(счетным) пространством элементарных событий или пространством со счетным числом исходов [1].

Определение элементарного события является тем кирпичиком, с которого начинается построение вероятностного пространства. Следующим необходимым понятием является понятие случайного события.

Рассмотрим совокупность всех подмножеств Ω, включая само Ω и невозможное событие. Определим на этой совокупности известные теоретико-множественные операции (пересечение, объединение, дополнение) и замкнем эту совокупность относительно этих операций, производимых в счетном числе. Обозначим полученную совокупность, которая является σ-алгеброй, через A.

Событием (**случайным событием**) называется любое подмножество A пространства элементарных событий Ω, которое принадлежит A.

Для любого события A возможен ответ одного из двух типов: $\omega_i \in A$ или $\omega_i \notin A$. Обратим здесь внимание на то, что ответить на вопрос о принадлежности любого элементарного события к событию A можно только четко – да или нет.

Вероятность события A равна сумме вероятностей всех элементарных событий, принадлежащих A

$$P(A)=\sum_{\omega_i \in A} p(\omega_i).$$

Вообще говоря, вопрос о том, как задавать вероятности элементарных событий, является достаточно трудным. Ответ на этот вопрос лежит вне рамок теории вероятностей. Споры на эту тему продолжаются до сих пор.

Тройка $(\Omega,A,P(A))$ называется **вероятностным пространством** (со счетным числом исходов).

Рассмотрим классическую задачу бросания кубика с цифрами от 1 до 6 на его гранях. Всем известно, что если кубик правильный, то вероятность выпадения каждой из цифр равна 1/6. Соответственно вычислить вероятности событий типа «выпало больше 2 очков», «выпало меньше 4 очков», «выпало от 3 до 6 очков» не представляет никакого труда. Теперь предположим, что мы хотим вычислить вероятность события «выпало много очков» или вероятность события «выпало мало очков». Чтобы вычислить эти вероятности, нам необходимо понять, какие элементарные события принадлежат каждому из этих двух событий. Предположим, что 1 и 2 очка принадлежат событию «выпало мало очков», а 5 и 6 очков принадлежат событию «выпало много очков», а вот 3 и 4 очка вызывают некоторую неуверенность в вопросе определения принадлежности. Вроде бы 3 очка уже не мало, а 4 очка еще не много. Например, можно сказать, что элементарное событие «3 очка» принадлежит событию «выпало мало очков», а элементарное событие «4 очка» принадлежит событию «выпало много очков», но степень уверенности в этом только 2/3.

Проблема возникает в связи с тем, что события «выпало мало очков» и «выпало много очков» определены нечетко, то есть по своей сути не являются классическими событиями (для которых всегда со степенью уверенности 1 возможен ответ одного из двух типов: $\omega_i \in A$ или $\omega_i \notin A$), а являются нечеткими множествами, которыми теория вероятностей не оперирует.

Нечетким событием называется любое нечеткое подмножество $\tilde{A}$ пространства

элементарных событий Ω или множество пар вида

$$(\tilde{A}, \mu_I(\omega_i)),\ \omega_i \in \Omega,\ 0 \le \mu_I(\omega_i) \le 1,$$

где $\mu_I(\omega_i)$ функция принадлежности нечеткого подмножества (множества) $\tilde{A}$.

Для нечеткого события возможен не только ответ одного из двух типов: $\omega_i \in \Gamma$ или $\omega_i \notin \tilde{A}$, а также ответ, что $\omega_i \in \tilde{A}$ со степенью уверенности (принадлежности) $0 \le \mu_I(\omega_i) \le 1$. Частным случаем нечеткого события является классическое событие, функцией принадлежности которого является обычная характеристическая функция, принимающая значения 0 или 1.

Определим основные теоретико-множественные операции на множестве всех нечетких подмножеств (множеств) обычного множества X.

Нечеткие множества $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$ *равны*, если для всех $x \in X$ выполнено $\mu_{\tilde{A}}(x)=\mu_{\tilde{B}}(x)$.

Нечеткое множество $\tilde{A}$ *принадлежит* нечеткому множеству $\tilde{B}$, $\tilde{A}\subseteq\tilde{B}$, если $\mu_{\tilde{A}}(x)\le\mu_{\tilde{B}}(x), \forall x\in X$.

Нечеткое множество $\overline{\tilde{A}}$ называется *дополнением* нечеткого множества $\tilde{A}$, если $\mu_{\overline{\tilde{A}}}(x)=1-\mu_{\tilde{A}}(x), \forall x\in X$.

Нечеткое множество $\tilde{C}$ называется *пересечением* нечетких множеств $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$, $\tilde{C}=\tilde{A}\cap\tilde{B}$, если $\mu_{\tilde{C}}(x)=\min(\mu_{\tilde{A}}(x),\mu_{\tilde{B}}(x)) \forall x\in X$.

Нечеткое множество $\tilde{C}$ называется *объединением* нечетких множеств $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$, $\tilde{C}=\tilde{A}\cup\tilde{B}$, если $\mu_{\tilde{C}}(x)=\max(\mu_{\tilde{A}}(x),\mu_{\tilde{B}}(x)) \forall x\in X$.

Нечеткое множество $\tilde{C}$ называется *разностью* нечетких множеств $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$, $\tilde{C}=\tilde{A}-\tilde{B}=\tilde{A}\cap\overline{\tilde{B}}$, если $\mu_{\tilde{C}}(x)=\min(\mu_{\tilde{A}}(x),1-\mu_{\tilde{B}}(x)) \forall x\in X$.

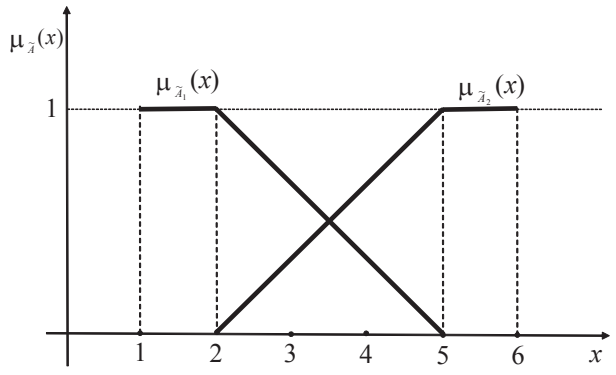


Рис. 1 Функции принадлежности нечетких множеств выпало мало очков» и «выпало много очков»

Fig. 1 Functions of fuzzy sets has dropped few points «and» dropped a lot of points

Нечеткое множество $\tilde{C}$ называется *дизъюнктивной суммой* нечетких множеств $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$, $\tilde{C}=\tilde{A}\oplus\tilde{B}=(A-B)\cup(B-A)$, если $\mu_{\tilde{C}}(x)=\max(\min(\mu_{\tilde{A}}(x),1-\mu_{\tilde{B}}(x)),$

$\min(1-\mu_{\tilde{A}}(x),\mu_{\tilde{B}}(x))), \forall x\in X$.

В общем случае операторы min и max заменяются на операторы из классов треугольных норм и треугольных конорм [2].

Определим на совокупности нечетких событий (нечетких множеств Ω) теоретико-множественные операции (пересечение, объединение, дополнение), замкнем ее относительно этих операций, производимых в счетном числе, и обозначим полученную совокупность через $H(X)$.

Вероятность нечеткого события $\tilde{A}$ равна сумме произведений вероятностей всех элементарных событий, принадлежащих $\tilde{A}$, на степени их принадлежности к $\tilde{A}$

$$P(\tilde{A})=\sum_{\omega_i\in A} p(\omega_i)\mu_{\tilde{A}}(\omega_i).$$

Тройка $(\Omega, H(X), P(\tilde{A}))$ называется **нечетко-вероятностным пространством** (со счетным числом исходов).

Нечетко-вероятностное пространство является обобщением классического вероятностного пространства. Вероятность случайного события A является частным случаем вероятности нечеткого события и может быть записана в виде

$$P(A)=\sum_{\omega_i\in A} p(\omega_i)h_A(\omega_i),\ h_A(\omega_i)=\begin{cases}1, \omega_i\in A\\ 0, \omega_i\notin A.\end{cases}$$

Вернемся к задаче определения вероятностей нечетких событий «выпало много очков» и «выпало мало очков» при бросании кубика. Сначала необходимо задать их функции принадлежности. Если в теории вероятностей отдельной задачей является определение вероятностей элементарных событий, то в теории нечетких множеств похожей задачей (и аналогично выходящей за рамки самой теории) является определение степеней принадлежности элементарных событий или построение соответствующих функций принадлежности. Обозначим через $\tilde{A}_1$ нечеткое событие «выпало мало очков», а через $\tilde{A}_2$ нечеткое событие «выпало много очков». Тогда (рис. 1)

$$\mu_{\tilde{A}_1}(x)=\begin{cases}1, x\le 2\\ \dfrac{5-x}{3}, 2\le x\le 5,\end{cases}\qquad \mu_{\tilde{A}_2}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-2}{3}, 2\le x\le 5\\ 1, 5\le x\le 6.\end{cases}$$

Элементарное событие «3 очка» принадлежит событию «выпало мало очков» со степенью принадлежности 2/3, а элементарное событие «4 очка» принадлежит событию «выпало мало очков» со степенью принадлежности 1/3. Элементарное событие «3 очка» принадлежит событию «выпало много очков» со степенью принадлежности 1/3, а элементарное событие «4 очка» принадлежит событию «выпало много очков», со степенью принадлежности 2/3.

Соответственно получаем

$$P(\tilde{A}_1) = 1/6 \times 1 + 1/6 \times 1 + \\ + 1/6 \times 2/3 + 1/6 \times 1/3 = 1/2,$$

$$P(\tilde{A}_2) = 1/6 \times 1/3 + 1/6 \times 2/3 + \\ + 1/6 \times 1 + 1/6 \times 1 = 1/2.$$

Как известно, случайной величиной X называется числовая функция на пространстве элементарных событий (ограничимся определением так называемой простой случайной величины, не давая более общего определения случайной величины, как борелевской функции [2]). Случайная величина задается рядом распределения

$$\sum_{i=1}^{n} P(X=x_i)=1$$

или плотностью распределения вероятностей $g(x)$, $x\in R$. Однако, кроме числовых значений случайной величины могут быть заданы ее лингвистические значения. Например, температура воздуха является случайной величиной со значениями (в определенной местности), принадлежащими отрезку [–40, 40]. Кроме числовых значений температуры могут быть заданы ее лингвистические значения – очень низкая, низкая, средняя, высокая, очень высокая или низкая, средняя, высокая. Число лингвистических значений определяется в рамках постановки каждой конкретной задачи. Формализовать лингвистические значения случайной величины на основе теории нечетких множеств позволяет лингвистическая переменная [3, 4].

Лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где X – название переменной;

$T(X)=\{X_i, i=\overline{1,m}\}$ – терм-множество переменной X, то есть множество термов или названий лингвистических значений переменной X (каждое из этих значений – нечеткая переменная со значениями из универсального множества U);

V – синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной X;

S – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из $T(X)$ нечеткое подмножество универсального множества U.

Нечеткой переменной называется тройка

$$\{X, U, \tilde{A}\},$$

где X – название переменной;

U – область ее определения (универсальное множество);

$\tilde{A}$ – нечеткое множество универсального множества, описывающее возможные значения нечеткой переменной.

Существуют ряд методов построения лингвистических переменных [5-9], которые опираются на статистическую или экспертную информацию. По своей сути формализованные на основе лингвистической переменной лингвистические значения $\tilde{X}_i, i=\overline{1,m}$ случайной величины X являются нечеткими событиями. Будем предполагать, что $U_i, i=\overline{1,m}$ – подмножества действительной прямой, на которых заданы функции принадлежности $\mu_{\tilde{X}_i}(x)$ нечетких множеств $\tilde{X}_i, i=\overline{1,m}$. Тогда

$$P(\tilde{X}_i)=\sum_{j=1}^{n} P(X=x_j)\mu_{\tilde{X}_i}(x_j),$$

если случайная величина X является дискретной, и

$$P(\tilde{X}_i)=\int_{U_i} g(x)\mu_{\tilde{X}_i}(x)dx,$$

если случайная величина X является непрерывной.

В общем случае

$$\sum_{i=1}^{m} P(\tilde{X}_i)\ne 1,$$

но если на функции принадлежности лингвистической переменной ввести дополнительные условия, то мы получим, что

$$\sum_{i=1}^{m} P(\tilde{X}_i)=1.$$

Проведенные теоретические исследования свойств лингвистических переменных, направленные на повышение адекватности экспертных моделей и их полезности для решения практических задач, позволили обоснованно сформулировать такие требования [4].

1. Для каждого понятия $X_l, i=\overline{1,m}$ существует $\hat{U}_i \neq \varnothing$, где $\hat{U}_i = \{x \in U : \mu(x) = 1\}$ есть точка или отрезок.

2. Пусть $\hat{U}_i = \{x \in U : \mu_i(x) = 1\}$, тогда $\mu_i(x), i=\overline{1,m}$ не убывает слева от $\hat{U}_i$ и не возрастает справа от $\hat{U}_i$.

3. $\mu_i(x), i=\overline{1,m}$ имеют не более двух точек разрыва первого рода.

4. Для каждого

$$x \in U \sum_{i=1}^{m} \mu_i(x)=1.$$

Опираясь на эти свойства, покажем, что

$$\sum_{i=1}^{m} P(\tilde{X}_i)=1$$

для непрерывной случайной величины X, принимающей значения из области $U \in R$. Проверка равенства для дискретной случайной величины проводится аналогично.

$$\sum_{i=1}^{m} P(\tilde{X}_i)=\sum_{i=1}^{m}\left(\int_{U_i} g(x)\mu_{\tilde{X}_i}(x)dx\right)=$$

$$=\sum_{i=1}^{m}\left(\int_{\hat{U}_i} g(x)dx+\int_{U_i-\hat{U}_i} g(x)\mu_{\tilde{X}_i}(x)dx\right)=$$

$$=\sum_{i=1}^{m}\left(\int_{\hat{U}_i} g(x)dx+\int_{U_i-\hat{U}_i} g(x)\mu_{\tilde{X}_i}(x)dx\right)=\sum_{i=1}^{m}\left(\int_{\hat{U}_i} g(x)dx\right)+$$

$$\int_{U_1-\hat{U}_1} g(x)\left(\mu_{\tilde{X}_1}(x)+1-\mu_{\tilde{X}_1}(x)\right)dx+$$

$$+\int_{U_2-\hat{U}_2-\hat{U}_1} g(x)\left(\mu_{\tilde{X}_2}(x)+1-\mu_{\tilde{X}_2}(x)\right)dx+...$$

$$+\int_{U_m-\hat{U}_m} g(x)\left(\mu_{\hat{X}_{m-1}}(x)+1-\mu_{\tilde{X}_{m-1}}(x)\right)dx=\int_{U} g(x)dx=1.$$

А зачем мы формализуем лингвистические значения с помощью нечетких множеств и соответственно их функций принадлежности? Не проще ли разбить числовые значения случайной величины (некоторого параметра) на промежутки и каждый из этих промежутков идентифицировать с некоторым лингвистическим значением? В результате мы будем оперировать не с нечеткими множествами, а с промежутками, что проще. Чтобы ответить на эти вопросы, рассмотрим следующий пример.

Пусть некоторый параметр x определен на универсальном множестве X, принимает значения от X_m до X_M и имеет плотность распределения вероятностей $f(x)$. Будем предполагать, что определены граничные значения этого параметра $\overline{x_m}$ и $\overline{x_M}$, при которых объект считается нормально функционирующим. Тогда понятие «нормальное функционирование объекта» может быть определено с помощью множества A, характеристическая функция которого имеет вид (рис. 2)

$$h_A(x)=\begin{cases} 1, \overline{x_m} \le x \le \overline{x_M} \\ 0, x<\overline{x_m}, x>\overline{x_M}. \end{cases}$$

Таким образом мы пытаемся формализовать лингвистическое понятие «нормальное функционирование объекта» с помощью четкого отрезка.

Теперь рассмотрим три значения x: x_1, x_2 и x_3. Значения x_1, x_2 расположены близко к нижней границе отрезка $\overline{x_m}$, но соответственно слева и справа от него. Значение x_3 распо-

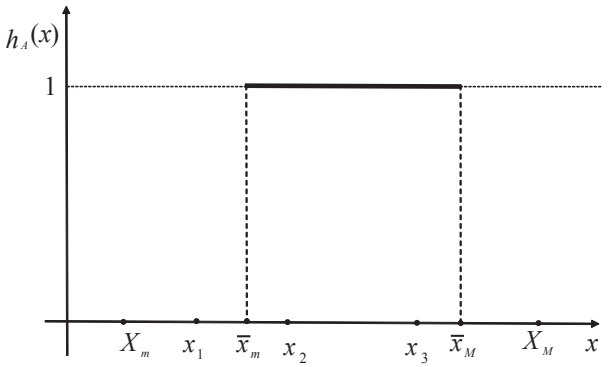


Рис. 2. Характеристическая функция множества, формализующего понятие «нормальное функционирование объекта»

Fig. 2. Characteristic function of formalizing the notion of «normal operation of the facility»

ложено ближе к верхней границе отрезка $\overline{x_M}$, но слева от него. Очевиден некоторый парадокс описанной выше формализации на основе отрезка: значения x_1, x_2 для модели являются различными, а x_2, x_3 – одинаковыми (по отношению к понятию «нормальное функционирование объекта», формализованного с помощью множества A). Таким образом, компьютерная модель может «видеть» фактически близкие ситуации (x_1, x_2) как разные, а физически различные x_2, x_3 – как одинаковые. Если нет однозначного правила (модели) вычисления граничных значений $\overline{x_m}$ и $\overline{x_M}$, то данная ситуация может привести к тому, что выводы, полученные при анализе такого рода моделей, не будут соответствовать представлениям экспертов.

В этом несоответствии языка теории множеств и способа мышления человека и кроется одна из причин краха попыток использования математических методов и компьютерных технологий в тех областях, где сильно влияние человеческого фактора.

Теперь определим понятие «нормальное функционирование объекта» как нечеткое множество $\tilde{A}$, график функции принадлежности которого $\mu_{\tilde{A}}(x)$ представлен на рис. 3.

Сравнивая рис. 2 и рис. 3, можно заметить исчезновение отмеченного выше парадокса: значения x_1 и x_2 видятся моделью при формализации с помощью нечетких множеств как близкие. Таким образом, компьютерная модель, построенная на принципах теории нечетких множеств, «воспринимает» фактически близкие ситуации как похожие.

Тогда

$$P\left(\begin{array}{c}\text{"нормальное}\\ \text{функционирование}\\ \text{объекта"}\end{array}\right)=P(A)=\int_{\overline{x_m}}^{\overline{x_M}} f(x)\mu_{\tilde{A}}(x)dx.$$

В завершение приведем несколько примеров на вычисление вероятностей нечетких событий.

Пример 1. Количество семян шишек сосны имеет нормальное распределение со средним 17.39 и стандартным отклонением 10.21. Найти вероятность большого количества семян в шишках.

Минимальное количество семян в шишках равнялось 1,а максимальное 42. Для нечеткого события «большое количество семян» была построена функция принадлежности

$$\mu(x)=\begin{cases}\dfrac{x-25}{5}, 25\le x\le 30\\ 1, 30\le x\le 42.\end{cases}$$

Тогда

$$P\left(\begin{array}{c}\textit{большое}\\ \textit{количество}\\ \textit{семян}\end{array}\right)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}10.21}\int_{25}^{30} e^{-\frac{(x-17.39)^2}{2(10.21)^2}}\left(\frac{x-25}{5}\right)dx+$$

$$+\Phi\left(\frac{42-17.39}{10.21}\right)-\Phi\left(\frac{30-17.39}{10.21}\right)=$$

$$=\frac{(10.21)^2}{\sqrt{2\pi}10.21}\int_{25}^{30}\left(\frac{x-17.39-25+17.39}{5(10.21)^2}\right)e^{-\frac{(x-17.39)^2}{2(10.21)^2}}dx+$$

$$+\Phi\left(\frac{42-17.39}{10.21}\right)-\Phi\left(\frac{30-17.39}{10.21}\right)=-\frac{10.21}{5\sqrt{2\pi}}\int_{25}^{30} de^{-\frac{(x-17.39)^2}{2(10.21)^2}}-$$

$$-\frac{7.61}{5\sqrt{2\pi}10.21}\int_{25}^{30} e^{-\frac{(x-17.39)^2}{2(10.21)^2}}dx+$$

$$+\Phi\left(\frac{42-17.39}{10.21}\right)-\Phi\left(\frac{30-17.39}{10.21}\right)=$$

$$=\frac{10.21}{5\sqrt{2\pi}}\left(e^{-\frac{(7.61)^2}{2(10.21)^2}}-e^{-\frac{(12.61)^2}{2(10.21)^2}}\right)-$$

$$-\frac{7.61}{5}\Phi\left(\frac{30-17.39}{10.21}\right)+\frac{7.61}{5}\Phi\left(\frac{25-17.39}{10.21}\right)=0.1925.$$

$\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^x e^{-\frac{y^2}{2}}dy$ – функция Лапласа.

Пример 2. Найти вероятность молодого преподавателя в вузе, если численность профессорско-преподавательского состава составляет 500 человек, а численность преподавателей от 21 года до 40 лет представлена в таблице.

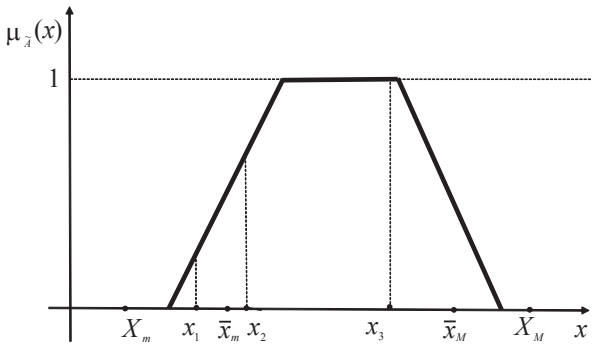


Рис. 3. Функция принадлежности нечеткого множества $\tilde{A}$, формализующего понятие «нормальное функционирование объекта»

Fig. 3. Membership function of the fuzzy set $\tilde{A}$, formalizes the notion of «normal operation of the facility»

Таблица

Численность преподавателей от 21 года до 40 лет
Number of teachers from 21 to 40 years

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
15	4	6	8	10	10	5	9	1	10	5	12	12	14	13	6	10	20	10	20

Событие «молодой преподаватель» является нечетким, поэтому необходимо определить его функцию принадлежности. Предлагается в качестве таковой функции взять следующую функцию

$$\mu(x)=\begin{cases}1,\ 21\le x\le 30\\ \dfrac{40-x}{10},\ 30\le x\le 40.\end{cases}$$

Тогда

P (молодой преподаватель) = 15/500 + 4/500 + 6/500 + 8/500 + 10/500 + 10/500 + 5/500 + 9/500 + 1/500 + 10/500 + 5/500 × 9/10 + 12/500 × 8/10 + 12/500 × 7/10 + 14/500 × 6/10 + 13/500 × 6/10 + 6/500 × 4/10 + 10/500 × 3/10 + 20/500 × 2/10 + 10/500 × 1/10 + 20/500 × 0 = 0,2822

Пример 3. Найти вероятность того, что преподаватель Сидорова среднего возраста, если она на несколько лет старше Петровой, а Петровой около 35 лет.

События $\tilde{A}_1$ =«несколько лет» и $\tilde{A}_2$ =«около 35» являются нечеткими, поэтому необходимо их формализовать, определив функции принадлежности.

$$\mu_{\tilde{A}_1}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-1}{2},1\le x\le 3\\ 1,3\le x\le 5\\ \dfrac{7-x}{2},\ 5\le x\le 7,\end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{A}_2}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-35}{2}x-35,33\le x\le 35\\ \dfrac{37-x}{2},35\le x\le 37.\end{cases}$$

Определим возраст Сидоровой как нечеткое множество $\tilde{A}=\tilde{A}_1+\tilde{A}_2$ с функцией принадлежности

$$\mu_{\tilde{A}}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-34}{4},34\le x\le 38\\ 1,38\le x\le 40\\ \dfrac{44-x}{4},40\le x\le 44.\end{cases}$$

Определим понятие «средний возраст» как нечеткое множество $\tilde{B}$ с функцией принадлежности

$$\mu_{\tilde{B}}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-40}{5},40\le x\le 45\\ 1,45\le x\le 59\\ \dfrac{64-x}{5},59\le x\le 65.\end{cases}$$

Степень принадлежности возраста Сидоровой к среднему возрасту определим как значение функции принадлежности Γ (нечеткого множества «возраст Сидоровой») в точке пересечения с функцией принадлежности $\tilde{B}$ (нечеткого множества «средний возраст») [10]. Приравняв

$$(44 - x)/4 = (x - 40)/4,$$

получим x = 42(2/9), а $\mu_\Gamma(x)$ = 4/9.

Считая, что людей среднего возраста в России 20 %, получаем, что вероятность того, что Сидорова среднего возраста равна

$$1/5 \times 4/9 = 4/45 \approx 0{,}0889.$$

Заключение

Применение теории вероятностей для обработки неопределенностей неслучайного характера можно объяснить двумя причинами. До появления теории нечетких множеств – безальтернативностью теории вероятностей, а после появления и развития теории нечетких множеств неким отторжением этой теории, возможно, в силу модной тенденции использовать ее повсеместно как завершающий бантик на упаковке. В принципе давно очевидно, что не всегда возможно построить корректные модели и решить поставленные задачи, используя только теорию вероятностей и не прибегая при этом к понятиям теории нечетких множеств. Особенно это касается задач обработки информации, основанной на естественном языке и содержащей нечеткие понятия.

В статье предлагается подход, основанный на обобщении основных понятий теории вероятностей (вероятностное пространство и вероятность события) через добавление основных понятий теории нечетких множеств. Этот подход позволяет решать задачи различных областей деятельности человека в условиях

неопределенности разных типов. Общим для класса таких задач является наличие статистической информации, возможность повторения эксперимента и присутствие эксперта, который в рамках естественного (профессионального) языка описывает событие, вероятность которого необходимо определить.

Библиографический список

1. Ширяев, А.Н. Вероятность. – М.: Наука, 1980. – 576 с.
2. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Inform. And Control. – 1965. – № 8. – pp. 338 – 352.
3. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
4. Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 p.
5. Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on sematic spaces / // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems.– 2014.– Vol. 26. – pp. 1089–1094.
6. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk Fuzzy Models for Educational Data Mining // Journal of Telecommunications.– 2012.– Vol. 15, № 2. – pp. 8-22.
7. Полещук, О.М. Построение групповой экспертной оценки качественных показателей сложных технических систем // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 6 (89). – С. 37–40.
8. Poleshchuk O. The determination of students' fuzzy rating points and qualification levels // International Journal of Industrial and Systems Engineering. – 2011. –Vol. 9, № 1.– pp. 3–20.
9. Полещук О.М. О развитии систем обработки нечеткой информации на базе полных ортогональных семантических пространств // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2003. – № 1 (26). – С. 112–117.
10. Dubois D., Prade H. Ranking Fuzzy Numbers in Setting of Possibility Theory // Information Science. – 1983. – Vol. 30. – pp. 183 – 224.

FUZZY PROBABILITY SPACES AND PROBABILITIES OF FUZZY EVENTS

Poleshchuk O.M., Doctor of Technical Sciences, Professor of Higher Mathematics Department MFSU

olga.m.pol@yandex.ru

Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

As practice shows, it is not always possible to construct a correct model and to solve a problem using only the theory of probability and not resorting to the concepts of the fuzzy sets theory. It applies especially to information processing tasks based on natural language and containing fuzzy concepts. The paper proposes an approach to the definition of fuzzy probability spaces and the probabilities of fuzzy events, which opens up new possibilities of random and fuzzy information processing. Random variable is given by the distribution or probability density function. It allows to determine the probability that a random variable belongs to any subset of the real line. However, apart from the numerical values of a random variable may be determined its linguistic meanings, with which can not operate only methods of probability theory without concepts of the fuzzy sets theory. The fuzzy event, operations on fuzzy events and the probability of fuzzy event are defined in the paper. There are examples of calculating the probabilities of fuzzy events. The proposed approach allows to solve problems of different areas of human activity in the conditions of different types of uncertainty. General class of such problems is the availability of statistical information, the possibility of a repetition of the experiment and the availability of an expert who uses natural (professional) language and describes an event whose probability is to be determined.

Key words: fuzzy probability space, probability of fuzzy event.

References

1. Shirjaev A.N. *Veroyatnost'* [Probability]. Moscow. Nauka, 1980. 576 p.
2. Zadeh L. A. Fuzzy sets. Inform. And Control. 1965. № 8. pp. 338-352.
3. Zadeh L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions]. Moscow. Mir, 1976. 165 p.
4. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 237 p.
5. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on sematic spaces. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2014. Vol. 26. pp. 1089-1094.
6. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk Fuzzy Models for Educational Data Mining. Journal of Telecommunications. 2012. Vol. 15, № 2. pp. 8-22.
7. Poleshchuk O.M. *Postroenie gruppovoy ekspertnoy otsenki kachestvennykh pokazateley slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Creation of a group expert assessment of quality indicators of complex technical systems] Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. 2012. № 6 (89). pp. 37-40.
8. O. Poleshchuk The determination of students' fuzzy rating points and qualification levels. International Journal of Industrial and Systems Engineering. 2011. Vol. 9, № 1. pp. 3-20.
9. Poleshchuk O.M. *O razvitii sistem obrabotki nechetkoy informatsii na baze polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv* [On the development of fuzzy information processing systems on the basis of complete orthogonal semantic spaces]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. 2003. № 1 (26). pp. 112-117.
10. Dubois D., Prade H. Ranking Fuzzy Numbers in Setting of Possibility Theory. Information Science. 1983. Vol. 30. pp. 183-224.

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКИХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. каф. высшей математики МГУЛ, д-р техн. наук,*
Е.Г. КОМАРОВ, *зав. каф. информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГУЛ, доц., д-р техн. наук*

olga.m.pol@yandex.ru, komarov@mgul.ac.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В статье предлагается подход к построению регрессионных моделей на основе групповой экспертной информации, формализованной с помощью интервальных нечетких множеств второго типа. Проблема агрегирования информации, полученной от группы экспертов, не является новой, но актуальность ее решения не утрачена, поскольку одновременно с созданием новых, более сложных систем в различных областях деятельности человека, усложняются процедуры проведения их экспертиз и ответственность экспертов за свои решения и подходы. Необходимо не только получить информацию от экспертов, но и максимально сохранить уникальный индивидуальный опыт и знания. Методы теории экспертного оценивания стали давать сбой с тех пор, как существенно усложнились процедуры оценивания, возросла цена ошибки и соответственно ответственность эксперта за оценку как в индивидуальном плане, так и в плане коллективного решения. Интервальные нечеткие множества второго типа имеют достаточно степеней свободы, чтобы сохранить индивидуальную экспертную информацию и получить групповую экспертную модель. Чтобы включить эти множества в регрессионную модель, необходимо разработать новый метод. Неизвестные коэффициенты модели считаются треугольными числами. Основная идея построения модели состоит в определении взвешенных отрезков для нижних и верхних функций принадлежности интервальных нечетких множеств второго типа. Взвешенные отрезки предлагается использовать в ситуациях, когда необходимо агрегировать больше информации о нечетких множествах, чем она содержится в числах, но при этом отсутствует требование отобразить нечеткое множество именно в число.

Ключевые слова: групповая экспертная информация, интервальное нечеткое множество второго типа, нечеткая регрессионная модель.

При построении регрессионных моделей в качестве исходной информации достаточно часто выступает информация, поступающая от одного или нескольких экспертов. Эксперты, оценивая показатели и выражая свои знания, используют в рамках профессионального языка лингвистические значения этих показателей, что является объективной причиной появления нечетких данных. Учитывая сложность проведения экспертиз одновременно со сложностью постоянного привлечения экспертов, знания и опыт экспертов пытаются формализовать и использовать для анализа данных, построения прогнозных моделей, экспертных систем, поддержки принятия решений и т.д.

Использование экспертами баллов для оценки качественных показателей критикуется давно. Окончательные результаты при этом не всегда обладают устойчивостью, а сами оценки являются слишком грубыми и не могут передать особенности индивидуального процесса оценивания [1–4]. Для устранения подобных недостатков при формализации экспертных оценок стали использоваться лингвистические переменные [5], которые, как показали теоретические и практические исследования, адекватно моделируют мыслительную деятельность экспертов и с успехом могут применяться для формализации экспертных знаний и опыта [6–9].

К настоящему времени разработан ряд моделей, позволяющих на основе лингвистических переменных формализовать информацию, полученную от группы экспертов в результате оценивания ими качественных показателей или описания в лингвистических термах количественных показателей [7]. Функциями принадлежности термов лингвистических переменных являются *T*-числа или треугольные числа.

Предположим, что информация, полученная от k экспертов, формализована согласно методу [7] и соответственно построено k лингвистических переменных $X_i, i=\overline{1,k}$ с функциями принадлежности терм-множеств $\{\mu_{il}(x), l=\overline{1,m}\}$, $i=\overline{1,k}$ $(\mu_{il}(x)\equiv(a_1^{il}, a_2^{il}, a_L^{il}, a_R^{il})$, $[a^{il}{}_1, a^{il}{}_2]$ – интервал толерантности, $a^{il}{}_L$, $a^{il}{}_R$ – соответственно левый и правый параметры нечеткости). Построенные лингвистические переменные будем называть критериями экспертов оценивания некоторого качественного показателя.

На основе экспертных критериев $X_i, i=\overline{1,k}$ будем определять обобщенный экспертный критерий X (с функциями принадлежности термов $\{f_l(x), l=\overline{1,m}\}$, $f_l(x)\equiv(a_1^l, a_2^l, a_L^l, a_R^l)$), для которого сформулируем условие Парето

$$\bigcap_{i=1}^{k} X_i \subseteq X \subseteq \bigcup_{i=1}^{k} X_i$$

или

$$\min_x(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), ..., \mu_{kl}(x)) \le f_l(x) \le$$
$$\le \max_x(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), ..., \mu_{kl}(x))$$
$$\forall l = \overline{1,m}, \forall x \in [0,1].$$

Предположим, что определены весовые коэффициенты $\omega_i, i=\overline{1,k}$ экспертных критериев $X_i, i=\overline{1,k}$.

Параметры функций принадлежности $a_1^l, a_2^l, a_L^l, a_R^l$, $l=\overline{1,m}$ обобщенного экспертного критерия будем искать из условия

$$F=\sum_{l=1}^{m}\sum_{i=1}^{k}\omega_i\left[\begin{array}{l}\left(a_1^{il}-a_1^l\right)^2+\left(a_2^{il}-a_2^l\right)^2+\\+\left(a_L^{il}-a_L^l\right)^2+\left(a_R^{il}-a_R^l\right)^2\end{array}\right]\to\min.$$

Неизвестные параметры находятся из системы нормальных уравнений:

$$\frac{\partial F}{\partial a_1^l}=2\left[\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}-a_1^l\right]=0, l=\overline{1,m},$$
$$\frac{\partial F}{\partial a_2^l}=2\left[\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}-a_2^l\right]=0, l=\overline{1,m},$$
$$\frac{\partial F}{\partial a_L^l}=2\left[\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il}-a_L^l\right]=0, l=\overline{1,m},$$
$$\frac{\partial F}{\partial a_R^l}=2\left[\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}-a_R^l\right]=0, l=\overline{1,m}.$$

Получаем решения:

$$a_1^l=\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}, l=\overline{1,m},\ a_2^l=\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}, l=\overline{1,m},$$
$$a_L^l=\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il}, l=\overline{1,m},\ a_R^l=\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}, l=\overline{1,m}.$$

Таким образом, получаем

$$X=\left\{f_l(x), l=\overline{1,m}\right\}=\left\{f_l(x)=\sum_{i=1}^{k}\omega_i\mu_{il}(x), l=\overline{1,m}\right\}=$$
$$=\left\{f_l(x)\equiv\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}, \sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}, \sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right), l=\overline{1,m}\right\}.$$

Докажем выполнение условия Парето для построенного обобщенного экспертного критерия. Так как

$$\min_{i=\overline{1,k}}(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), ..., \mu_{kl}(x))=$$
$$=\sum_{i=1}^{k}\omega_i\left(\min_{i=\overline{1,k}}(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), ..., \mu_{kl}(x))\right)\le$$
$$\le f_l(x)=\sum_{i=1}^{k}\omega_i\mu_{il}(x)\le$$
$$\le\sum_{i=1}^{k}\omega_i\left(\max_{i=\overline{1,k}}(\mu_{il}(x), \mu_{2l}(x), ..., \mu_{kl}(x))\right)=$$
$$=\max_{i=\overline{1,k}}(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), ...\mu_{kl}(x))\ \forall x\in[0,1], l=\overline{1,m},$$

то получаем

$$\min_{i=\overline{1,k}}(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), ..., \mu_{kl}(x))\le f_l(x)\le$$
$$\le\max_{i=\overline{1,k}}(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), ..., \mu_{kl}(x))$$
$$\forall x\in[0,1], l=\overline{1,m}.$$

Таким образом, для построенного обобщенного экспертного критерия выполняется условие Парето.

Однако, формализуя групповую экспертную информацию, хотелось бы учесть не только разброс экспертных мнений, но и нечеткость степени уверенности экспертов в оценке того или иного показателя. Помочь в этом могут нечеткие множества второго типа, значениями функций принадлежности которых являются не числа из отрезка [0,1] (как у обычных нечетких множеств), а нечеткие множества из отрезка [0,1]. Рассмотрим интервальные нечеткие множества второго типа (interval type-2 fuzzy sets (IT2 FSs)), значениями функций принадлежности которых, являются интервалы. IT2 FSs

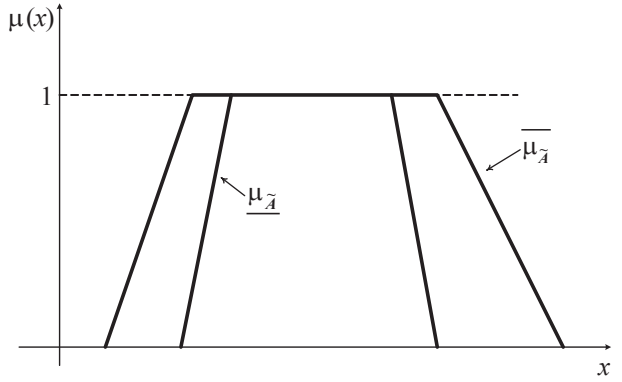


Рисунок. Верхняя $\overline{\mu_{\tilde{A}}}$ и нижняя $\underline{\mu_{\tilde{A}}}$ функции принадлежности IT2 FS.

Fig. The upper $\overline{\mu_{\tilde{A}}}$ and lower $\underline{\mu_{\tilde{A}}}$ membership functions IT2 FS

традиционно определяются верхней $\overline{\mu_{\tilde{A}}}$ (UMF) и нижней $\underline{\mu_{\tilde{A}}}$ функциями принадлежности (LMF) . Будем рассматривать IT2 FSs, UMF и LMF которых являются *T*-числа (рисунок).

Значениями оси *x* являются степени интенсивности проявления некоторого качественного признака, значениями оси μ(*x*) степени уверенности эксперта в этом проявлении. Отличие нечеткого числа второго типа от нечеткого числа первого типа состоит в том, что значениями функции принадлежности нечеткого числа первого типа (или обычного нечеткого числа) являются числа от нуля до единицы, а значениями функции принадлежности нечеткого числа второго типа являются нечеткие числа (от нуля до единицы). Например, эксперт оценивает глубину научной проработки проведенного исследования и ставит оценку 0,3 со степенью уверенности 0,9, что она недостаточная. В этом случае формализацией является нечеткое число первого типа. Если эксперт ставит оценку 0,3, а степень его уверенности где-то около 0.8, то формализацией является нечеткое число второго типа. Если эксперт ставит оценку 0,3, а степень его уверенности от 0,7 до 0,9, то формализацией является интервальное нечеткое число второго типа.

Рассмотрим параметры функций принадлежности *k* экспертных критериев $a_1^{il}, a_2^{il}, i=\overline{1,k}, l=\overline{1,m}$. Для каждого из параметров у нас есть выборка, состоящая из *k* элементов:

$$a^{11}{}_1,\ a^{21}{}_1,\ \ldots,\ a^{k1}{}_1$$
$$a^{11}{}_2,\ a^{21}{}_2,\ \ldots,\ a^{k1}{}_2$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$a^{1m}{}_1,\ a^{2m}{}_1,\ \ldots,\ a^{km}{}_1$$
$$a^{1m}{}_2,\ a^{2m}{}_2,\ \ldots,\ a^{km}{}_2.$$

Кроме этого

$$a_1^l=\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, l=\overline{1,m},\ a_2^l=\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, l=\overline{1,m}.$$

Вычислим

$$s_{1l}^2=\frac{1}{k-1}\sum_{i=1}^k\left(a_1^{il}-a_1^l\right)^2$$

и $s_{2l}^2=\frac{1}{k-1}\sum_{i=1}^k\left(a_2^{il}-a_2^l\right)^2,\ l=\overline{1,m}.$

Построим доверительные интервалы для параметров обобщенного экспертного критерия $\hat{a}_1^l$, $\hat{a}_2^l, l=\overline{1,m}$, используя распределение Стьюдента

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}-\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}\le\hat{a}_1^l\le\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}+\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}, l=\overline{1,m},$$
$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}-\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}\le\hat{a}_2^l\le\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}+\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}, l=\overline{1,m}.$$

где $\Delta_{k-1,\alpha}$ находится из таблицы для вероятностей $P(|t_{k-1}| > \Delta_{k-1,\alpha}) = \alpha$ распределения Стьюдента t_{k-1}.

Если $\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}+\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}>\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}$, то получаем

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}-\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}\le\hat{a}_1^l\le\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, l=\overline{1,m},$$
$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}-\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}\le\hat{a}_2^l\le\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}+\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}, l=\overline{1,m}.$$

Если $\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}-\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}<\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}$, то получаем

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}-\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}\le\hat{a}_1^l\le\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}+\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}, l=\overline{1,m},$$
$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}\le\hat{a}_2^l\le\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}+\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}, l=\overline{1,m}.$$

Если $\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}+\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}>\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}$,

а $\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}-\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}<\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}$, то получаем

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}-\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}\le\hat{a}_1^l\le\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, l=\overline{1,m},$$
$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}\le\hat{a}_2^l\le\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}+\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}, l=\overline{1,m}.$$

Исходя из этого, обобщенный критерий группы экспертов мы представляем в виде лингвистической переменной, значениями которой являются IT2 FSs (интервальные нечеткие множества второго типа), верхние $\overline{f_l(x)}$ и нижние $\underline{f_l(x)}$ функции принадлежности которых, соответственно задаются параметрами

$$\overline{f_l(x)}=\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}-\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}+\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right),l=\overline{1,m},$$

$$\underline{f_l(x)}=\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}+\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}-\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right),l=\overline{1,m}.$$

Если $\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}+\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}>\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}$, то

$$\overline{f_l(x)}=\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}-\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}+\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right),l=\overline{1,m},$$

$$\underline{f_l(x)}=\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}-\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right),l=\overline{1,m}.$$

Если $\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}-\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}<\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}$, то

$$\overline{f_l(x)}=\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}-\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}+\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right),l=\overline{1,m},$$

$$\underline{f_l(x)}=\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}+\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right),l=\overline{1,m}.$$

Если $\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}+\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}>\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}$,

а $\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}-\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}}<\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}$, то

$$\overline{f_l(x)}=\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il}-\frac{s_{1l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il}+\frac{s_{2l}\Delta_{k-1,\alpha}}{\sqrt{k}},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right),l=\overline{1,m},$$

$$\underline{f_l(x)}=\left(\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_1^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_2^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_L^{il},\sum_{i=1}^{k}\omega_i a_R^{il}\right),l=\overline{1,m}.$$

Для верхней функции принадлежности первого терма первый параметр полагается равным нулю, для верхней функции принадлежности последнего терма второй параметр полагается равным единице.

Рассмотрим нечеткую линейную регрессионную модель

$$\tilde{Y}=\tilde{a}_0+\tilde{a}_1\tilde{X}_1+...+\tilde{a}_m\tilde{X}_m,$$

где $\tilde{a}_j\equiv\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)j=\overline{0,m}$ – неизвестные коэффициенты в виде треугольных чисел (не обязательно симметричные).

$\tilde{Y}_i$, $i=\overline{1,n}$ – выходные IT2 FSs, определенные LMF $\mu_{\tilde{Y}_i}=\left(y_1^{iL},y_2^{iL},y_l^{iL},y_r^{iL}\right)i=\overline{1,n}$ и UMF $\overline{\mu_{\tilde{Y}_i}}=\left(y_1^{iU},y_2^{iU},y_l^{iU},y_r^{iU}\right)y^{iU}-y_l^{iU}\geq 0\ i=\overline{1,n}$,

$\tilde{X}_j^i$, $j=\overline{1,m}$ $i=\overline{1,n}$ – входные IT2 FSs, определенные LMF $\mu_{\tilde{X}_j^i}=\left(x_1^{jiL},x_2^{jiL},x_l^{jiL},x_r^{jiL}\right)$ и UMF $\overline{\mu_{\tilde{X}_j^i}}=\left(x_1^{jiU},x_2^{jiU},x_l^{jiU},x_r^{jiU}\right)x^{jiU}-x_l^{jiU}\geq 0$, $j=\overline{1,m}$, $i=\overline{1,n}$.

Недостатком большинства моделей нечеткого регрессионного анализа является необходимость знать аналитический вид функций принадлежности выходной переменной [7, 9]. Это не всегда выполнимо, наверное, поэтому разработанные модели имеют ограниченный спектр функций принадлежности исходной информации (в основном треугольные числа).

С целью ликвидации образовавшегося пробела авторы разработали интервальные агрегирующие показатели для нечетких множеств первого и второго типа, которые опираются на определение α-уровневых множеств и не требуют определения аналитического вида функций принадлежности [10, 11]. Эта идея легла в основу единого подхода к построению регрессионных моделей в условиях групповой экспертной информации, которая может быть формализована в рамках нечетких множеств первого или второго типов.

Взвешенным отрезком T-числа $\Gamma\equiv(a_1, a_2, a_l, a_r)$ является отрезок $[A_1, A_2]$, $A_1=a_1-1/6a_l$, $A_2=a_2+1/6a_r$ [11]. Для IT2 FSs определяются взвешенные отрезки для LMF and UMF. Для двух IT2 FSs $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ со взвешенными отрезками соответственно $[A^L{}_1, A^L{}_2]$, $[B^L{}_1, B^L{}_2]$ LMF и взвешенными отрезками соответственно $[A^U{}_1, A^U{}_2]$, $[B^U{}_1, B^U{}_2]$ UMF определим меру близости $f(\tilde{A},\tilde{B})$

$$f^2\left(\tilde{A},\tilde{B}\right)=\left(A_1^L-B_1^L\right)^2+\left(A_2^L-B_2^L\right)^2+\left(A_1^U-B_1^U\right)^2+\left(A_2^U-B_2^U\right)^2.$$

Определим взвешенные отрезки $\left[\theta_{\tilde{Y}_i}^{1L},\theta_{\tilde{Y}_i}^{2L}\right]$, $\left[\theta_{\tilde{Y}_i}^{1U},\theta_{\tilde{Y}_i}^{2U}\right]$ для LMF и UMF исходных выходных данных $\tilde{Y}_i$ $i=\overline{1,n}$

$$\theta_{\tilde{Y}_i}^{1L}=y^{iL}-\frac{1}{6}y_l^{iL},\ \theta_{\tilde{Y}_i}^{2L}=y^{iL}+\frac{1}{6}y_r^{iL},$$

$$\theta_{\tilde{Y}_i}^{1U}=y^{iU}-\frac{1}{6}y_l^{iU},\ \theta_{\tilde{Y}_i}^{2U}=y^{iU}+\frac{1}{6}y_r^{iU}.$$

Мера близости между исходными и модельными выходными данными определяется функционалом

$$F\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)=\sum_{i=1}^{n}f^2\left(\hat{Y}_i,\tilde{Y}_i\right)=$$

$$=\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\theta_{\hat{Y}_i}^{1L}-\theta_{\tilde{Y}_i}^{1L}\right)^2+\left(\theta_{\hat{Y}_i}^{2L}-\theta_{\tilde{Y}_i}^{2L}\right)^2\right]+$$

$$+\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\theta_{\hat{Y}_i}^{1U}-\theta_{\tilde{Y}_i}^{1U}\right)^2+\left(\theta_{\hat{Y}_i}^{2U}-\theta_{\tilde{Y}_i}^{2U}\right)^2\right].$$

Оптимизационная задача ставится следующим образом

$$F\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)=\sum_{i=1}^{n}f^2\left(\hat{Y}_i,\tilde{Y}_i\right)\to\min,$$

$$b_l^j\geq 0,b_r^j\geq 0,j=\overline{0,m}.$$

Так как

$\theta_{\tilde{a}_j\tilde{X}_j^i}^{1}\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)$, $\theta_{\tilde{a}_j\tilde{X}_j^i}^{2}\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)$, $\theta_{\tilde{a}_j\tilde{X}_j^i}^{1L}\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)$, $\theta_{\tilde{a}_j\tilde{X}_j^i}^{2L}\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)$, $\theta_{\tilde{a}_j\tilde{X}_j^i}^{1U}\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)$ и $\theta_{\tilde{a}_j\tilde{X}_j^i}^{2U}\left(b^j,b_l^j,b_r^j\right)$

являются кусочно-линейными функциями в области $b_l^j\geq 0,b_r^j\geq 0,j=\overline{0,m}$, то F является кусочно-дифференцируемой функцией, и решения задач оптимизации находятся с помощью известных методов [12].

Заключение

Попытки сохранения индивидуального опыта и знаний экспертов в групповой модели оценивания качественных показателей различных систем привели к использованию интервальных нечетких множеств второго типа. Логика использования нечетких множеств второго типа состоит в том, что разные люди имеют разные представления об одном и том же понятии, а соответственно степени их уверенности (значения функций принадлежности) будут различаться для одних и тех же значений универсального множества. Проблема использования интервальных нечетких множеств второго типа (как формализаций групповой экспертной информации) в качестве исходной информации регрессионных моделей (с целью прогноза и изучения зависимостей) состоит в отсутствии таких моделей. Поэтому авторы решают не только задачу сохранения индивидуального опыта и знаний каждого эксперта при формализации групповой экспертной информации на основе интервальных нечетких множеств второго типа, но и разрабатывают регрессионную модель, которая позволяет анализировать и прогнозировать такую информацию.

Библиографический список

1. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – 2-ое изд. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
2. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
3. Полещук, О.М. Математическая модель обработки экспертных оценок // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. –№ 6 (42). – С. 161–164.
4. Домрачев, В.Г. Мониторинг функционирования объектов на основе нечеткого описания их состояний / В.Г. Домрачев, Е.Г. Комаров, О.М. Полещук // Информационные технологии.– 2007. – № 11. – С. 46–52.
5. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приблизительных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
6. Полещук, О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2002. – № 5 (25). – С. 198 – 216.
7. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 pp.
8. Комаров, Е.Г. О подходах к построению нечетких регрессионных моделей в условиях групповой экспертной информации / Е.Г. Комаров, О.М. Полещук // Тр. XVI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM’2013). – 2013. – С. 11–14.
9. Chang Y.-H. Hybrid fuzzy least– squares regression analysis and its reliability measures // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – № 119. – pp. 225–246.
10. O. M. Poleshuk, E. G. Komarov New defuzzification method based on weighted intervals // Proceedings of the 27th International Conference of the North

American Fuzzy Information Processing Society. – NAFIPS'2008, – New York, New York. – 2008.
11. O. Poleshchuk, E. Komarov A fuzzy linear regression model for interval type-2 fuzzy sets // Proceedings of the 29th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. – NAFIPS'2012– Berkeley, California. – 2012.
12. T .F. Coleman, Y. Li A reflective newton method for minimizing a quadratic function subject to bounds on some of the variables, SIAM J. Optim. – 1996. – Vol. 6. – P. 1040-1058.

THE CONSTRUCTION OF FUZZY REGRESSION MODELS BASED ON EXPERT GROUP INFORMATION

Poleshchuk O.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Higher Mathematics Department MSFU, Komarov E.G., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of information and measurement systems and instrument technology MSFU

olga.m.pol@yandex.ru, komarov@mgul.ac.ru
Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

This paper presents an approach to the construction of regression models based on a group of expert information, which can be formalized using interval type-2 fuzzy sets. The problem of aggregation of information obtained from a group of experts is not new, but the relevance to solve it is not lost, because along with the development of new and more complex systems in different fields of human activity, more complex procedures for their expertise and responsibility of the experts for their solutions and approaches. It is necessary not only to obtain information from experts, but also to process it keeping unique individual experience and knowledge maximally. Methods of the theory of expert evaluation have begun to fail, since procedures of evaluation complicated considerably, increased the cost of failure and accordingly responsibility of expert for evaluation individually as well as in cooperative decision making. Interval type-2 fuzzy sets have enough degrees of freedom to save individual expert information and to obtain a group expert model. In order to include interval type-2 fuzzy sets into a regression model, a need for developing a new method exists. Unknown coefficients are assumed to be triangular fuzzy numbers. The basic idea is to determine weighted intervals for low membership functions and upper membership functions of interval type-2 fuzzy sets. The weighted intervals are suggested to be used in situations where it is necessary to accumulate more information about fuzzy sets than aggregative point crisp indexes contain when there is no requirement to get only aggregative numbers.

Key words: expert group information, interval type-2 fuzzy set, fuzzy regression model.

References

1. Beshelev S.D., Gurvich F.G. *Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok* [Mathematical and statistical methods of expert assessments]. Moscow, Statistika, 1980. 263 p.
2. Litvak B.G. *Ekspertnye otsenki i prinyatie resheniy* [Expert evaluation and decision-making]. Moscow, Patent, 1996. 27 p.
3. Poleshchuk O.M. Matematicheskaya model' obrabotki ekspertnykh otsenok [Mathematical model of processing expert assessments]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. 2005. № 6 (42). pp. 161-164.
4. Domrachev V.G., Komarov E.G., Poleshchuk O.M. Monitoring funktsionirovaniya ob»ektov na osnove nechetkogo opisaniya ikh sostoyaniy [Performance monitoring objects based on fuzzy descriptions of their states] // *Informatsionnye tekhnologii*. 2007. № 11. pp. 46-52.
5. Zadeh L.A. *Ponjatie lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinjatiju priblizitel'nyh reshenij* [Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions]. Moscow, Mir, 1976. 165 p.
6. Poleshchuk O.M. Metody predstavleniya ekspertnoy informatsii v vide sovokupnosti term-mnozhestv polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv [Methods of presentation of expert information as a set of term-sets of complete orthogonal semantic spaces] Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik. 2002. № 5 (25). pp. 198-216.
7. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 237 p.
8. Komarov E.G., Poleshchuk O.M. O podkhodakh k postroeniyu nechetkikh regressionnykh modeley v usloviyakh gruppovoy ekspertnoy informatsii [On the approaches to the construction of the fuzzy regression models in terms of group of expert information]. *Trudy XVI Mezhdunarodnoy konferentsii po myagkim vychisleniyam i izmereniyam* (SCM'2013). 2013. pp. 11-14.
9. Chang Y.-H. Hybrid fuzzy least– squares regression analysis and its reliability measures. Fuzzy Sets and Systems. 2001. № 119. pp. 225-246.
10. Poleshuk O.M., Komarov E.G. New defuzzification method based on weighted intervals. Proceedings of the 27th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. NAFIPS'2008, New York, New York. 2008.
11. O. Poleshchuk, E. Komarov A fuzzy linear regression model for interval type-2 fuzzy sets. Proceedings of the 29th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. NAFIPS'2012. Berkeley, California. 2012.
12. Coleman T.F., Li Y. A reflective newton method for minimizing a quadratic function subject to bounds on some of the variables, SIAM J. Optim. 1996. Vol. 6. pp. 1040-1058.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСА СТРУИ МПД ДВИГАТЕЛЯ

Ю.П. ЦАРЬГОРОДЦЕВ, *доц. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук,*
И.И. УСАТОВ, *ведущий инженер каф. физики МГУЛ,*
Н.П. ПОЛУЭКТОВ, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук,*
А.Г. ЕВСТИГНЕЕВ, *ведущий инженер каф. физики МГУЛ,*
А.А. ЖУРАВЛЕВ, *МГУПИ,*
В.В. ГОРШКОВ, *МГУПИ,*
Ю.В. КУБАРЕВ, *проф. каф. приборы и информационно-измерительные системы, д-р ф.-м. наук МГУПИ*

poluekt@mgul.ac.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ
Московский государственный университет приборостроения и информатики
107996, г. Москва, ул. Стромынка, д. 20

Приведено описание автоматизированной системы измерения импульса струи плазменного двигателя, предназначенного для космических полетов. Легкий стальной диск диаметром 50 мм установлен на тонкой керамической трубке длиной 250 мм. На противоположном конце трубки установлены противовес и алюминиевая пластинка, с обоих концов которой установлены оптопары. В центре тяжести трубка закрепляется на вольфрамовой нити Ш = 0,35 мм. К нити прикреплена пружина, на другом конце которой она соединена с вином. Винт может вращаться с помощью шагового двигателя. Управление двигателем и оптопарами осуществляется с помощью ЭВМ через блок управления, собранный на базе USB NI-6008. Под действием плазменной струи пластинка отклоняется и пружина закручивается. Шаговый двигатель под управлением программы возвращает пластинку в исходное положение. Погрешность измерений определяется точностью возвращения в исходное положение. Исходное положение контролируется сигналами оптопар. Компенсирующее усилие, а следовательно, сила тяги, пропорциональны числу шагов двигателя N. Калибровка устройства включает в себя как определение нулевого положения, так и силового коэффициента шага двигателя k: F = kN. При среднем расходе аргона 0,2 мг/сек и мощности разряда 1,8 кВт сила, действующая дисковую пластинку, составила $5 \cdot 10^{-3}$ Н (0,5 г). Передвигая диск, можно измерить импульсы различных участков струи, а затем после интегрирования, вычислить тягу плазменного двигателя.

Ключевые слова: удельный импульс, магнитоплазмодинамический двигатель.

Магнитоплазмодинамический (МПД) двигатель является одним из перспективных ускорителей плазменного типа для решения широкого спектра других задач как в космической технике, так и в промышленности: создание ускоренных потоков плазмы, решение проблемы нейтрализации электростатического заряда космического аппарата, создание ЭРД и управление его вектором тяги, создание радиопомех, нанесение тонких пленок на поверхность металла и другие задачи [1–4]. В основе работы МПД ускорителя лежат сложные физические механизмы, связанные, прежде всего, с взаимодействием плазменного образования с внешним магнитным полем. Результаты этих исследований предполагается использовать при разработке МПД двигателя большой мощности и будут пригодны при создании пилотируемого космического аппарата.

Однако создание устройства для эффективного решения этих проблемы требует проведения ряда исследований, целью которых является выбор оптимальной структурной схемы двигателя и его геометрических параметров, величины основного и управляющего магнитных полей, при управлении вектором тяги и удельным импульсом

Важнейшими характеристиками магнитоплазмодинамического (МПД) двигателя являются его тяга и удельный импульс – отношение тяги ракетного двигателя к секундному массовому расходу рабочего тела. Удельный импульс на расчетном режиме работы двигателя совпадает со скоростью реактивной струи. Выражается в (кг)/(кг/с) = м/с [1, 2].

Для определения тяги и удельного импульса применяются в основном 2 способа. В одном двигатель устанавливается в вакуумной камере на платформу, подвешенную на струнах или гибких металлических полосках, образуя таким образом маятниковую систему [5, 6]. При работе двигателя происходит

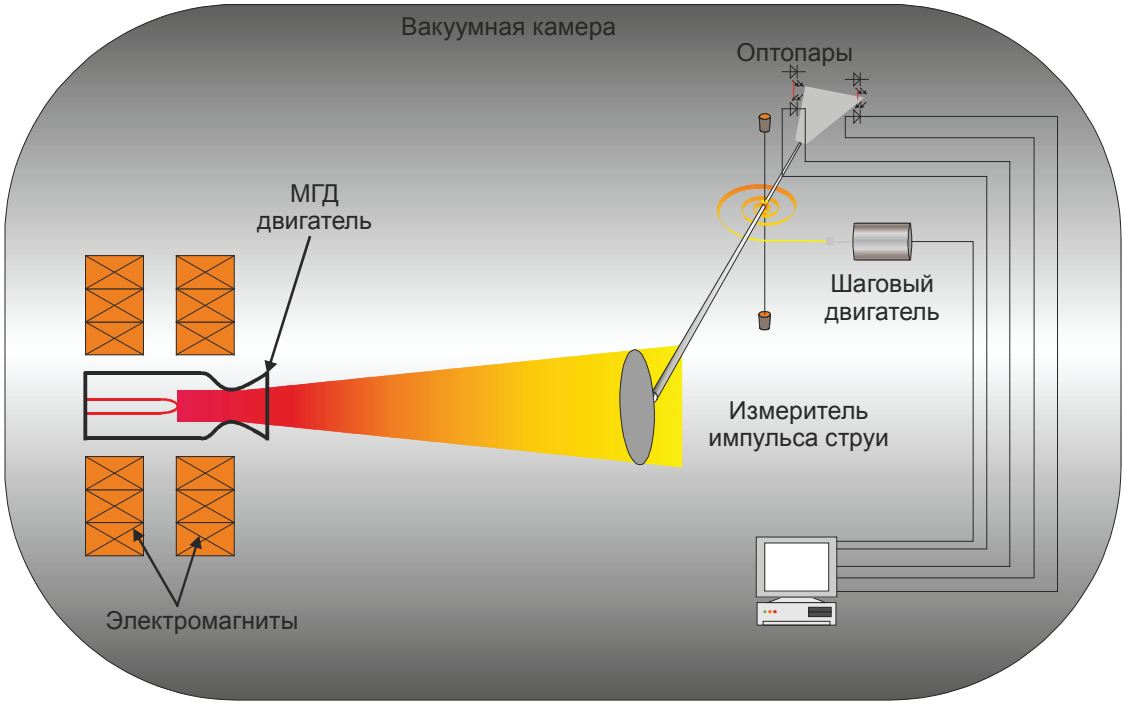
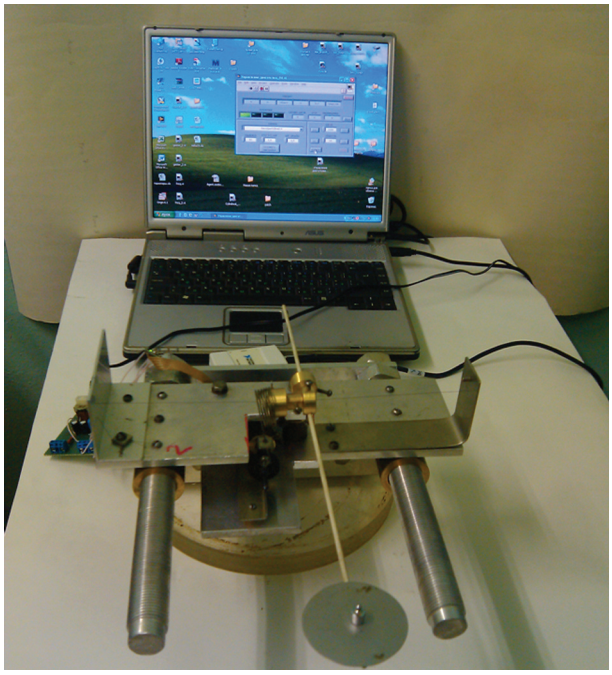
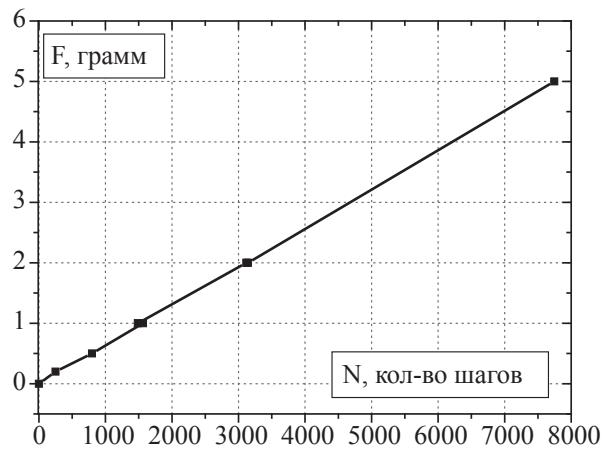


Рис. 1. Система измерений импульса струи
Fig. 1. Measurement system pulse jet



а)



б)

Рис. 2. а) фото процесса калибровки системы измерения импульса струи; б) калибровочная кривая
Fig. 2. a) photo process measuring system calibration pulse jet; b) calibration curve

смещение платформы, и после калибровки можно определить тягу. В этом способе приходится решать проблему гибких подводов проводов и шлангов охлаждения, жесткость которых может существенно исказить результаты измерений, учитывая малые величины (несколько граммов) тяги таких двигателей.

Другим способом определения тяги и удельного импульса является измерение импульса струи двигателя. Чтобы измерить тягу, необходимо установить преграду в виде диска, перекрывающую диаметр всей струи. Для определения импульса струи по ее сечению диск должен быть в несколько

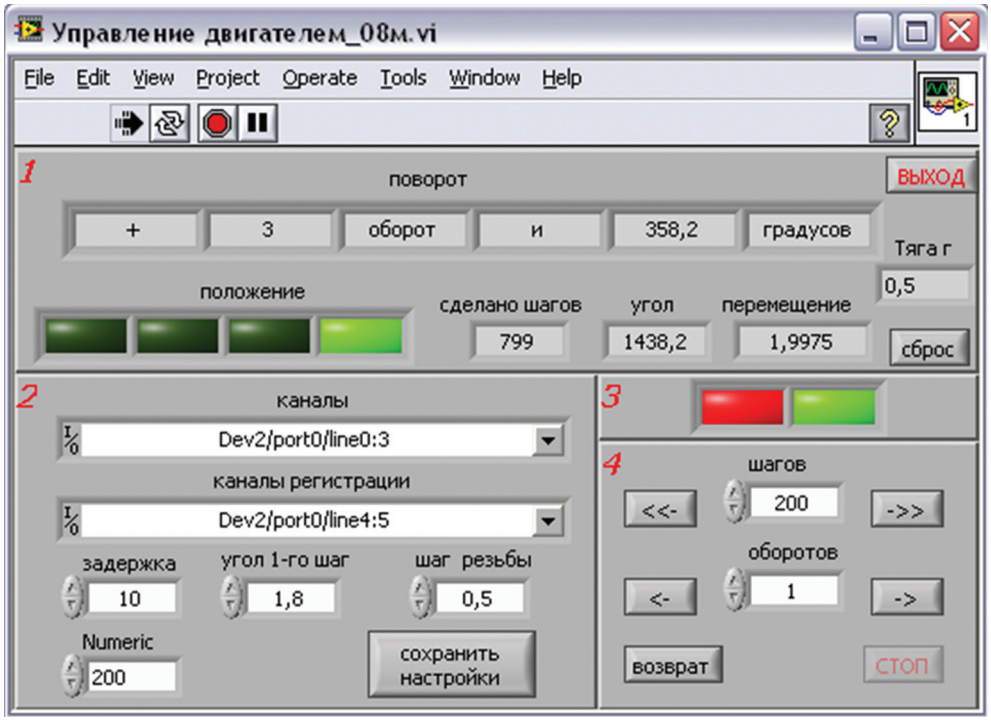


Рис. 3. Интерфейс программы измерения импульса струи двигателя
Fig. 3. Program interface measurement pulse jet engine

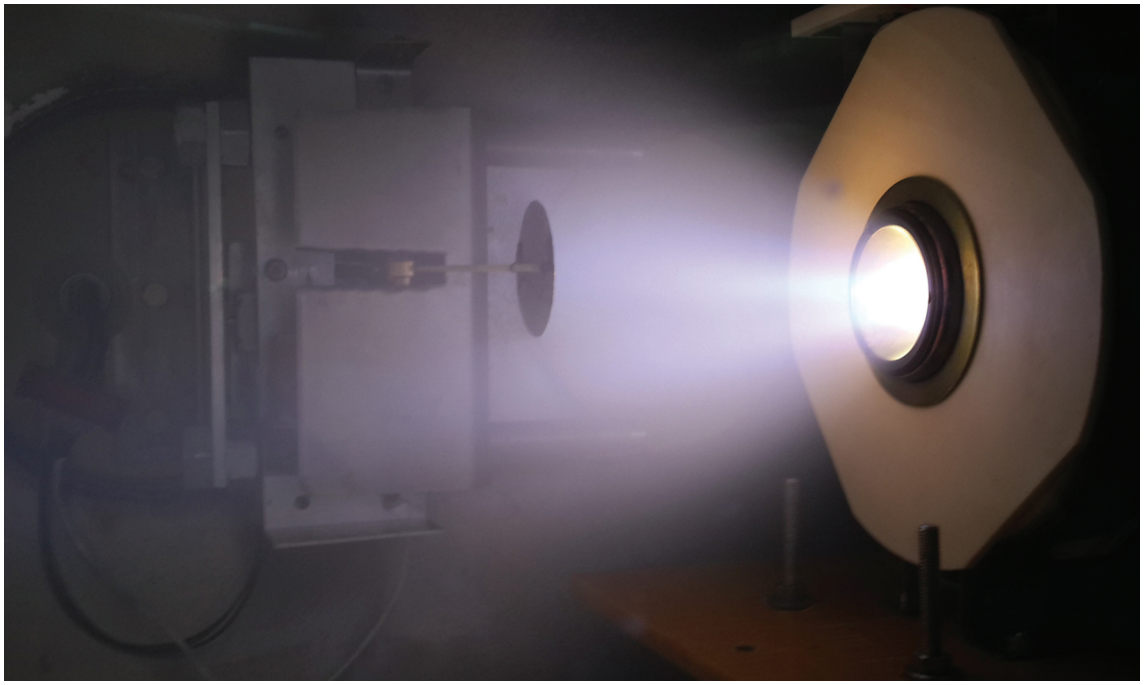


Рис. 4. Фото работы МГД ускорителя с системой измерения импульс струи
Fig. 4. Photo of MGD accelerator with pulse jet measurement system

раз меньше. Диск устанавливается на конце стержня, к которому прикреплена пружина с известной жесткостью [7]. Передвигая диск, можно измерить вклады различных участков, а затем, после интегрирования, вычислить тягу.

Для определения локальных импульсов струи было разработано устройство, схема которого представлено на рис. 1. На расстоянии 20 см от двигателя на пути плазменной струи располагается пластинка из нержавеющей стали толщиной 0,2 мм и диаметром 50 мм, за-

крепленная на керамической трубке Ш = 2 мм. На противоположном конце трубки установлены противовес и алюминиевая пластинка. С обоих концов пластинки установлены оптопары. В центре тяжести трубка закрепляется на вольфрамовой нити Ш = 0,35 мм. К нити прикреплена пружина, на другом конце которой она присоединена к винту с мелкой резьбой (0,4 мм). Винт может вращаться с помощью шагового двигателя. Управление двигателем и оптопарами осуществляется с помощью ЭВМ через блок управления, собранный на базе USB NI-6008. Такая система обладает большой добротностью, поэтому любое отклонение вызывает длительные колебания пластинки. Для того, чтобы предотвратить колебания, в систему вводится успокоитель. Он состоит из легкой стальной пластинки, которая прикреплена к керамической трубке. Пластинка погружена в стакан с вакуумным маслом.

Система работает следующим образом. Под действием плазменной струи пластинка отклоняется и пружина закручивается. Шаговый двигатель под управлением программы возвращает пластинку в исходное положение. Погрешность измерений определяется точностью возвращения в исходное положение. Исходное положение контролируется сигналами оптопар. Компенсирующее усилие, а следовательно, сила тяги, пропорциональны числу шагов двигателя N. Калибровка устройства включает в себя как определение нулевого положения, так и силового коэффициента шага двигателя k: $F = kN$. Последний определяется методом весовой калибровки, как показано на рис. 2.

Процесс калибровки осуществляется весовым методом.

Перед началом калибровки необходимо:

– слить масло из чаши масляного успокоителя;

– повернуть измеритель импульса струи на 90 % относительно рабочего положения;

– установить его на ровную горизонтальную поверхность;

– снять лопатку масляного успокоителя;

– установить трубку с приемным диском на необходимую для работы длину;

– отсоединить пружину от шагового двигателя;

– перемещением противовеса уравновесить коромысла;

– подсоединить пружину к шаговому двигателю, придав ей небольшой натяг;

– управляя шаговым двигателем при помощи программы установить коромысло в нулевое положение (нулевое положение контролируется по сигналам оптопар);

– нажать кнопку сброс в программе для присвоения нулевого положения измерителя тяги.

Для калибровки в центр пластинки устанавливаются грузы разных масс. При помощи программы производится возврат коромысла в нулевое положение. Данные о массе груза и о количестве шагов шагового двигателя заносятся в файл с калибровочными параметрами. Во время измерения тяга двигателя рассчитывается по этим данным. Калибровочная кривая приведена на рис. 2 б. Погрешность калибровки не более 2 %.

После окончания калибровки необходимо привести измеритель импульса струи обратно в рабочее положение. Для этого необходимо:

– установить лопатку масляного успокоителя;

– отсоединить пружину от шагового двигателя;

– перемещением противовеса уравновесить коромысла;

– подсоединить пружину к шаговому двигателю, придав ей небольшой натяг;

– управляя шаговым двигателем при помощи программы, установить коромысло в нулевое положение (нулевое положение контролируется по сигналам оптопар);

– установит измеритель импульса струи в рабочее положение;

– залить масло в чашу масляного успокоителя.

Для достижения погрешности измерений в несколько процентов необходимым условием является точность определения возврата в исходное состояние. Для этого используется система, состоящая из 2-х оптопар, и алюмини-

евая пластинка в виде трапеции. В нулевом положении боковые края пластинки находятся на расстоянии 0,5 мм от оптопар. Свет от светодиодов беспрепятственно проходит к фотодиодам, и на экране компьютера горят 2 зеленые кнопки. При смещении в любую сторону от нулевого положения один из светодиодов перекрывается, что отражается на экране: одна из кнопок становится красной. Управляя с компьютера шаговым двигателем, добиваются положения, при котором обе кнопки зеленые.

Программа измерения импульса струи написана на языке визуального программирования LabVIEW. Интерфейс программы приведен на рис. 3. Интерфейсе программы условно разделен на 4 области.

В области 1 на графических индикаторах отображается номер обмотки шагового двигателя, на которую подается ток в данный момент. На цифровых индикаторах отображаются: количество сделанных двигателем шагов от положения равновесия, угол поворота вала шагового двигателя, расстояние перемещения каретки, удерживающей пружину, а также рассчитанная по калибровочным данным тяга двигателя. В первой области также располагаются кнопка сброса положения на ноль и кнопка завершения программы.

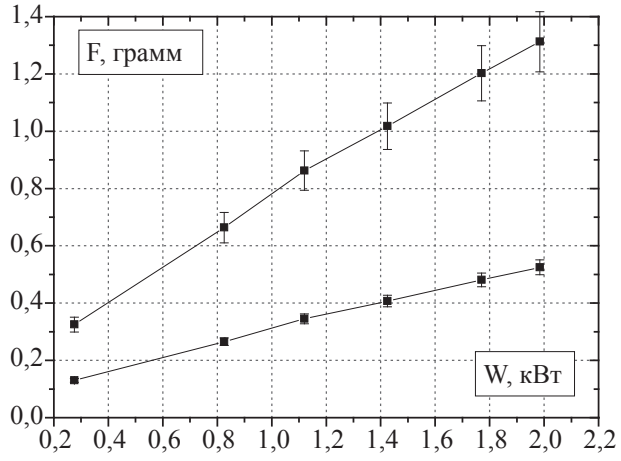


Рис. 5. Зависимость измеренной тяги двигателя (верхняя кривая) и импульса тяги (нижняя кривая) от мощности двигателя. Расход 0.2 мг/с, магнитное поле 300 Гс, ток накала катода 40 А

Fig. 5. Dependence of the measured engine thrust (upper curve) and the momentum thrust (lower curve) of the engine power. Consumption of 0.2 mg / s, the magnetic field of 300 G, the cathode filament current of 40 A

В области 2 приводятся основные параметры работы программы:

– адреса каналов управления двигателем и регистрации сигналов с оптопар;

– угол поворота шагового двигателя при перемещении на один шаг;

– задержка между шагами шагового двигателя;

– частота опроса оптопар в состояние ожидания действий пользователя;

– шаг резьбы вала штифта, по которому передвигается каретка, удерживающая пружину.

Все эти данные хранятся в файле с параметрами установки, который считывается при запуске системы. Для изменения любого из этих параметров пользователю достаточно поменять его в панели 2 и записать его в файл с параметрами установки нажатием кнопки **сохранить настройки**.

В области 3 на графических индикаторах отображается: перекрыта или не перекрыта оптопара хвостовиком коромысла.

В области 4 производится управление шаговым двигателем. Пользователь может производить перемещение двигателя, как на один шаг, так и на несколько шагов или оборотов. Для выбора количества шагов для многократного сдвига двигателя служат два взаимосвязанных контролера, в одном из которых можно задавать количество шагов шагового двигателя, а в другом – количество его оборотов. Направление вращения двигателя определяется соответствующими кнопками. Кнопка **стоп** служит для остановки вращения двигателя пользователем. Для возвращения измерителя импульса струи в нулевое положение используется кнопка **возврат**. После ее нажатия программа заставляет двигатель произвести перемещения в количестве, равном значению индикатора: **сделано шагов** в противоположном направлении.

Испытания системы проводились в вакуумной камере диаметром 0,7 м и длиной 2,5 м. МПД двигатель мощностью до 3-х кВт имеет изменяемую магнитную систему из 2-х электромагнитов, каждый из которых состоит из 3-х обмоток. Токи в обмотках

можно менять и таким образом изменять геометрию магнитного поля. Параметры двигателя существенно зависят от конфигурации магнитного поля и с помощью разработанной системы измерения импульса можно определить оптимальную геометрию поля. Измерительная пластинка устанавливалась на расстоянии 17 см среза двигателя. На рис. 4 приведена фотография работы МПД ускорителя с системой измерения импульс струи. На рис. 5 показаны зависимости тяги от мощности разряда. Нижняя кривая показывает измерение в одном положении датчика, а верхняя представляет полную тягу, полученную в результате измерения вдоль различных радиусов струи.

При среднем расходе газа (аргона) 0,2 мг/сек и мощности разряда 1,8 кВт сила, действующая дисковую пластинку диаметром 5 см, составила $5\cdot10^{-3}$ Н (около 0,5 г). Как видно из рис.4, площадь струи много больше и полная тяга составит несколько грамм (порядка 1,5 г), что примерно соответствует характеристикам современных электрических двигателей в космическом исполнении [9, 10].

С помощью полученных данных можно сделать оценку средней скорости потока струи. Плотность потока частиц (поток чрез единицу площади в 1 с) определяется по формуле

$$f = nv, \qquad (1)$$

где n – концентрация частиц;

v – их скорость.

Импульс этого потока, равный давлению на пластинку, при допущении, что все частицы не отражаются, а поглощаются стенкой

$$F_p = mvf = mnv^2 = p = F/S, \qquad (2)$$

где $F_{плат}$ –сила, действующая на пластинку;

S – площадь пластинки.

Отсюда получаем

$$v=\sqrt{\frac{F_{пласт}}{Smn}}.$$

На пластинку, установленную на оси струи, действует сила $F_{пласт}$ = 0,5 г = $=5\cdot10^{-4}$ кг = $5\cdot10^{-3}$ Н. Площадь пластинки диаметром 5 см: $S = 20$ см^2 = $20\cdot10^{-4}$ м^2. Масса атома аргона $6{,}7\cdot10^{-26}$ кг.

Концентрация ионов аргона по зондовым измерениям равна $n = 2\cdot10^{11}$ см$^{-3}$ = $= 2\cdot10^{17}$м$^{-3}$. Тогда из (3) следует, $v \approx 8.7$ км/с.

При допущении, что все частицы упруго отражаются от пластинки, рассчитанная скорость будет в $\sqrt{2}$ раза меньше и составит 6,1 км/с. Таким образом, средняя скорость находится в диапазоне $6 < v < 9$ км/с. Заметим, что это скорость на расстоянии 20 см от ускорителя. На срезе сопла скорость не менее 15 км/с.

Библиографический список
References

1. C. Charles. Plasmas for spacecraft propulsion. J. Phys. D:Appl. Phys. 2009. V. 42. pp. 163001.
2. S.D. Grishin, L.V. Leskov. Electricheskie raketnye dvigateli dlya kosmicheskih apparatov. Moscow, Mashinostroenie, 1989 (in Russian).
3. Martinez-Sanchez M and Pollard J E Spacecraft electric propulsion – an overview. J. Propulsion Power. 1998. V. 14. pp. 688-699.
4. E.A. Bering, M. Brukardt, J.P. Squire, T.W. Glover, V.Jacobson, G.McCaskill. Recent Improvements In Ionization Costs And Ion Cyclotron Heating Efficiency In The VASIMR Engine//44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibition AIAA-2006-766. Reno, Nevada, 9-12 January 2006, pp. 1-17.
5. S. Pottinger1, V. Lappas1, C. Charles, R. Boswell. Performance characterization of a helicon double layer thruster using direct thrust measurements. J. Phys. D: Appl. Phys. 2011. V. 44. pp. 1-5.
6. MD West, C Charles, R. Boswell. A high sensitivity momentum flux measuring instrument for plasma thruster exhausts and diffusive plasmas. Rev. Sci. Instrum. 2009. V.80. pp. 053509.
7. B.W. Longmier, E.A. Bering, J.P.Squire, T.W.Glover, F.R. Chang-Diaz, M. Brukardt. Hall thruster and Vazimr VX-100 force measurements using a plasma momentum flux sensor. 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibition AIAA-2009-246, Orlando, Florida, 5-8 January 2009, pp. 1-12.
8. M.L.R. Walker, A.D. Gallimore. Performance characteristics of a cluster of 5-kW laboratory Hall thrusters. J. Propulsion Power 2007. V. 23. pp. 35-43.
9. J. Prager, R. Winglee, T. Ziemba, B.R. Roberson, G. Quetin. Ion energy characteristics downstream of a high power helicon. Plasma Sources Sci. 2008. V. 17. pp. 025005.
10. S.A. Cohen, N.S. Siefert, S. Stange, R.F. Boivin, E.E. Scime and F.M. Levinton. Ion acceleration in plasmas emerging from a helicon-heated magnetic-mirror device. Phys. Plasmas 2003. V. 10, pp. 2593-2598.

THE AUTOMATED SYSTEM FOR MEASURING THE IMPULSE OF THE MHD THRUSTER

Tsar'gorodsev Yu.P., Associate Prof. Department of Physics MFSU, Cand., Usatov I.I., chief engineer Department of Physics MFSU, Poluektov N.P., Professor Dr technical. Sciences Department of Physics MFSU, Evstigneev A.G., chief engineer Department of Physics MFSU, Zhuravlev A.A., MGUPI, Gorshkov V.V., MGUPI, Kubarev Yu.V., prof. Department tools and information-measuring systems, Dr. Sc Sciences MGUPI

poluekt@mgul.ac.ru
Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia
Moscow State University of Instrument Engineering and Informatics 107 996, Moscow st/ Stromынka, 20

The article describes the automated system for measuring the impulse of the MHD thruster designed for spaceflight. Light stainless steel disk with a diameter of 50 mm mounted on a thin ceramic tube length of 250 mm. A counterweight and an aluminum plate , with both ends of which are set optocoupler are installed at the opposite end of the tube. The tube is attached to the tungsten filament Ш = 0,35 mm in the center of mass. One end of the spring is attached to the filament and the other end is connected to the screw. The screw can be rotated by a stepping motor. Operation of a motor and optocoupler is carried out by a computer via a control unit NI-6008. Plasma jet deflects a disk and spring spins. Stepper motor returns the disk to the original position using control program. Measurement error depends on the accuracy to return to its original position. Starting position is controlled by signals optocouplers. The compensating force and thrust force are proportional to the number of steps N. The calibration apparatus of the engine includes both determination of the zero position , and the power factor motor step k: F = kN. A force acting disk plate of about 5 • 10-3 H (0.5 grams) is obtained at flow rate 0,2 mg / s and the discharge power 1,8 kW. Moving the disk across plasma jet one can calculate the total thrust of a engine.

Key words: specific impulse magneto-plasma-dynamic engine.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СТЕПЕНИ ИОНИЗАЦИИ ПОТОКА АТОМОВ МЕТАЛЛА

Ю.П. ЦАРЬГОРОДЦЕВ, *доц. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук,*
Н.П. ПОЛУЭКТОВ, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук,*
И.И. УСАТОВ, *ведущий инженер каф. физики МГУЛ,*
А.Г. ЕВСТИГНЕЕВ, *ведущий инженер каф. физики МГУЛ*

poluekt@mgul.ac.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Разработан оптический метод определения степени ионизации потока атомов металла, используемого для осаждения пленок в глубоких субмикронных структурах, применяемых при создании современных СБИС. Степень ионизации потока атомов металла определяется как отношение потока ионов к полному потоку металла, состоящего из атомов и ионов. Нами разработан новый метод с использованием лазерного излучения, позволяющий измерять γ непосредственно в плазме (in situ). Этот метод основан на свойстве тонких металлических пленок, когда коэффициент отражения линейно зависит от толщины пленки. В качестве подложки использовалась прозрачная кварцевая пластина размером 120x30x20 мм^3. На переднюю (обращенную к плазме) поверхность пластины осаждается металлическая пленка. Луч полупроводникового лазера направлялся на заднюю поверхность пластины, проходит через нее и отражается от поверхности, на которой осаждается пленка металла. Большая толщина пластины (20 мм) выбиралась для того, чтобы возможно дальше развести лучи, отраженные от передней и задней поверхностей кварцевой пластины и, таким образом, устранить интерференцию. Толщина напыляемой пленки (порядка 10 нм) много меньше длины волны, поэтому интерференцией в пленке можно пренебречь. Угол падения порядка 3^0. Перед передней поверхностью пластины устанавливается система из двух сеток. Первая сетка электрически изолирована и находится под плавающим потенциалом (его значение находится в диапазоне –24 В ÷ –5 В). Назначение 1-ой сетки – не пропускать большую часть электронов плазмы и тем самым уменьшить возмущения плазмы. Вторая сетка изолирована от первой и от фланца, на котором сетки закреплены. На вторую сетку можно подавать потенциал в диапазоне от 0 до +40 В. Данный метод был испытан в магнетронном разряде с полым катодом мощностью 0,5–4 кВт. Сравнение результатов, полученных оптическим методом и с помощью сеточных кварцевых микровесов, показало совпадение в пределах 5 %.

Ключевые слова: степень ионизации потока атомов, осаждение пленок, магнетронный разряд с полым катодом.

При металлизации структур субмикронных размеров и глубиной в 3–10 раз больше (аспектное отношение 3–10) с помощью широко используемого в электронной промышленности обычного магнетронного разряда (с мишенью в виде плоского диска) возникают серьезные проблемы. Поток распыленного металла состоит почти на 100 % из атомов, так как плазма в этом разряде сосредоточена вблизи мишени и ее продольные размеры (порядка сантиметра) слишком малы, чтобы ионизовать атомы металла. Их

угловое распределение в первом приближении описывается функцией косинуса (по отношению к нормали). Изотропное распределение частиц приводит к тому, что на верхней части субмикронной структуры образуется навес, а внутри – полость (рис. 1а). Чтобы провести анизотропную металлизацию узкого отверстия, необходим поток частиц, приходящий на поверхность подложки вдоль нормали. Одним из возможных способов решения данной проблемы является ионизация распыляемого металла, так как на ионы можно воздействовать электрическим полем слоя перед подложкой (рис. 1б). Для увеличения вероятности ионизации распыленных атомов мишени необходимо создавать плазму высокой концентрации во всем объеме между мишенью и подложкой.

Существуют несколько источников, способных создавать такую высокоплотную плазму на основе следующих разрядов: совмещенный магнетронный и индуктивно-связанный разряд [1–3], сверхвысокочастотный разряд в условиях электрон-циклотронного резонанса [4, 5], магнетронный разряд с полым катодом (МПК) [6, 7].

Большая степень ионизации распыленных атомов мишени в МПК достигается за счет высокой концентрации плазмы (до 10^{12}см$^{-3}$ при давлении 1–20 мТорр), создаваемой в объеме 10^3–10^4 см$^{-3}$, что увеличивает вероятность ионизации. МПК применяется для создания адгезионных, диффузионных и затравочных слоев в канавках (тренчах) и межслойных отверстиях субмикронных структур интегральных схем, а также для кремниевых структур микроэлектромеханических систем. Поэтому определение степени ионизации потока представляет актуальную задачу.

Степень ионизации потока γ определяется как отношение потока ионов Γ_{Cu+} к полному потоку металла, состоящего из атомов и ионов

$$\gamma = \Gamma_{Cu+}/(\Gamma_{Cu^{+}+Cu}), \quad (1)$$

где потоки атомов и ионов меди равны соответственно

$$\Gamma_{Cu} = 0,25 n_{Cu}\sqrt{\frac{8k_Б T_{Cu}}{\pi M_{Cu}}}, \ \Gamma_{Cu^{+}} = 0,6 n_{Cu^{+}}\sqrt{\frac{k_Б T_e}{M_{Cu}}}. \quad (2)$$

где $k_Б$ – константа Больцмана;

M_{Cu} – масса атома меди;

T_{Cu}, T_e – температура атомов меди и электронов.

Для определения степени ионизации потока распыленных атомов γ применялись различные методы. Измеряя толщину пленки на дне субмикронной канавки (тренча) с поперечным размером менее 0.5 мкм и глубиной в 5 и более раз больше (аспектное отношение более 5), и на поверхности, можно вычислить γ, если принять допущение, что на дно приходят только ионы металла, а на поверхности подложки в образовании пленки участвуют как ионы, так и атомы металла. Такой метод применялся в работах [1, 2]. Yamashita [3] ис-

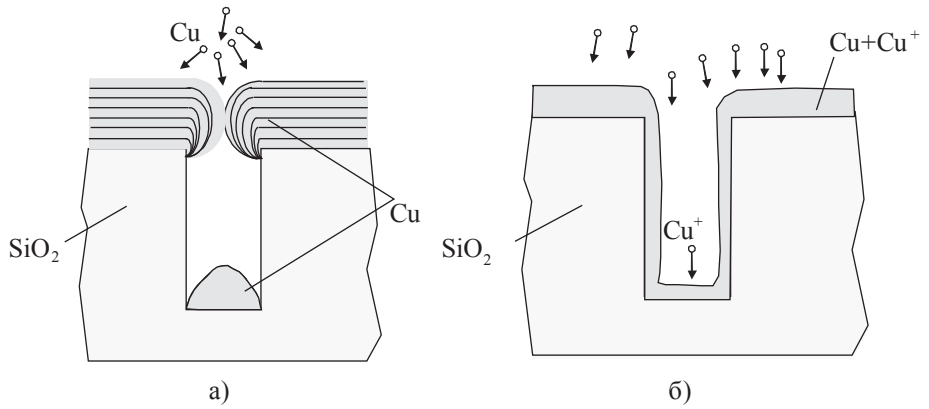


Рис. 1. Металлизация субмикронной канавки нейтральными атомами меди в магнетронном разряде с дисковой мишенью а) и ионами меди б)

Fig. 1. Metallization submicron grooves neutral copper atoms in a magnetron discharge with a circular target a) and copper ions б)

пользовал сеточный анализатор энергии перед подложкой и потом измерял толщину пленок, осажденных с положительным (задерживающим ионы) потенциалом на сетке, когда на подложку приходят только нейтральные частицы, и без задерживающего потенциала, когда приходят как нейтралы, так и ионы. Метод, позволяющий определять величину γ непосредственно в плазме (*in situ*), использовали в [8]. В этом методе сеточный анализатор устанавливался перед кварцевыми микровесами. Основу кварцевых микровесов составляет кварцевая пластина, вырезанная из монокристалла кварца под определенным углом. Сверху и снизу на этой пластине нанесены золотые электроды. При подключении к этим электродам переменного напряжения пластина начинает колебаться за счет явления обратного пьезоэффекта. При определенной частоте переменного напряжения в такой колебательной системе наступает резонанс. При осаждении вещества на поверхности этого устройства происходит изменение резонансной частоты пластины, на основании которого рассчитывается масса осажденного вещества.

Нами разработан новый метод с использованием лазерного излучения, позволяющий измерять γ непосредственно в плазме (*in situ*). Этот метод основан на свойстве тонких металлических пленок, когда коэффициент отражения линейно зависит от толщины

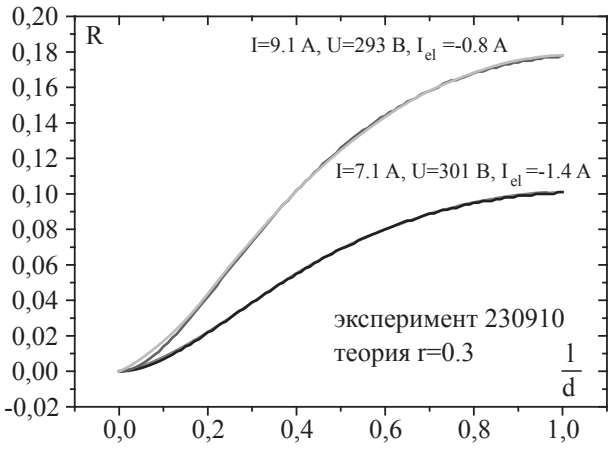


Рис. 2. Сравнение теоретических и экспериментальных кривых коэффициента *R* для медных пленок для длины волны 650 нм

Fig. 2. Comparison of theoretical and experimental curves of the *R* factor for copper films for a wavelength of 650 nm

пленки. Задача о взаимодействии электромагнитной волны со слоем проводящего материала длительное время привлекает к себе внимание. Это связано как с теоретическим интересом к этой проблеме, так и с многочисленными практическими приложениями. В работе [6] была рассмотрена теория отражения от тонких пленок света разных поляризаций (параллельной и перпендикулярной плоскости падания). При углах падения, близких к нулю, коэффициент отражения одинаков для различных поляризаций.

На рис. 2 приведены рассчитанные теоретически и экспериментальные кривые коэффициента отражения, полученные для медных пленок разных толщин. Здесь ось абсцисс выражена в относительных единицах: отношение толщины пленки *l* к величине скин-слоя δ, который выражается формулой

$$\delta = \frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma\omega}}, \qquad (3)$$

где σ – удельная проводимость металла;

ω – частота волны.

Для частот видимого диапазона света эта величина порядка десятков нанометров. Из рис. 2 видно, что на кривой отражения имеется линейный участок зависимости коэффициента отражения от толщины пленки.

Измерение степени ионизации производится следующим образом (рис. 3). В качестве подложки использовалась прозрачная кварцевая пластина размером 120Ч30Ч20 мм^3. На переднюю (обращенную к плазме) поверхность пластины осаждается металлическая пленка. Луч полупроводникового лазера направлялся на заднюю поверхность пластины, проходит через нее и отражается от поверхности, на которой осаждается пленка металла. Большая толщина пластины (20 мм) выбиралась для того, чтобы возможно дальше развести лучи, отраженные от передней и задней поверхностей кварцевой пластины и, таким образом, устранить интерференцию. Толщина напыляемой пленки (порядка 10 нм) много меньше длины волны, поэтому интерференцией в пленке можно пренебречь. Угол падения порядка 3^0. Перед передней поверхностью пластины устанавливается система из двух сеток. Первая сетка электрически изолирована и находится

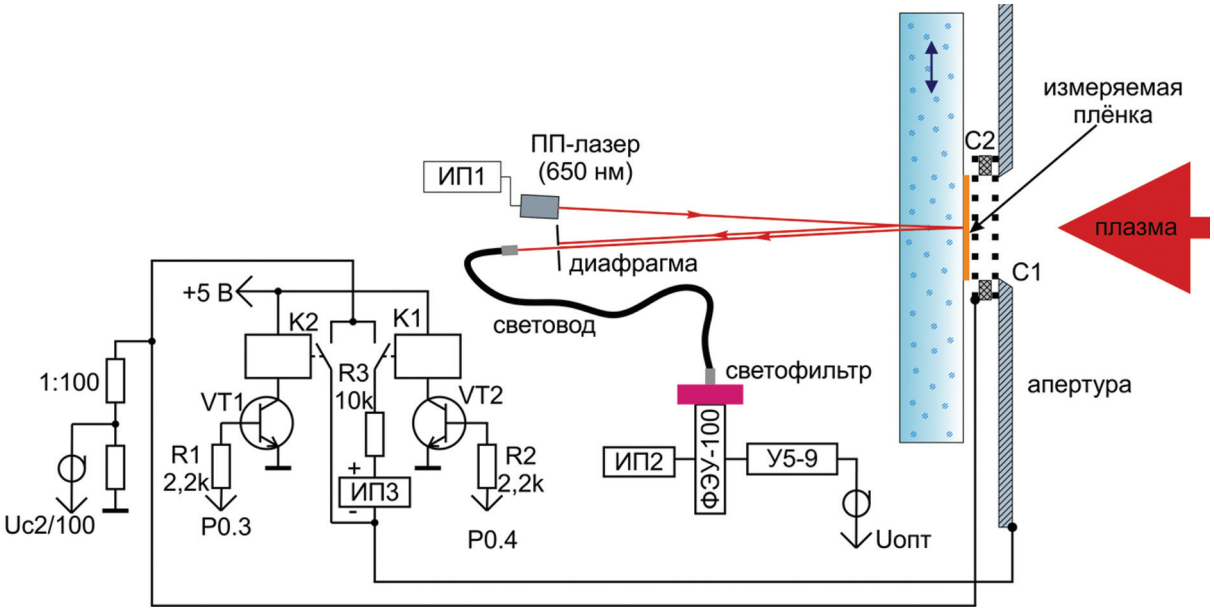
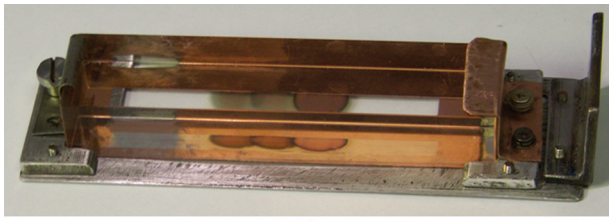


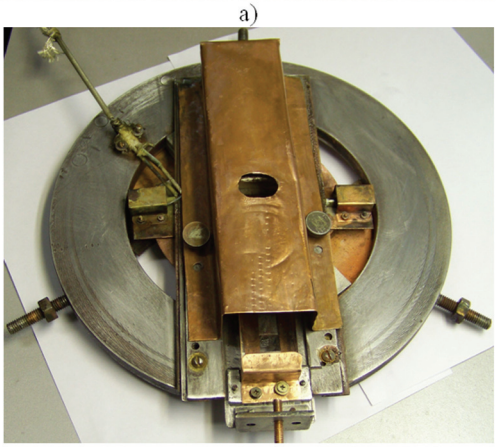
Рис. 3. Схема автоматизированной системы измерения степени ионизации потока атомов меди
Fig. 3. Scheme automated system to measure the degree of ionization of the flow of the copper atoms

под плавающим потенциалом (его значение находится в диапазоне –24 В ч –5 В). Назначение 1-ой сетки – не пропускать большую часть электронов плазмы и тем самым уменьшить возмущения плазмы. Вторая сетка изолирована от первой и от фланца, на котором сетки закреплены. Между сетками расположен изолятор из слюды толщиной 0.8 мм. На вторую сетку можно подавать потенциал в диапазоне от 0 до +30 В, который тормозит ионы, и при значении, превышающем потенциал плазмы, не дает ионам проходить на подложку. Таким образом, при положительном потенциале (относительно потенциала плазмы) на 2-ой сетке на подложке осаждались только нейтральные атомы, а при нулевом потенциале – и атомы и ионы.

Толщина осажденной тонкой пленки металла контролируется по ее коэффициенту отражения. Для этого отраженный от пленки луч полупроводникового лазера (длина волны 650 нм) через световод фокусируется на интерференционный светофильтр, который отрезает излучение других линий плазмы, и далее регистрируется фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Сигнал с ФЭУ подается на усилитель У5-9, а затем на один из каналов измерительной системы. Кварцевая пластина закреплена на рамке, которую можно передвигать без разгерметизации разрядной камеры. На переднюю поверхность пластины предварительно была нанесена медная пленка, которая после травления образует две полоски шириной 10 мм, расположенные по краям пластинки, а центральная часть плас-



а)



б)

Рис. 4. а) кварцевая пластина с 3-мя осажденными пленками на подвижной рамке; б) устройство для измерения степени ионизации потока распыленных атомов металла оптическим способом
Fig. 4. a) quartz plate with 3 films deposited on a movable frame; б) a device for measuring the degree of ionization of the metal atoms sputtered flux optically

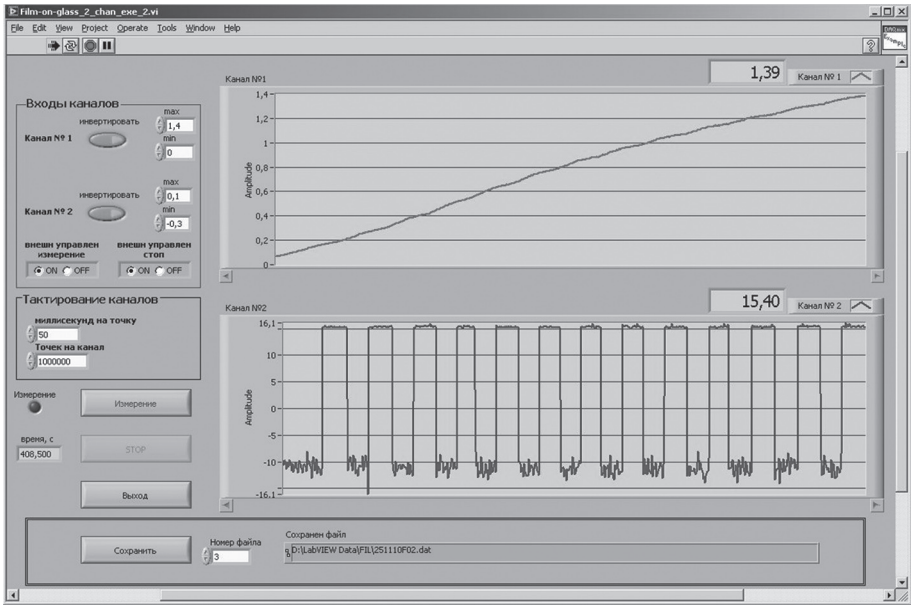


Рис. 5. Интерфейс программы для измерения степени ионизации распыленных атомов металла оптическим методом
Fig. 5. Interface program to measure the degree of ionization of sputtered metal atoms by optical method

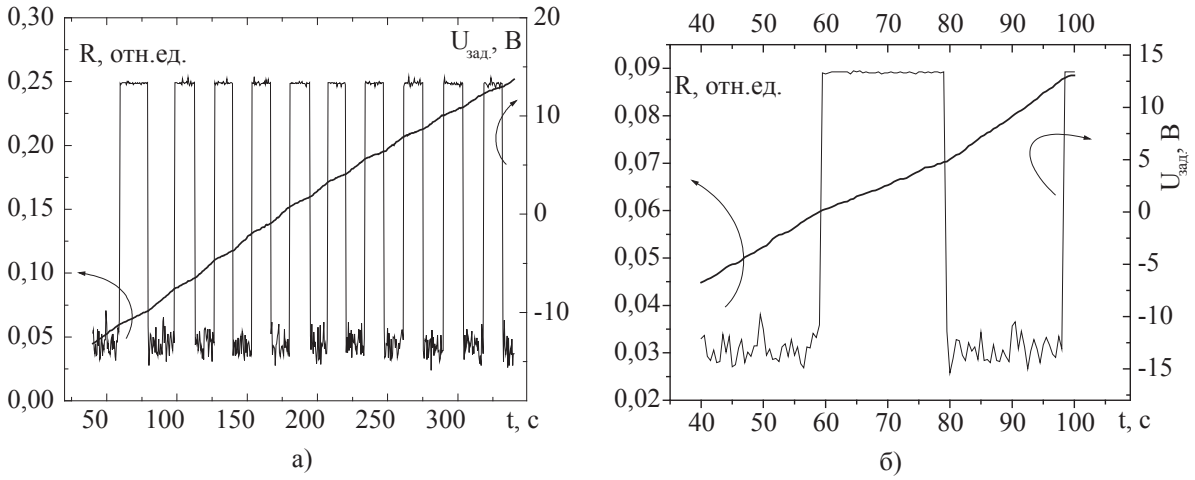


Рис. 6. а) Коэффициент отражения осаждаемой пленки Cu как функция времени и задерживающего потенциала сетки. 15 мТорр, *W* = 2,5 кВт, *I*эм = –3,5 А, 20 см от магнетрона, б) увеличенный масштаб
Fig. 6. a) The reflection coefficient of the deposited Cu film as a function of time and retarding potential grid. 15 mTorr, *W* = 2,5 kW, *I*em = –3,5 A, 20 cm from the magnetron, б) zoomed

тины предназначена для осаждения пленки из плазмы. Крайние части осажденной пленки контактируют с медными полосками на стекле, через них происходит стекание заряда (рис. 4а). Сетки закреплены на тонком медном фланце с отверстием диаметром 15 мм. Расстояние между сетками и стеклом 5 мм. Таким образом, пленка на стекле имеет вид круга такого же диаметра. Поэтому, передвигая пластину, можно осаждать 7 пленок при различных параметрах разряда без разгерметизации камеры. Кварцевая пластина закрывается кожухом для того, чтобы избежать запыления задней поверхности. Вся конструкция закреплена на алюминиевом кольцевом фланце диаметром 200 мм, который устанавливается в камере на изолированных стержнях.

На рис. 4б показана вся конструкция, устанавливаемая в разрядную камеру. Управление задерживающим напряжением на сетке и регистрация данных осуществляется автоматизированной измерительной системой. Интерфейс программы приведен на

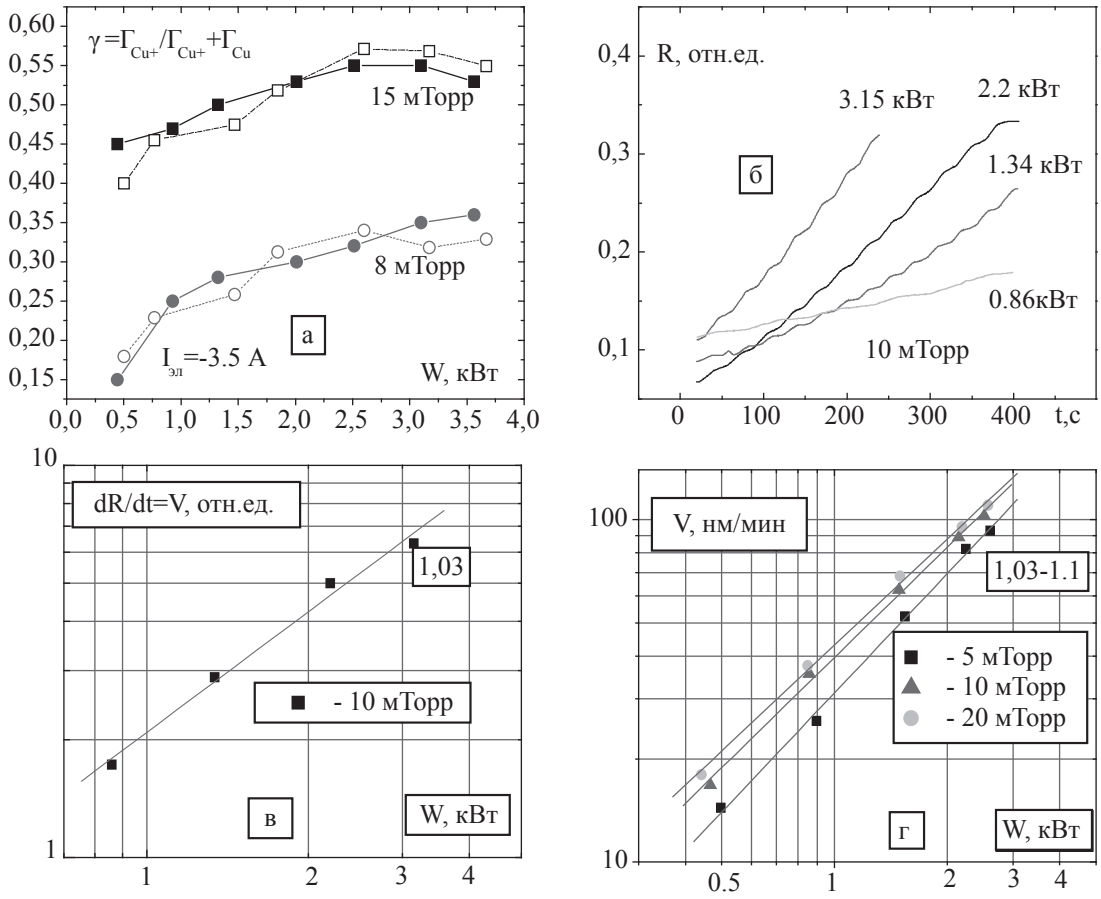


Рис. 7. а) степень ионизации потока γ в зависимости от мощности разряда, полученная оптическим методом (светлые значки), и методом сеточных кварцевых микровесов (сплошные значки); б) зависимость коэффициента отражения (толщины пленки) от времени при различных мощностях разряда; в) скорость изменения коэффициента отражения (скорость роста пленки) как функция мощности разряда; г) скорости роста пленки в зависимости от мощности разряда по результатам измерений сеточными кварцевыми микровесами. $I_{эл.}$ = – 3,5А, 19 см от магнетрона

Fig. 7. a) the degree of ionization flow γ depending on the discharge power obtained by the optical method (open circles), and the method of mesh quartz crystal microbalance (solid symbols); б) the dependence of the reflection coefficient (film thickness) from time to time in various capacities discharge; в) the rate of change of the reflection coefficient (the film growth rate) as a function of the discharge power; г) the film growth speed depending on the discharge capacity as measured by grid quartz microbalance. *I*el. = – 3,5A, 19 cm from the magnetron

рис. 5. Одновременно регистрируются 2 канала: на первом – сигнал с усилителя ФЭУ, на втором – задерживающее напряжение на сетке.На рис. 6 а,б показана зависимость коэффициента отражения (пропорционального толщине пленки) от времени напыления. Коэффициент наклона графика пропорционален скорости напыления. Черной линией показан коэффициент отражения $R_{отраж.}$ в процессе роста толщины пленки, синей – задерживающий ионы потенциал. Видно, что при включении задерживающего потенциала скорость возрастания (наклон) коэффициента отражения существенно уменьшалась. Степень ионизации атомов металла определяют по отношению скоростей напыления на двух этапах: торможение ионов и прохождение ионов. Тогда, $\gamma = 1 - tg(Cu)/tg(Cu^+ + Cu^+)$, где *tg* – тангенс наклона $R_{отраж}$. На рис. 7а приведена зависимость величины $\gamma = \Gamma_{Cu+}/(\Gamma_{Cu} + \Gamma_{Cu+})$ для потока меди от мощности разряда для различных давлений. Она увеличивается с ростом мощности и давления разряда, так как в этом случае возрастает концентрация электронов, которые вызывают ионизацию атомов. Оптический метод позволяет измерять γ непосредственно в плазме (*in situ*).

Для сравнения и калибровки результатов разработанного оптического метода степень ионизации потока была измерена другим методом – с помощью сеточных кварцевых микровесов. В качестве кварцевых микровесов использовался промышленный датчик фирмы Inficon (Германия), перед которым были установлены 2 сетки. На рис. 7а показаны величины степени ионизации потока распыленного металла в зависимости от мощности разрядов, измеренные двумя способами. Результаты величины γ, полученные этим датчиком, в пределах 5 % совпали с величинами, измеренными с помощью разработанных нами оптических методов. Кроме того, надежность полученных результатов была проверена с помощью профилометра по измерениям толщины пленок, осажденных за одинаковое время при включении задерживающего потенциала на 2-ю сетку и без него.

На рис. 7б показаны зависимости коэффициента отражения для различных мощностей разряда. Видно, что чем выше мощность разряда, тем быстрее происходит возрастание коэффициента отражения, т.е. толщины пленки. Из этих графиков можно определить зависимость скорости осаждения пленки от мощности (рис. 7с). Из графика на рис. 7с, построенного в логарифмических масштабах, следует, что скорость осаждения пленки возрастает с мощностью разряда линейно (коэффициент пропорциональности 1.03). Такая зависимость хорошо согласуется с теорией [10]. На рис. 7г представлены скорости роста пленки в зависимости от мощности разряда по результатам измерений сеточными кварцевыми микровесами. Для разных давлений разряда эта зависимость линейная (коэффициент пропорциональности 1.02–1.1), что также подтверждает результаты оптического метода. По проведенным измерениям получены следующие результаты: при мощности разряда 3 кВт степень ионизации распыленных атомов меди достигает 35 % при давлении 10 мТорр, при давлении 20 мТорр – 60 %.

Разработан метод и изготовлена конструкция устройства для измерения степени ионизации потока распыленных атомов металла γ оптическим способом. Этот метод позволяет измерять γ непосредственно в плазме (*in situ*). Надежность и достоверность результатов разработанного оптического метода измерения степени ионизации потока были подтверждены измерениями с помощью сеточных кварцевых микровесов и профилометра.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Плазменные технологии микро- и нанопленок»

Библиографический список
References

1. Nickols C.A,.Rossnagel S.M, Hamaguchi S. Ionized physical vapor deposition of Cu for high aspect ratio damascene trench fill applications. J.Vac.Sci.Technol. 1996, V. 14B, pp. 3270-3275.
2. Zhong G., Hopwood J. J.Vac.Sci.Technol. Ionized titanium deposition into high aspect ratio vias and trenches, 1999. V. 17B. pp. 405-409.
3. Yamashita M. Fundamental characteristics of built – in high – frequency coil – type sputtering apparatus. J.Vac.Sci.Technol. 1989. V. 7A, pp. 151-158.
4. Gorbatkin S.M., Rossnagel S.M. Cu metallization using a permanent magnet ECR microwave plasma/ sputtering hybrid system. J.Vac.Sci.Technol. 1996. V. 14B. № 3. pp. 1853-1859.
5. Poluektov N. P., Kharchenko V. N. Usatov I. G Ionization of Sputtered Metal Atoms in a Microwave ECR Plasma Source. Plasma Physics Reports. 2001. V. 27, № 7, pp. 625–633.
6. Meng L., Raju R., Flauta R., Shin H., Ruzic D. N. In situ plasma diagnostics study of a commercial high-power hollow cathode magnetron deposition tool. J.Vac.Sci.Technol. 2010. V. 28A, № 1. pp. 112-118.
7. Poluektov N.P., Tsar'gorodsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kamyschov I.A. Probe and emission spectrometry diagnostics in hollow cathode magnetron. J. Modern Physics. 2012. V. 10. № 3. pp. 1494-1502.
8. Green K.M.,Hayden D.B., Juliano D.R., Ruzic D.N. Determination of flux ionization fraction using a quartz crystal microbalance and a gridded energy analyzer in an ionized magnetron sputtering system. Rev.Sci.Instrum. 1997. V. 68, pp. 4555-4560.
9. Jones W.E., Kliewer K.L., Fuchs R. Nonlocal theory of the optical properties of thin metallic films. Physical Review, 1969. V. 178, № 3, pp. 1201-1203.
10. Vyas V., Kushner M.J. Scaling of hollow cathode magnetron or ionized metal physical vpor deposition. J. Vac. Sci. Technol. 2006. V. 24 A, pp. 1955-1969.

METHOD FOR MEASURING OF THE IONIZATION FRACTION OF THE METAL ATOM FLUX

Tsar'gorodsev Yu.P., Associate Prof. Department of Physics MFSU, Cand., Poluektov N.P., Professor Dr technical. Sciences Department of Physics MFSU, Usatov I.I., chief engineer Department of Physics MFSU, Evstigneev A.G., chief engineer Department of Physics MFSU

poluekt@mgul.ac.ru
Department of Physics, Moscow State Forest University 1st Institutskaya street, 1, 141005, Mytischi, Moscow region, Russia

An optical method for determining the degree of ionization of the metal atom flux γ used for the films deposition in deep submicron structures used for the creation of modern VLSI. The degree of ionization of the metal atoms flux is defined as the ratio of the ion flux to the total flux, which includes atoms and ions. We have developed a new method using laser radiation, which allows to measure directly γ in plasma (in situ). This method is based on the reflection of the thin metal film when the reflection coefficient is linearly dependent on the film thickness. On the front of the wafer surface (facing to plasma) is deposited metal film. Semiconductor laser beam was directed onto the back surface plate and passing through it is reflected from the surface on which the deposited metal film. Large thickness (20 mm) of the plate was chosen to dilute away beams reflected from the front and back surfaces of the quartz plate, and thereby eliminate interference. The substrate used transparent quartz plate size 120Ч30Ч20 mm³. The thickness of the deposited film (about 10 nm) is much smaller than the wave length, therefore the interference in the film can be neglected. The incidence angle is about 30. In front of the substrate were installed two grids with cells of 70 um. The first grid is electrically isolated and has a floating potential (its value is in the range –24 ÷ –5 V). First mesh does not miss much of the plasma electrons and thereby reduces plasma perturbation. The second mesh is isolated from the first and flange on which are fixed. In the second grid may be bias to the positive potential from 0 to 30 V, which inhibits the ions flow and the ions does not take place on the substrate. In this case, the film is deposited by metal atoms only. At zero potential on the second grid the film is deposited by metal atoms and ions. This method was tested in a magnetron discharge with a hollow cathode with power of 0.5 – 4 kW. Results obtained by the optical method have an agreement within 5 % with results by the gridded quartz microbalance.

Key words: ionization fraction of atom flux, film deposition, hollow cathode magnetron discharge.

This work was supported CCU «Plasma technology of micro and nano-films»

ВЫБОР ОПЕРАТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ И СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССОРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

М.С. УСАЧЕВ, *ст. преподаватель каф. управления автоматизированными производствами лесопромышленного комплекса МГУЛ,*
В.А. ДОРОШЕНКО, *проф. каф. управления автоматизированными производствами лесопромышленного комплекса МГУЛ, д-р техн. наук*

usachevmaksim@mail.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУ

Сборка является завершающим и определяющим этапом производственного процесса в приборостроении. На этом этапе формируются основные показатели качества выпускаемой продукции. При этом одной из основных операций является операция контроля технологического процесса сборки. Операции контроля в некоторых процессах сборки занимают от 25 до 50 % времени всего технологического цикла. Для повышения эффективности процесса необходимо выполнение автоматического контроля на всех стадиях сборки изделия. Основными видами контроля являются: входной контроль собираемых деталей и комплектующих изделий; промежуточный контроль, выполняемый в процессе сборки или после окончания определенного этапа; окончательный контроль собранного изделия после завершения всего процесса. Анализ методов достижения точности при автоматической сборке, технологии и оборудования на основе гибких производственных систем при сборке прецизионных изделий и сборке на основе роботизированных технологических комплексов, показал наличие множества параметров и признаков в целом технологического процесса сборки. Приведенные множества параметров и признаков определяют множество измерительных задач системы контроля качества сборки на всех ее этапах и, прежде всего, определяют структуру построения измерительных средств с различными функциональными измерительными функциями. Множество измерительных задач определяют соответствующие уравнения измерений и структуру измерительных средств с различным уровнем интеллекта. Это требует разработки и применения интеллектуальных процессорных измерительных средств (ПрИС), начиная с первого уровня интеллекта, которому соответствует однофункциональный процессорный измеритель, обеспечивающий выполнение измерительной задачи по жесткой программе, и кончая многофункциональными ПрИС, выполняющими итеративные адаптивные измерения целого ряда измерительных задач на основе соответствующих уравнений измерения, структуры ПрИС и априорной информации. Для решения такой задачи для автоматической сборки в приборостроении с учетом приведенных параметров и признаков необходимо разработать метод и ал-

горитм формального перехода от параметров и признаков технологических операций к операторным уравнениям измерения и структуре ПрИС для автоматизации сборки изделий. В статье предложен метод и алгоритм автоматизированного перехода от параметров и признаков технологического процесса сборки к операторным уравнениям и структуре процессорных измерительных средств для систем контроля сборки в приборостроении.

Ключевые слова: операторные уравнения измерения, процессорные измерительные средства, параметры и признаки технологического процесса, матрицы расстояний между множествами, среднегрупповое расстояние между множествами, уровни интеллекта измерительных средств.

При решении задач автоматизации процесса сборки изделий в приборостроении и вообще в машиностроении одним из основных вопросов является разработка интеллектуальных процессорных средств измерения размеров. В структуру таких средств входят: первичный преобразователь, измерительный преобразователь, аналого-цифровой преобразователь и процессорный модуль [1]. Основой для создания интеллектуальных средств измерения являются операторные уравнения, определяющие структуру процессорных измерительных средств (ПрИС). Основное операторное уравнение имеет вид [1–6]

$$\lambda^* = R_2 K R_1 \gamma,$$

где λ^* – результат измерения;

R_1 – преобразование, выполняемое в аналоговой форме;

K – аналого-цифровое преобразование;

R_2 – преобразование, выполняемое в числовой форме;

γ – входное воздействие.

Наиболее распространенной классификацией измерений в метрологии является разделение на прямые и косвенные измерения и соответствующие им операторные уравнения [1]. Операторные уравнения и уровни интеллекта процессорных измерительных средств представлены в табл. 1.

Многовариантность параметров и признаков технологического процесса сборки определяет выбор операторных уравнений и структур ПрИС как непосредственно воспринимающих измерения в методах сборки. Цель предлагаемой работы – формирование множества параметров и признаков процесса сборки изделий и разработка метода и алгоритма формализованного перехода от параметров и признаков к операторным уравнениям и структуре ПрИС.

Основными при сборке изделий в приборостроении (машиностроении) являются [7–10] методы: полной взаимозаменяемости деталей сборочных единиц; неполной взаимозаменяемости (сборка с подбором деталей); групповой взаимозаменяемости (селективная сборка); регулировки при сборке деталей с применением компенсаторов; с индивидуальной пригонкой деталей при сборке.

Структурная схема автоматической сборки методом полной взаимозаменяемости показана на рис. 1. При такой сборке достаточно контролировать размеры деталей $Д_1$, $Д_2$,..., $Д_n$. Сборка осуществляется сборочным автоматом. Особенность этого метода – гарантированное обеспечение требуемого размера замыкающего звена сборочной единицы в процессе сборки, то есть достаточно контролировать размеры деталей. При этом требуется более высокая точность изготовления и контроля деталей.

При использовании метода неполной взаимозаменяемости (рис. 2) заранее неизвестно, в каком изделии требуемый размер замыкающего звена не обеспечивается. Для этого его необходимо контролировать в каждой сборочной единице, что требует дополнительной контрольной позиции в сборочной линии или сборочном автомате. Детали $Д_1$, $Д_2$,..., $Д_n$ после контроля собираются в сборочном автомате (сборочной линии). Собранная единица проходит контроль сборки в контрольном автомате. Часть сборочных единиц, попавших в процент отклонения, отбрасываются. Такая сборочная единица разбирается в разборочном автомате, составляющие детали возвращаются для повторной сборки в другом сочетании. Если некоторые детали невозможно установить при сборке, то срабатывает контрольно-блокировочное устройство, которое прерывает сборочный процесс, выводит из зоны сборки необработанные детали и возвращает сборочный автомат в исходное состояние. При этом методе сборки помимо измерения размеров необходимо учитывать способы перемещения в зоне измерения:

Таблица 1

Операторные уравнения и уровни интеллекта процессорных измерительных средств
Operator equations and levels of intelligence processor measuring tools

Типовые операторные уравнения	Выбор операторных уравнений и структуры процессорных измерительных средств	Уровни интеллекта процессорных измерительных средств
Прямые обыкновенные неитеративные измерения (ПОНИ)		***Однофункциональные:*** $\Phi_{И}$ – операторные уравнения; $A_{И}$ – алгоритм измерения
Прямые обыкновенные итеративные измерения (ПОИИ)		***Многофункциональные:*** $\Phi_{Иi}$ – операторные уравнения; $A_{Иi}$ – алгоритмы измерения; A_{bs} – правила выбора алгоритма измерения.
Прямые с усреднением неитеративные измерения (ПУОИ)		
Прямые с усреднением итеративные измерения (ПУИИ)		***Неитеративные адаптивные:*** $\Phi_{Иi}$ – операторные уравнения; $A_{Иi}$ – алгоритмы измерения; A_{bs} – правила выбора алгоритма измерения; массив данных
Косвенные обыкновенные неитеративные измерения (КОНИ)		
Косвенные обыкновенные итеративные измерения (КОИИ)		***Итеративные адаптивные:*** $\Phi_{Иi}$ – операторные уравнения; $A_{Иi}$ – алгоритмы измерения; A_{bs} – правила выбора алгоритма измерения; массив данных
Косвенные с усреднением неитеративные измерения (КУНИ)		
Косвенные с усреднением итеративные измерения (КУИИ)		***Итеративные адаптивные с самообучением:*** $\Phi_{Иi}$ – операторные уравнения; $A_{Иi}$ – алгоритмы измерения; A_{bs} – правила выбора алгоритма измерения; A_{pi} – программно-алгоритмическое обеспечение для расширения алгоритмов измерения и правил выбора (A_{bs}); массив данных
Типовые структуры процессорных измерительных средств		
Параметры и признаки технологических операций		

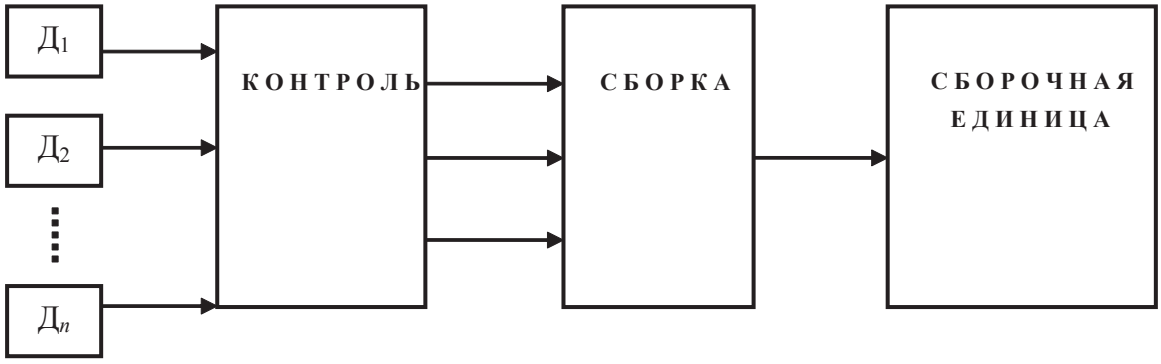


Рис. 1. Метод полной взаимозаменяемости
Fig. 1. The method of complete interchangeability

ориентированное и неориентированное перемещение; продольное или поперечное, пошту чное или групповое.

При автоматической сборке с групповой взаимозаменяемости (селективная сборка) (рис. 3) детали $Д_1$, $Д_2$,..., $Д_n$ должны быть рассортированы по размерным группам сортировочным автоматом и размещены в накопитель. Предварительная сортировка на размерные группы требует информации о размерах всех деталей. Для того чтобы при сборке не перепутались некоторые детали с деталями другой размерной группы, необходимо дополнительно их маркировать. При такой сборке кроме размеров деталей (диаметр, длина, минимальное значение или максимальное значение параметра, выделение минимального или максимального значения параметра) необходимо учитывать способы перемещения в зоне измерения.

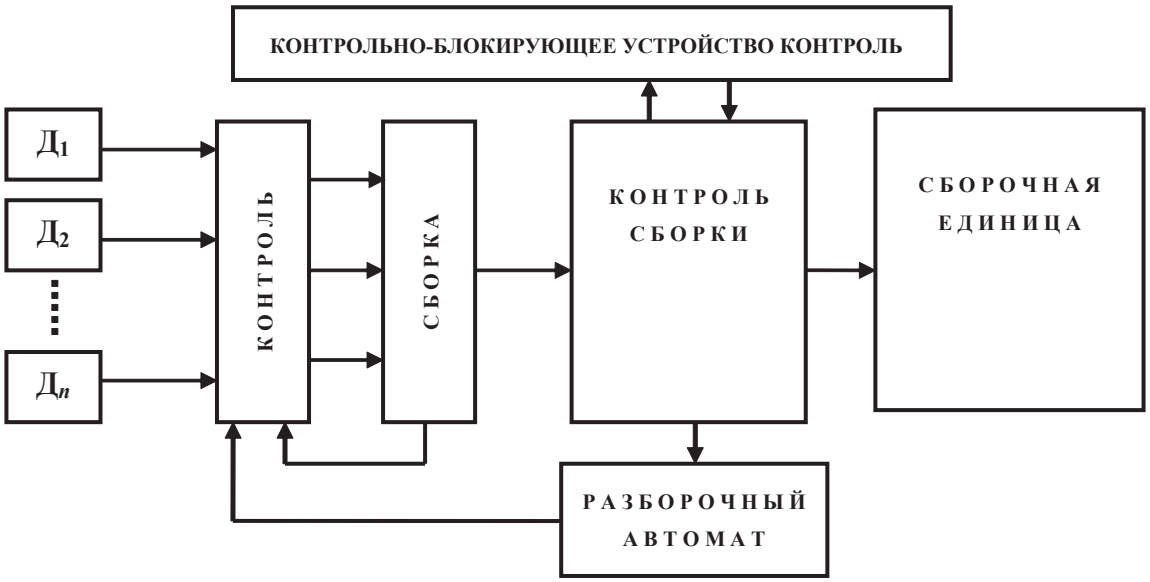


Рис. 2. Метод сборки с подбором деталей (метод неполной взаимозаменяемости)
Fig. 2. Assembly method with the selection of items (a method of partial interchangeability)

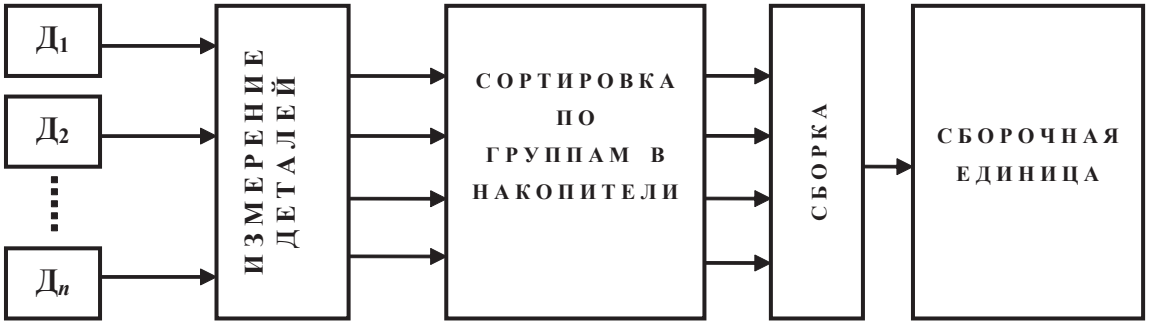


Рис.3. Метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка)
Fig. 3. Interchangeability group method (selective assembly)

Требуемой точности при сборке методом регулирования размера (рис. 4) можно достигнуть при использовании неподвижных и подвижных компенсаторов. Детали-компенсаторы, поступающие на сборку, измеряются в контрольно-сортировочном автомате. Происходит сортировка по размерам на группы. Рассортированные детали-компенсаторы подаются в накопитель. Детали для сборки через измерительное устройство и микропроцессорное устройство дают информацию для устройства выбора размеров компенсатора и подачи на сборку вместе с деталями сборки. При такой сборке увеличивается объем и разнообразие параметров и признаков, влияющих на выбор операторных уравнений и структуры ПрИС, в том числе влияния способов перемещения и ориентации деталей и деталей-компенсаторов.

Метод пригонки при сборке деталей (рис. 5) так же, как и метод регулировки (рис. 4), обеспечивает высокую точность размера замыкающего звена с помощью компенсаторов, но при этом требуется дополнительная обработка компенсатора. Размер детали компенсатора 1 измеряется измерительным устройством, сигнал с которого подается на элемент сравнения. На второй вход подается сигнал с задающего устройства. Сигнал о размерах детали на сборку поступает также на вход задающего устройства. При наличии разностного сигнала на выходе элемента сравнения сигнал передается на вход регулятора, что является командой на дополнительную обработку детали-компенсатора. При этом требуется применение двух измерительных устройств, для которых необходимо обосновать операторное уравнение и структуры ПрИС.

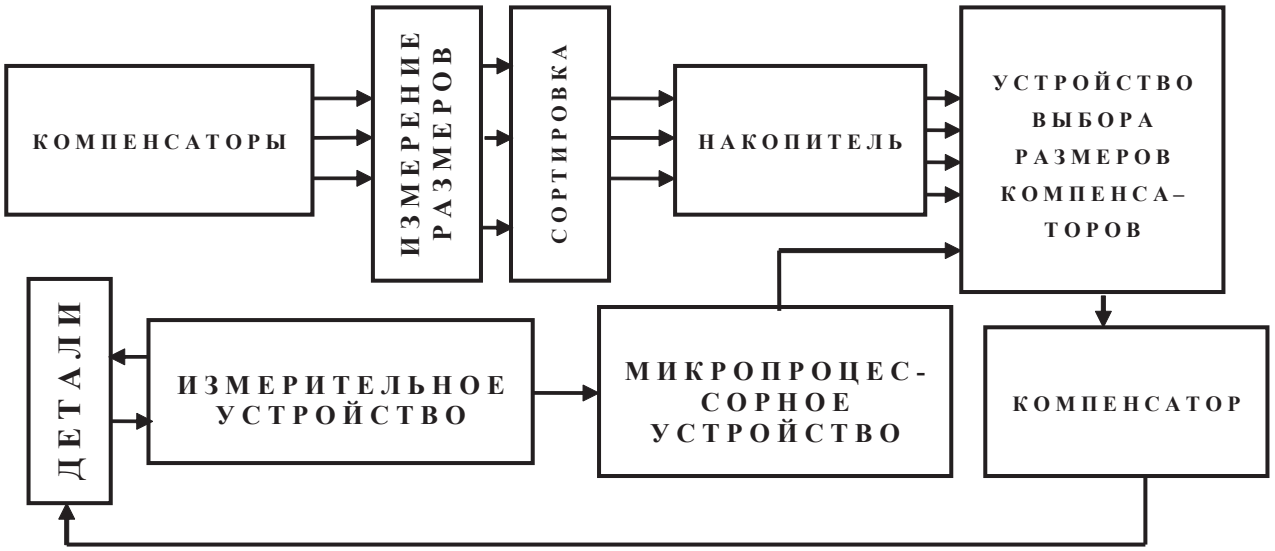


Рис. 4. Метод регулировки при сборке деталей
Fig. 4. Adjustment method when assembling parts

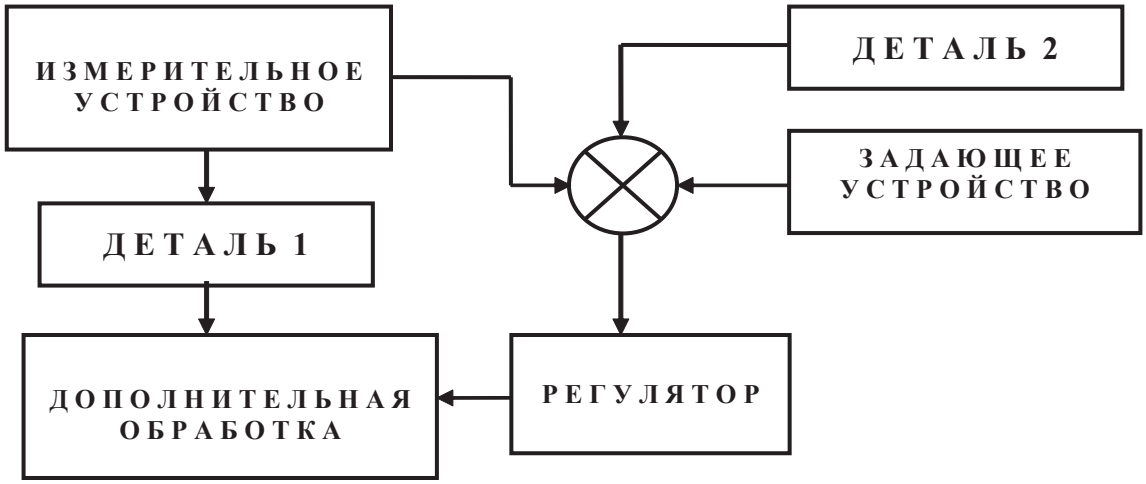


Рис. 5. Метод пригонки при сборке деталей
Fig. 5. Method for the assembly of parts fits

Прецизионная сборка в основном выполняется с помощью гибких производственных систем. Состав оборудования и гибкость системы для прецизионной сборки определяется методом достижения заданной точности сборки. Основой достижения необходимой точности является сборка методом взаимозаменяемости и групповой взаимозаменяемости. Отличие в составах и схемах компоновки оборудования определяется местом и временем производимого процесса контроля и комплектования деталей сборочных единиц. При этом увеличивается объем измерительных задач на множестве параметров и признаков операций контроля, комплектования и использования измерительной информации в процессе переналадки гибкой производственной системы с применением компьютерных технологий.

В результате анализа процесса сборки различными методами выделены исходное множество параметров и признаков для формирования эталонных множеств, определяющих выбор операторных уравнений и структур ПрИС (рис. 6): x_1 – объект измерения; x_2 – измерение минимального значения размера детали; x_3 – измерение максимального значения размера детали; x_4 – выделение минимального значения размера детали; x_5 – выделение максимального значения размера детали; x_6 – чистовая поверхность детали; x_7 – черновая поверхность детали;

Рис. 6. Параметры и признаки технологического процесса сборки в приборостроении
Fig. 6. Settings and features in the assembly process instrumentation

x_8 – продольное перемещение в зоне измерения; x_9 – поперечное перемещение в зоне измерения; x_{10} – ориентированная подача в зоне измерения; x_{11} – неориентированная подача в зоне измерения; x_{12} – поштучная подача в зоне измерения; x_{13} – групповая подача в зоне измерения.

На основе выделенного множества формируются эталонные множества (рис. 6), правило формирования которых заключается в следующем. В каждое эталонное множество входит признак объекта измерения (x_1), один из измеряемых параметров (x_2, x_3, x_4, x_5). Элементами эталонных множеств не могут одновременно быть два взаимоисключающих признака x_6, x_7; x_8, x_9; x_{10}, x_{11}; x_{12}, x_{13}. Число эталонных множеств определяется числом измеряемых размеров (x_2, x_3, x_4, x_5) и числом взаимоисключающих признаков $n_{эт} = 2^{m1+m2}$, где m_1 – число измеряемых размеров; m_2 – число взаимоисключающих признаков.

Каждому эталонному множеству соответствует определенное операторское уравнение и в итоге структура ПрИС. К прямым измерениям относятся измерения, в которых воздействие на вход измерительного устройства осуществляется самой измеряемой величиной. При косвенных измерениях на вход воздействует величина, функционально связанная с измеряемой. Обыкновенные измерения – измерения, при которых результат измерения соответствует моменту измерения (разовые измерения без усреднения). Это соответствует измерению чистовой поверхности детали (x_6). Усредненные измерения – измерения, при которых результат измерения соответствует временному интервалу измерения, то есть несколько измерений для повышения точности результата измерения. Это соответствует измерению черновой поверхности детали (x_7). Итеративные измерения – измерения, при которых выполняются циклы измерений с целью сравнения и выделения требуемых размеров, что соответствует выделению минимального или максимального значения размера (x_4, x_5) при неориентированной подаче (x_{11}). Неитеративные измерения – измерения, при которых нет необходимости выполнения циклов измерения. Это соответствует измерениям при ориентированной подаче (x_{10}).

В целом предложенный алгоритм выбора операторных уравнений измерений и структуры ПрИС представлен на рис. 7. На основе исходных данных технологических операций сборки изделий (блок 1) формируется упорядоченный ряд параметров и признаков

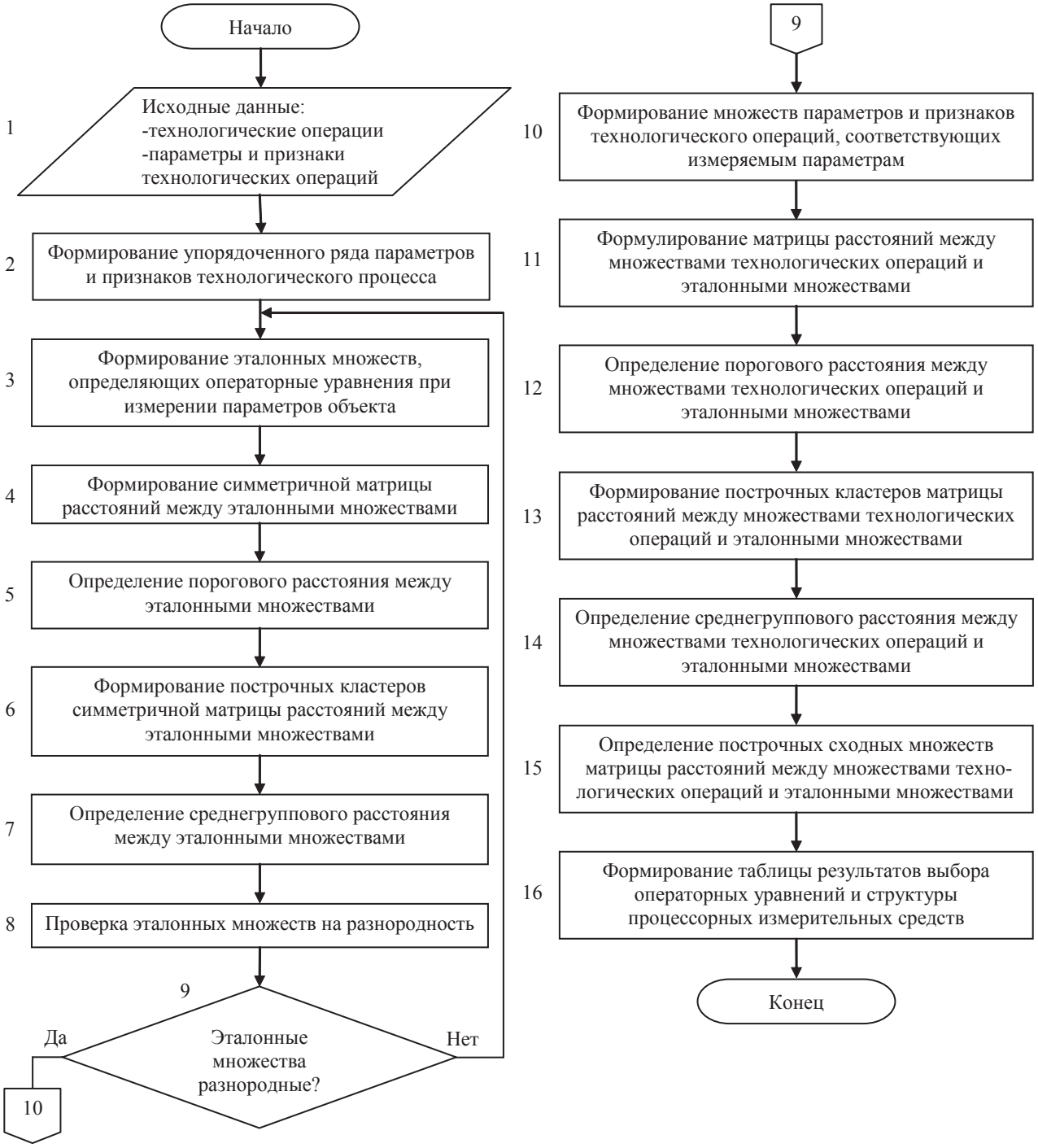


Рис. 7. Алгоритм выбора операторного уравнения и структуры процессорных измерительных средств
Fig. 7. Algorithm selection operator equation and the structure of the processor measuring tools

технологических операций в целом (блок 2). Формирование эталонных множеств (блок 3) и соответствующих им операторных уравнений выполняется по правилам, изложенным выше. Сформированные эталонные множества проверяются на разнородность для исключения неопределенностей в процессе выбора операторных уравнений. Для этого выполняется ряд операций (блоки 4–8). С этой целью формируется симметричная матрица расстояний (блок 4) между эталонными множествами $D_1 = |a_{ij}|$. Строки и столбцы матрицы D_1 соответствует эталонным множествам. Элементы матрицы определяются на основе выражения

$$d_{ij}=1\frac{\left|M_i\cap M_j\right|}{\left|M_i\cup M_j\right|}$$

где $i=M_{Э1},M_{Э2},\ldots, M_{Эn}$; $j=M_{Э1}, M_{Э2},\ldots, M_{Эn}$.

Числитель отражает число общих элементов двух эталонных множеств, знаменатель – суммарное число разных элементов двух множеств. На основе матрицы D_1 определяется пороговое расстояние между эталонными множествами (блок 5), исключая нулевые значения диагонали симметричной матрицы $d_n = (d_{min} + d_{max})/2$. С учетом порогового расстояния формируются построчные кластеры, элементами которых являются множества, расстояния между которыми меньше или равны пороговому расстоянию $d_{ij} \le d_n$ (блок 6). На основе матрицы D_1 и выделенных построчных кластеров формируются группы сходных и разнородных множеств. Для оптимизации разбиения этих групп определяется среднегрупповое расстояние (блок 7)

$$R_1 = \frac{\sum_{l=1}^{m} \sum_{(ij) \in A_l} d_{ij}}{\sum_{l=1}^{m} C^2_{n,m}}$$

где $i = 1, 2, \ldots, m$ – число кластеров;

A_l – число пар множеств, входящих в кластеры, расстояние между которыми удовлетворяет условию $d_{ij} \le d_n$;

$C^2_{n,m}$ – число внутри группового расстояния в кластерах;

n – число элементов (множеств) в кластере.

С учетом данных матрицы D_1 и среднегруппового расстояния R_1 выполняется проверка эталонных множеств на разнородность (блок 8). Множества являются разнородными при условии, что расстояние между ними больше среднегруппового расстояния $d_{ij} > R$.

Для непосредственного выбора операторного уравнения и структуры ПрИС для конкретных операций сборки изделий формируются множества параметров и признаков этих операций относительно измерительных параметров (блок 10). Для выделения сходных множеств и соответствующих им операторных уравнений формируется матрица расстояния $D_2 = |d_{ij}|$ (блок 11). Строки матрицы соответствуют технологическим множествам (множества операций сборки), столбцы – эталонным множествам. В блоках 12–14 повторяются операции блоков 5–7. В блоке 15 выделяются сходные множества матрицы расстояний D_2. Множества являются сходными, если выполняется условие $d_{ij} \le R_2$, где R_2 – среднегрупповое расстояние между множествами технологических операций и эталонными множествами. Сходным множествам соответствуют операторные уравнения измерений и соответствующие им структуры ПрИС [3]. При этом формируется результирующая таблица, в которой указываются операции сборки и соответствующие им операторные уравнение измерения, структура ПрИС и необходимый уровень интеллекта ПрИС. На основе предложенного метода и алгоритма перехода от технологических параметров и признаков к операторным уравнениям и структуре ПрИС разработана программа автоматического выбора в среде MATHCAD.

Библиографический список

1. Цветков, Э.Н. Процессорные измерительные средства/ Э.Н. Цветков – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 224 с.
2. Катыс, П.Г. Интеллектуальные видеодатчики систем машинного видения/ П.Г. Катыс, Г.П. Катыс // Датчики и системы. – 2001. – № 9. – С. 42–48
3. Целищев, Е.С. Новый подход к построению универсальной структуры информационного обеспечения процесса проектирования систем контроля/ Е.С. Целищев, Н.С. Кудряшов, А.В. Глязнецова // Датчики и системы. – 2010. – № 6. – С. 28–34
4. Раннев, Г.Г. Измерительные информационные системы. – М.: Академия, 2010. – 336 с.
5. Дорошенко, В.А. Структурный синтез процессорных средств для измерения размеров объектов / В.А. Дорошенко, М.С. Усачев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2011. – № 4. – С. 136–141.
6. Усачев, М.С. Математическое описание компоновки распределенных систем управления с оценкой структурной избыточности и сложности / М.С. Усачев, В.А. Дорошенко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. – № 3. – С. 196–202.
7. Ласуков, А.А. Автоматизация сборки в машиностроении/ А.А. Ласуков; Юргинский технологический институт. – Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 176 с.
8. Валетов, В.А. Технология приборостроения / В.А. Валетов, Ю.П. Кузьмин, А.А. Орлова, С.Д. Третьяков. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 336 с.
9. Фуфаев, Э.В. Компьютерные технологии в приборостроении/ Э.В. Фуфаев, Л.И. Фуфаева. – М.: Академия, 2009. – 334 с.
10. Осетров, В.Г. Технологические процессы в сборочном производстве машиностроения. – Ижевск: ИжГТУ, 2009.

CHOICE OF OPERATOR EQUATIONS AND PROCESSOR MEASURING TOOLS STRUCTURE FOR AUTOMATION PRODUCT ASSEMBLY IN INSTRUMENT MANUFACTURE

Usachev M.S., Lecturer Department. control of automated manufacturing timber industry MFSU, Doroshenko V.A., prof. Univ. control of automated manufacturing timber industry MFSU, Dr. Sc. Sciences

usachevmaksim@mail.ru
Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

Assembling is the final and crucial step in the process of production in the instrument manufacturing. On the assembling's step main parameters of quality of manufactured product become formed. In that time one of the main operations is operation of technical process control in assembling. In some assembling's processes operations of control take 25–50 % of all time of technological assembling cycle. It is necessary to carry out automatic control in all steps of product's assembling to make higher the efficiency of the process. The basic types of control in the assembling's process are: the input control of details' assembling and product's components; the intermediate control that can be made in the process or in the end of any step of assembling; the final control of a product in the end of all assembling process. The analysis of accuracy's achievement while the automatic assembling, it's technology and furnishing, based on flexible production's systems while the precision wares' assembling and the assembling which is based on robotic technological complexes, showed that in all technological process of assembling are a lot of parameters and signs. These sets of options and signs determine a lot of metric tasks of the system of assembling's quality control in all steps of it, and first of all it determines the structure of metric means' with different metric functions. Most of metric tasks determine the appropriate equations of metric means with different intellectual level. It needs development and application of intellectual processor measuring tools (PMT), beginning from the first level of the intellect, that is the same with the single function processor meter, that is needed for decision of the metric task with the help of rigorous program, and finishing with the multifunctional PMTs that make iterative measurements of lots metric tasks, based on appropriate equations of measurement, the structure of PMT and the priori information. To decide this task for automatic assembling in the instrument manufacturing with using all parameters and signs is necessary to make a method and algorithm of formal transition out of technological operation's parameters and signs to operator metric equations and PMT's structure for automation of product's assembling. In article is proposed the method and algorithm of automation transition out of technological operation's parameters and signs of assembling to the operator levels and structure of processor measuring tools for systems of assembling's control in the instrument manufacturing.

Key words: operator equations measurement, processor measurement means, parameters and signs of technological process, distance matrix between the sets, group average distance between the sets, levels of intelligence measuring means

References

1. Tsvetkov, E.N. *Protsessornye izmeritel'nye sredstva* [Processor measuring tools], Leningrad: Energoatomizdat Publ., 1989, 224 p.
2. Katys P.G., G.P. Katys *Intellektual'nye videodatchiki sistem mashinnogo videniya* [Intelligent video sensors of machine vision systems], Moscow, *Datchiki i sistemy* [Sensors & Systems], 2001, no 9, pp. 42-48
3. Tselishchev E.S., Kudryashov N.S., Glyaznetsova A.V. *Novyy podkhod k postroeniyu universal'noy struktury informatsionnogo obespecheniya protsessa proektirovaniya sistem kontrolya* [New approach to construction a universal structure of information support of the design process systems of control], Moscow, *Datchiki i sistemy* [Sensors & Systems], 2010, no 6, pp. 28-34
4. Rannev G.G. *Izmeritel'nye informatsionnye sistemy* [Measurement and Analysis Information Systems], Moscow, Akademiya, 2010, p. 336
5. Doroshenko V.A., Usachev M.S. *Strukturnyy sintez protsessornykh sredstv dlya izmereniya razmerov ob»ektov* [Structural synthesis of the processing means for measuring the size of objects], Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2011, no.4, pp.136-141
6. Usachev M.S., Doroshenko V.A. *Matematicheskoe opisanie komponovki raspredelennykh sistem upravleniya s otsenkoy strukturnoy izbytochnosti i slozhnosti* [The mathematical description of the layout of distributed control systems with the assessment of structural redundancy and complexity], Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2013, no.3, pp.196-202
7. Lasukov A.A. *Avtomatizatsiya sborki v mashinostroenii* [Build automation in mechanical engineering], Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2010, 176 p.
8. Valetov V.A., Kuz'min Yu.P., Orlova A.A., Tret'yakov S.D. *Tekhnologiya priborostroeniya* [Instrumentation technology], S. Petersburg: St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics Publ., 2008, 336 p.
9. Fufaev E.V. Fufaeva L.I. *Komp'yuternye tekhnologii v priborostroenii* [Computer technology in instrument], Moscow, Akademiya, 2009, 334 p.
10. Osetrov V.G. *Tekhnologicheskie protsessy v sborochnom proizvodstve mashinostroeniya* [Technological processes in assembly-line production engineering], Izhevsk, Izhevsk State Technical University Publ., 2009.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ВЯЗКОТЕКУЩИХ СРЕД

Ю.Т. КОТОВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук,*
М.Л. БАРБУЛ, *асп. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ*

kotov46@inbox.ru, barbul@bk.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Современное состояние и быстрый рост систем для передачи вязкотекущих сред требуют совершенствования методов их расчета и управления системами передачи и распределения. Существующие методы расчета и проектирования водоразборных сетей позволяют рассчитывать параметры сети в некотором статическом режиме, т.е. при заданной топологии сети и постоянных расходах в узлах сети можно определить необходимые давления и расходы на насосных станциях. Но для оперативного управления сетью (управление в реальном времени насосами, задвижками и регуляторами расхода) эти методы неприемлемы, поскольку нет достоверной информации о расходах воды в узлах и, кроме того, сама сеть, состоящая из труб разного диаметра, со временем меняет параметры в результате старения труб, уменьшения их пропускной способности вследствие внутренних отложений, утечек и т.д. В статье рассматриваются методические аспекты расчета городских водопроводов, насосных станций и регулирующих емкостей, а также алгоритмы поверочных расчетов систем в условиях их совместной работы с водопитателями. Так, в системах с одиночными магистралями превалирующую роль будет играть расчет совместной работы водопитателей, тогда как в системах с большим числом кольцевых участков основную часть работы занимает расчет системы замкнутых контуров (кольцевых сетей) с учетом ее совместной работы с водопитателями. Рассмотренные методы расчета сложных гидросистем позволят разработать алгоритмы расчета сложных гидросистем с применением ЭВМ.

Ключевые слова: трубопровод, гидросистема, водопитатель, насос, алгоритм расчета, поверочный расчет.

Трубопроводный транспорт – вид транспорта, осуществляющий передачу на расстояние вязкотекущих сред (в том числе и жидких), газообразных или твердых продуктов по трубам. В зависимости от назначения и территориального расположения трубопровода различают три большие группы [1, 9].

1) Магистральные трубопроводы. К данной группе относятся газонефтепроводы, по которым транспортируются продукты от мест добычи к местам переработки и потребления – на заводы или в морские порты для перегрузки в танкеры и дальнейшей перевозки.

2) Коммунально-сетевые трубопроводы. Данная группа предназначена для обеспечения населения и промышленных предприятий водой, газом и теплом. В зависимости от назначения такие системы делятся на системы водоснабжения, газовые сети, тепловые сети и канализацию.

Рассмотрим расчет сложных систем на примере систем водоснабжения. Поверочный расчет системы заключается в нахождении действительных расходов и давлений во всех элементах комплекса сооружений при их совместной работе (при заданных характеристиках отдельных элементов). Таким образом, в результате расчета должны быть найдены действительные расходы во всех линиях, действительные подачи воды всеми водопитателями и создаваемые ими напоры, действительные давления во всех узлах сети и величины всех нефиксированных отборов.

При проведении поверочных расчетов заданными являются диаметры всех линий системы, геодезические отметки всех ее узлов, гидравлические характеристики принятых водопитателей и нефиксированных отборов. В практических расчетах обычно требуется также, чтобы величины свободных напоров в узлах сети находились в определенных пределах.

При известных длинах, диаметрах и принятом типе труб гидравлические сопротивления всех линий сети при поверочных расчетах могут считаться известными. Большинство отборов продукта (имитирующих в расчетной схеме забор воды потребителями) сосредоточено в узлах сети и условно считается независимым от изменения давления в ней (фиксированные отборы).

Обозначим

p – общее число участков системы;

m – общее число узлов системы (включая точки расположения водопитателей и нефиксированных отборов);

e – число водопитателей и нефиксированных отборов.

Тогда получим следующее число неизвестных: p – линейных расходов участков (q_{ik}), m – пьезометрических напоров во всех m узлах системы (H_i), e – расходов (водопитателей и нефиксированных отборов), т.е. всего $p+m+e$ неизвестных. В том числе $p+e$ неизвестных расходов и m неизвестных напоров.

Для нахождения этих неизвестных (при совместной работе элементов системы) в общем случае могут быть составлены следующие группы уравнений [2]:

1. Уравнения вида $\sum Q = 0$ (точнее – $\sum(q_{ik} + Q_i) = 0$, где Q_i – заданная величина отбора воды в узле), выражающие первый закон Кирхгофа для всех узлов сети (уравнения баланса расходов в узлах), число таких уравнений m.

2. Уравнения вида $H_i - H_k = h_{ik} = K_{ik}q^{в}_{ik}$ где H_i и H_k – величины пьезометрических напоров (отметок) в граничных точках (узлах) каждого участка; h_{ik} – потери напора на участке; K_{ik} – гидравлическое сопротивление участка; q_{ik} – линейный расход участка. При работе труб в квадратичной области в = 2 и $h_{ik} = K_{ik}q^2_{ik}$; впредь для общего анализа системы будет использоваться эти зависимости.

Число таких уравнений в общем случае для систем, включающих кольца и тупиковые линии, будет равно $p–n$, где n – число колец (замкнутых контуров).

3. Уравнения вида $\sum h_{ik} = 0$ или $\sum K_{ik}q^{в}_{ik} = 0$ для всех n колец сети. Эти уравнения для гидравлических сетей выражают II закон Кирхгофа и могут быть названы уравнениями «внутренней увязки сети».

4. Уравнения вида $f_I(Q_I) - (\sum h)_{IK} = f_K(Q_K)$, связывающие попарно водопитатели и точки нефиксированных отборов при их совместной работе через потери напора в соединяющих их линиях. Таких уравнений будет $e–1$. Функции вида $f(Q)$ выражают здесь напорно-расходные характеристики водопитателей и нефиксированных отборов. Эти уравнения могут быть названы уравнениями «внешней увязки» сети [2, 3].

Общее число полученных уравнений будет $m + (p – n) + n + (e – 1) = p + m + e – 1$, т.е. на единицу меньше числа неизвестных. При этом все расходы и все потери напора могут быть найдены из полученных $p + m + e – 1$ уравнений. Не могут быть определены лишь абсолютные значения пьезометрических отметок в узлах сети H_i.

Следовательно, для общего случая расчета сложных гидросистем (включающих кольца и тупиковые линии) необходимо иметь все уравнения указанных четырех групп. Для сложных гидросистем с одним источником питания исчезают уравнения четвертой группы (уравнения внешней увязки). Для сложных гидросистем с несколькими источниками питания и нефиксированными отборами исчезают уравнения третьей группы (уравнения внутренней увязки) [2].

Рассмотрим приложение изложенных выше общих соображений к отдельным типам систем при различных условиях их питания.

Предполагается, что все отборы воды из сети являются фиксированными. В качестве водопитателя может служить насосная станция или напорный (питающий) резервуар. Известными (как и во всех далее рассматриваемых случаях поверочного расчета) являются диаметры и длины линий (а следовательно, и гидравлические сопротивления всех линий), фиксированные отборы в узлах системы, характеристика $Q–H$ водопитателя, геодезические отметки всех узлов сети Z_i и насоса Z_k. Подлежащими определению являются линейные расходы участков q_{ik} числом p, подача воды водопитателем (в данном случае $e = 1$) и узловые напоры во всех узлах системы H_i, включая напор, создаваемый водопитателем $H_{нас}$, общим числом m. Свободные напоры в узлах сети могут быть, очевидно, определены при известных геодезических отметках: $H_{св.i} = H – Z_i$.

Число искомых расходов будет: $p + e = p + 1$, а число искомых напоров – m, т.е. всего $p + m + e = p + m + 1$ неизвестных.

Для их нахождения могут быть составлены m уравнений первой группы (вида $\sum Q=0$) и p уравнений второй группы (вида $H_i – H_k = \sum h_{ik} = K_{ik}q^2_{ik}$), т.е. всего $p + m$ уравнений.

Рассмотрим сначала случай, когда водопитателем является центробежный насос, имеющий заданную характеристику ($Q–H$).

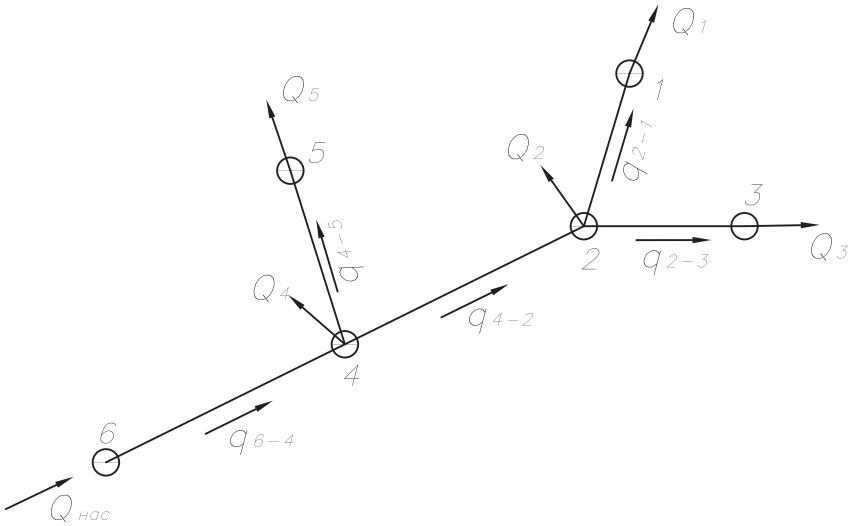


Рис. 1. Схема сложной гидросистемы с одним водопитателем
Fig. 1. Scheme of complex hydraulic system with one vodopitatelem

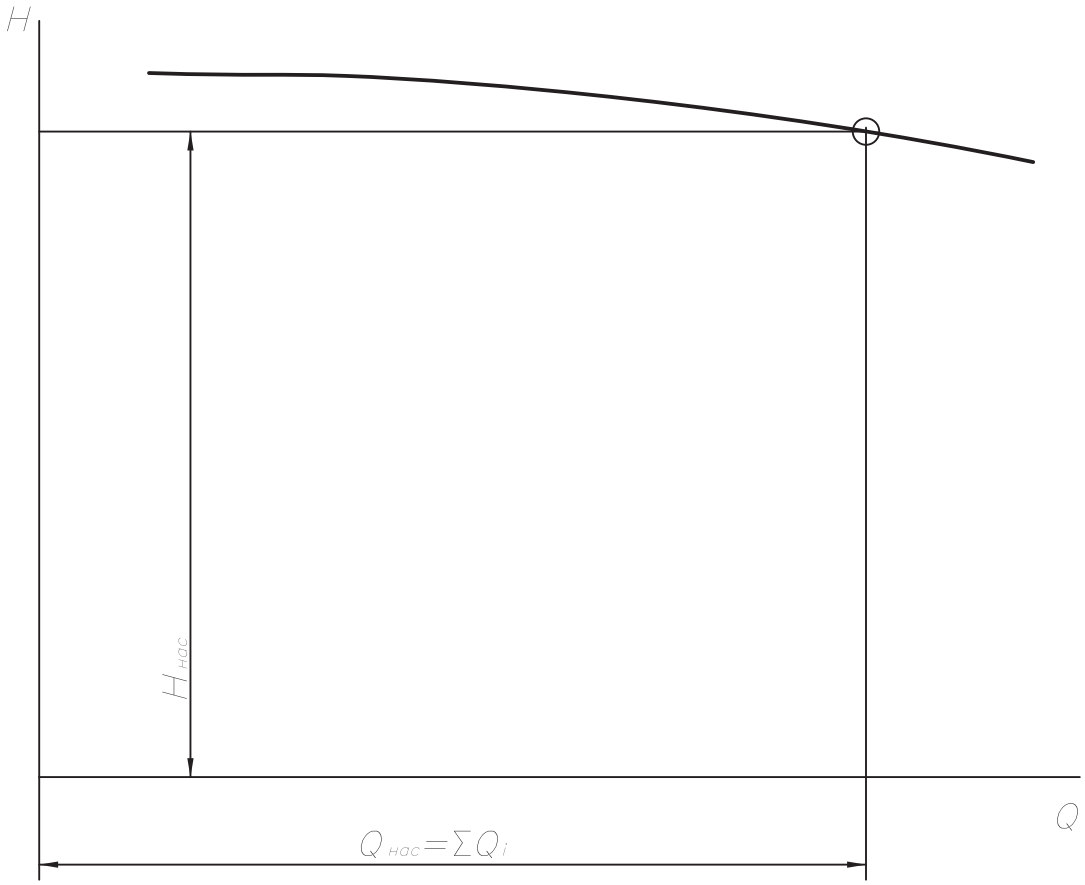


Рис. 2. Напорная характеристика центробежного насоса
Fig. 2. Discharge characteristics of a centrifugal pump

В представленной на рис. 1 сети имеем $m = 6$, $p = 5$, $e = 1$, т.е. число неизвестных равно $p + e = 6$ и число уравнений первой группы ($\sum Q = 0$) $m = 6$.

Эти уравнения

$q_{2–1} – Q_1 = 0$; $q_{2–3} – Q_3 = 0$; $q_{4–2} – q_{2–3} – Q_2 = 0$;

$q_{6–4} – q_{4–2–} – q_{4–5} – Q_4 = 0$;

$q_{4–5} – Q_5 = 0$; и $Q_{нас} – q_{6–4} = 0$.

Следует отметить, что в разветвленной сети с одним источником питания в каждом узле имеется лишь один положительный расход (приток), а остальные – отрицатель-

ные (отходящие от узла). Для определения m неизвестных узловых напоров используются уравнения второй группы числом p и характеристика насоса.

Таким образом, мы имеем всего $p + m$ уравнений. Число неизвестных на единицу превышает число уравнений. Однако для рассматриваемой системы с одним источником питания и фиксированными отборами подача насоса всегда равна сумме отборов воды потребителями $Q_{нас} = \sum Q_i$. Имея характеристику намеченного к использованию насоса, можно по ней получить сразу величину создаваемого насосом напора $H_{нас}$, соответствующего величине $Q_{нас}$ (рис. 2). Для определения остальных узловых напоров используется система уравнений (второй группы) вида $H_i - H_k = K_{ik} q^в_{ik}$ для всех участков сети. Этот расчет можно вести, идя от водопитателя и последовательно вычитая потери напора $h_{ik} = K_{ik} q^2_{ik}$ отдельных участков из величины $H_{нас}$. При решении практических задач, определив все узловые свободные напоры ($H_{св.i} = H_i - Z$), необходимо убедиться, что они лежат в требуемых пределах. Если оказывается, что при намеченном водопитателе величины свободных напоров в диктуемых точках получаются, например, меньше требуемых, то, очевидно, следует принять другой насос, обеспечивающий большие давления в системе. При проектировании обычно сначала задаются требуемые напоры в диктующих точках сети и по ним приближенно определяют требуемый напор насоса. По этому напору и заданной его производительности предварительно подбирают наиболее подходящий насос и затем проводят собственно поверочный расчет, путь которого здесь изложен.

Замена водопитателя другим, дающим большие давления в системе, не отражается (в системе рассматриваемого типа и при фиксированных отборах) на распределении расходов воды по участкам сети, на величинах потерь напора или на подаче насоса; изменяются лишь величины узловых напоров.

Пьезометрическая линия при замене водопитателя (в этом случае) лишь поднимается параллельно самой себе; ординаты всех узловых напоров увеличиваются на одну и ту же величину $H_{св.треб} - H_{св}$, где $H_{св}$ – напор, полученный при предварительном расчете (рис. 3).

Рассмотренный случай, т.е. расчет сложной гидросистемы с одним источником питания и всеми фиксированными отборами воды, является наиболее простым из всех возможных случаев расчета систем водоснабжения (с учетом совместной работы ее элементов). В такой системе распределение потоков воды по ее участкам полностью определяется (по направлению и величине) заданными узловыми отборами воды и конфигурацией самой сети и не зависит от потерь напора (т.е. от гидравлических сопротивлений участков сети) [7].

Рассмотрим сложную гидросистему (рис. 4а) с двумя источниками питания (насосными станциями). Все фиксированные отборы воды заданы, известны также геодезические отметки всех узлов системы и гидравлические сопротивления всех линий. Предполагается, что характеристики обеих насосных станций подобраны по предварительным соображениям и приняты для проведения поверочного расчета (анализа) совместной работы элементов системы.

Отличие данной системы от рассмотренной в предыдущем пункте (с одним источником питания) состоит в том, что при двух источниках питания линейные расходы на участках главной магистрали (цепочки линий, соединяющей источники питания) изменяются с изменением характеристик водопитателей. Линейные расходы всех ответвлений от главной магистрали, как и в ранее рассмотренной гидросистеме, полностью определяются величиной узловых отборов, к которым они подводят воду. В силу указанного анализ совместной работы такой сети с водопитателями удобно проводить, заменив действительную сеть ее упрощенным аналогом, т.е. главной магистралью (соединяющей водопитатели), в узлах которой будут сосредоточены отборы воды, включающие сумму действительных отборов в каждом данном узле и расходов воды, подаваемой из этого узла в примыкающие к нему ответвления. На рис. 4б приведена эта упрощенная схема.

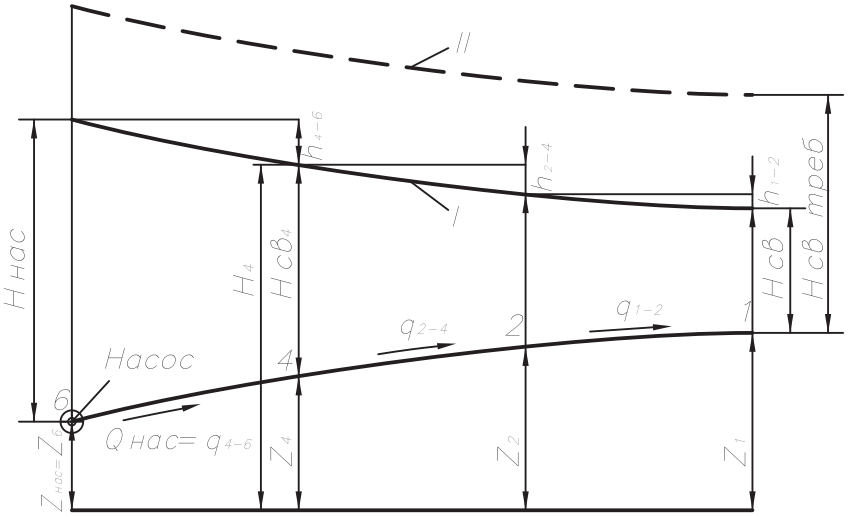


Рис. 3. Пьезометрическая линия
Fig. 3. Piezometric line

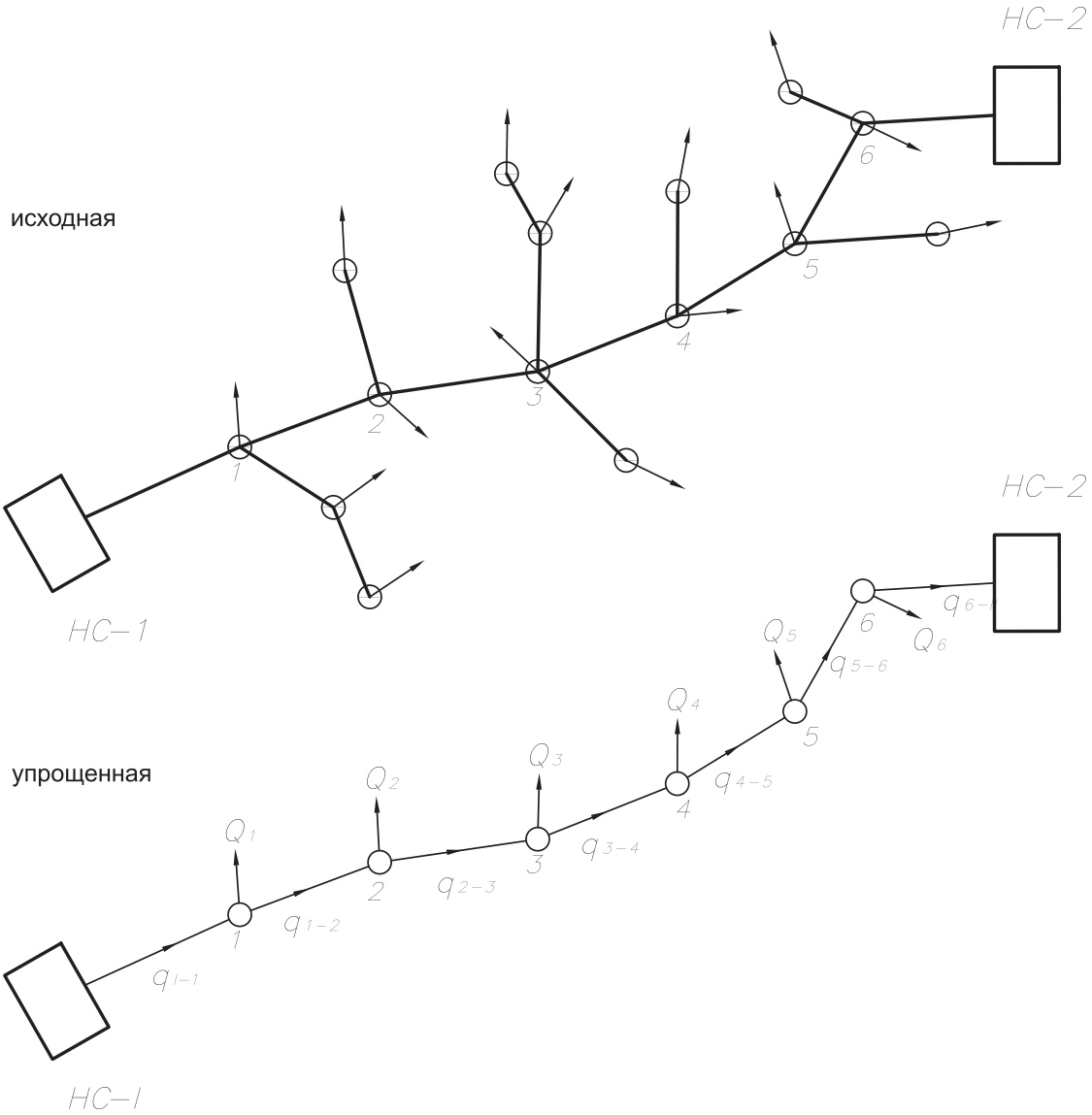


Рис. 4. Схема сложной гидросистемы с двумя источниками питания
Fig. 4. Scheme of complex hydraulic system with two power supplies

Число неизвестных расходов в упрощенной схеме будет равно $p + e$, где p – линейные расходы q_{ik} на участках магистрали ($p = 7$), e – неизвестные подачи водопитателей $Q_{нас}$ ($e = 2$). Число неизвестных узловых напоров H равно числу узлов системы (включая водопитатели), т.е. $m = 8$. Таким образом, общее число неизвестных будет $p + e + m$ (для упрощенной схемы общее число неизвестных составляет 17).

Для нахождения этих неизвестных может быть использовано: m уравнений первой группы ($\sum Q_i = 0$) для всех узлов, p уравнений второй группы ($H_i - H_k = K_{ik} q^2_{ik}$) для всех участков, e уравнений третьей группы. Нетрудно видеть, что в данном случае число m уравнений уже недостаточно для определения всех неизвестных расходов ($p + e$), так как $p + e = 9$ превышает число узлов ($m = 8$). Очевидно, недостает одного уравнения. Это следует и из приведенной общей формулы числа недостающих уравнений $n + e - 1$; для сложной гидросистемы без кольцевых участков $n = 0$, а в данной сети $e = 2$; следовательно число недостающих уравнений получается $2 - 1 = 1$.

В сети с двумя источниками питания неизвестны величины подач водопитателей Q_I и Q_{II}, т.е. неизвестной является граница «зон питания» системы отдельными водопитателями.

В рассматриваемой системе при заданных величинах узловых отборов Q_i все линейные расходы q_{ik} могут быть выражены через неизвестные величины расходов Q_I и Q_{II}.

Эти величины связаны между собой соотношением

$$Q_I + Q_{II} = \sum Q_i. \qquad (1)$$

Второй парой основных неизвестных являются напоры H_I и H_{II}, создаваемые водопитателями при их совместной работе, в систему. Они связаны с расходами Q_I и Q_{II} (т.е. с подачей соответствующих водопитателей) соотношениями [4]

$$H_I = F_I(Q_I), \qquad (2)$$

$$H_{II} = F_{II}(Q_{II}), \qquad (3)$$

задаваемыми характеристиками намечаемых к использованию насосов.

Для нахождения четырех основных неизвестных Q_I, Q_{II}, H_I, H_{II} недостает одного уравнения.

В качестве такового может служить уравнение внешней увязки системы, т.е.

$$H_I - \sum(K_{ik} q^2_{ik})_I = H_{II} - \sum(K_{ik} q^2_{ik})_{II}.$$

Величины суммарных потерь напора в первой и второй зонах питания могут быть найдены в функции неизвестных величин Q_I и Q_{II}.

Тогда получим

$$H_I - ц(Q_I) = H_{II} - ц(Q_{II}), \qquad (4)$$

или, используя выражение $H_{нас}$ через $Q_{нас}$,

$$F_I(Q_I) - ц(Q_I) = F_{II}(Q_{II}) - ц(Q_{II}). \qquad (4а)$$

Совместное решение полученных четырех уравнений (1–4) дает возможность найти значения четырех основных неизвестных Q_I, Q_{II}, H_I и H_{II}.

Уравнение вида $\sum q_{ik} + Q_i$ является линейным; все остальные уравнения – нелинейные.

Когда Q_I и Q_{II} определены, все остальные неизвестные расходы в линиях сети могут быть легко найдены из уравнений первой группы. По линейным расходам легко найти все потери напора, и, следовательно, при уже известных H_I и H_{II} – пьезометрические и свободные напоры во всех участках системы.

Интересно отметить, что наличие уравнений «внешней увязки» вносит в расчет сложных гидросистем нечто общее с обычной увязкой гидросистем с кольцевыми участками. Практические методы решения как тех, так и других гидросистем, включающих решение уравнений «увязки», могут быть аналогичными.

Выше рассматривались методы поверочных расчетов систем в условиях их совместной работы с водопитателями.

В реальных системах в подавляющем большинстве случаев мы имеем смешанные системы транспортирования и раздачи воды, в которых наряду с одиночными магистралями (водоводами) и тупиковыми линиями имеются магистрали, образующие замкнутые линии (кольца). Иногда число таких контуров незначительно, как это бывает, например, в районных системах водоснабжения, иногда же это число весьма велико. Последнее имеет место в системах городского водоснабжения,

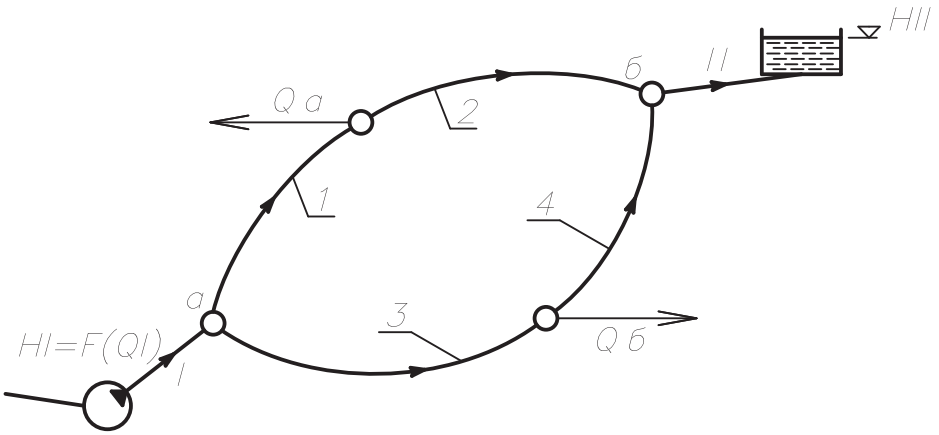


Рис. 5. Сложная гидросистема с одним замкнутым контуром
Fig. 5. The complex hydraulic system with a closed loop

где линии, расположенные на территории города, образуют систему многочисленных замкнутых контуров, к которым примыкает небольшое число водоводов и тупиковых ответвлений.

Таким образом, в первых системах превалирующую роль будет играть расчет совместной работы водопитателей и водоводов (с учетом работы замкнутых контуров), тогда как во втором случае основную часть работы занимает расчет системы замкнутых контуров (кольцевых сетей) с учетом ее совместной работы с водопитателями. Однако наличие в системе даже небольшого количества замкнутых контуров вносит в ее расчет определенную специфику и осложнения [8, 9].

Как сказано выше, при поверочном расчете систем, имеющих число водопитателей $e > 1$ и включающих замкнутые контуры числом n, для нахождения величин линейных расходов необходимо к системе m уравнений первой группы ($\sum Q_i = 0$) добавить $e - 1$ уравнений внешней увязки и n уравнений внутренней увязки.

Рассмотрим ниже некоторые особенности поверочных расчетов подобных гидросистем.

Система районного водоснабжения (рис. 5) подает воду трем объектам *А*, *Б* и *В* из водоема, расположенного на высоте H_I (где H_I – расчетный уровень воды в водоеме). Водовод *I* разделяется на две ветви, образуя кольцо. Вода подается объектам *А* и *Б* в заданных количествах, которые показаны на схеме в виде фиксированных сосредоточенных расходов Q_A и $Q_Б$. К третьему объекту *В* вода подается по водоводу *II* и сбрасывается на регулирующий резервуар на отметке H_{II}.

В результате поверочного расчета должны быть найдены нефиксированный расход Q_{II} (сбрасываемый в резервуар) и все линейные расходы, а также общая подача воды в систему Q_I.

Величины гидравлических сопротивлений всех линий известны.

Всего имеется шесть неизвестных расходов q_1, q_2, q_3, q_4, Q_I и Q_{II}. Для их определения могут быть использованы четыре узловых уравнения ($\sum Q_i = 0$), уравнения внутренней ($\sum h_i = 0$) и внешней ($H_{II} - H_I = \sum h_i$) увязок.

Для рассматриваемой системы уравнение внутренней увязки

$$h_1 + h_2 - h_3 - h_4 = K_1 q^2_1 + K_2 q^2_2 - K_3 q^2_3 - K_4 q^2_4 = 0. \quad (5)$$

Следует отметить, что уравнение внешней увязки может быть написано с включением одной или другой ветви кольца, т.е.

$$H_I - h_I - (h_1 + h_2) - h_{II} = H_{II}, \quad (6а)$$

$$H_I - h_I - (h_3 + h_4) - h_{II} = H_{II}. \quad (6б)$$

Этих двух уравнений достаточно для определения искомых независимых неизвестных h_I и h_i или, что то же, – Q_I и q_i. Вычитая из уравнения (6а) уравнение (6б), получим уравнение внутренней увязки

$$(h_1 + h_2) - (h_3 + h_4) = 0. \quad (7)$$

Таким образом, задачу можно решать системой уравнений (6а) и (6б) или системой одного из них уравнений и (5).

В предыдущей статье [10] указывалось, что существующие программные про-

дукты не позволяют выполнять необходимые расчеты для анализа поведения и мониторинга существующих систем. В настоящей статье рассмотрены основные алгоритмы (методы) расчета сложных гидросистем, которые позволят разработать алгоритм расчета сложных гидросистем с применением ЭВМ.

Библиографический список

1. Алиев, Р.А. Трубопроводный транспорт нефти и газа / Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, В.Г. Немудров, В.Л. Юфин, Г.И. Яковлев. – Учебник для ВУЗов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
2. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение. Учебник для ВУЗов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1974. – 480 с.
3. Абрамов, Н.Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды. – М: Стройиздат, 1972. – 288 с.
4. Айзенштейн, М.Д. Центробежные насосы для нефтяной промышленности. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – 363 с.
5. Фокс, Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. – М.: Энергоиздат, 1981. – 247 с.
6. Емцев, Б.Т. Техническая гидромеханика. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.
7. Берман, Р.Я. Расчет водопроводных сетей / Р.Я. Берман, С.А. Бобровский, З.Т. Галиуллин. – М.: Стройиздат, 1983. – 171 с.
8. Белан, А.Е. Универсальный метод гидравлического расчета кольцевых водопроводных сетей // Строительство и архитектура. – 1964. – № 4. – С. 69–73.
9. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев. – М.: Машиностроение. 1982. – 423 с.
10. Котов, Ю.Т. Автоматизированные средства расчета и контроля состояния инженерных сетей / Ю.Т. Котов, М.Л. Барбул // Сб. научных статей докторантов и аспирантов МГУЛ. Науч. тр. – Вып. 364. – 2013. – 179 с.

METHOD OF CALCULATION OF COMPLEX SYSTEMS FOR THE TRANSMISSION OF VISCOUS-FLOW ENVIRONMENTS

Kotov Yu.T., Professor, Moscow State Forest University, Barbul M.L., postgraduate student of Moscow State Forest University

kotov46@inbox.ru, barbul@bk.ru

Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

Modern state and rapid growth of systems for transfer the viscous materials demand the improvement of their calculation and management of transfer and distribution systems' methods. Existing methods of calculation and design of water folding networks allow to count network parameters in some static mode, i.e. it is possible to determine necessary pressure and expenses at pump stations at the set of a network topology and constant expenses in network's knots. But (management in real time pumps, latches and expense regulators) these methods are unacceptable for operational management of a network as there is no reliable information about water expenses in knots and, besides, the network consisting of different diameter pipes, changes over time the parameters as a result of aging of pipes, reduction of their capacity owing to internal deposits, leaks, etc. In the article methodical aspects of calculation of city water supply systems, pump stations and regulating capacities, and also algorithms of testing calculations of systems in the conditions of their collaboration with water feeders are considered. In systems with single highways the prevailing role will be played by calculation of water feeders collaboration whereas in systems with a large number of ring sites the main part of work is occupied by calculation of closed contours (ring networks) system taking into account its collaboration with water feeders. The considered methods of calculation of difficult hydraulic systems will allow to develop algorithms of calculation of complicated hydraulic systems with the use of the computer.

Key words: *The pipeline, hydraulic system, a water consumer, pump, the algorithm of calculation, the calculation.*

References

1. Aliev R.A., Belousov V.D., Nemudrov V.G., Yufin V.L., Yakovlev G.I. *Truboprovodnyy transport nefti i gaza* [Pipeline transportation of crude oil and gas.]. Moscow, 1988, 368 p.
2. Abramov N.N. *Vodosnabzhenie* [Water supply]. Moscow, 1974, 480 p.
3. Abramov N.N. *Teoriya i metodika rascheta sistem podachi i raspredeleniya vody* [Theory and methods of calculation of systems of water supply and distribution]. Moscow, 1972. 288 p.
4. Ayzenshteyn M.D. *Tsentrobezhnye nasosy dlya neftyanoy promyshlennosti* [Centrifugal pumps for the oil industry]. Moscow, 1957, 363 p.
5. Foks D.A. *Gidravlicheskiy analiz neustanovivshegosya techeniya v truboprovodakh* [Hydraulic analysis of unsteady flow in pipelines]. Moscow, 1981, 247 p.
6. Emtsev B.T. *Tehnicheskaya gidromekhanika* [Technical Hydromechanics]. Moscow, 1987, 440 p.
7. Berman R.Ya., Bobrovskiy S.A., Galiullin Z.T. *Raschet vodoprovodnykh setey* [Calculation of water supply lines]. Moscow, 1983, 171 p.
8. Belan A.E. *Universal'nyy metod gidravlicheskogo rascheta kol'tsevykh vodoprovodnykh setey* [Universal method of hydraulic calculation ring of water lines]. Moscow, 1964, 69–73 pp.
9. Bashta T.M., Rudnev S.S. *Gidravlika*, *gidromashiny i gidroprivody* [Hydraulics, transmissions and hydraulic machines]. Moscow, 1982, 423 p.
10. Kotov Yu.T., Barbul M.L. *Avtomatizirovannye sredstva rascheta i kontrolya sostoyaniya inzhenernykh setey* [Automated tools for calculating and monitoring the status of engineering lines]. Moscow, 2013, 179 p.

ПРИРОДА СВЕТА

А.П. САВРУХИН, *проф. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук*

savrukhin@ya.ru; http://savrukhin.narod.ru/
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Дается обзор литературы по теоретическим разделам оптики. Средой распространения света является эфир или физический вакуум. Вакуум – это заполняющая все пространство материальная субстанция, передает без искажений все виды взаимодействий, не обнаруживает никаких химических свойств, обладает свойствами диэлектрика. Такая среда не способна передавать электромагнитное излучение. Доказывается, что любое излучение представляет собой возбуждение вакуума по сильному полю. Сформулировано понятие: **свет есть распространение со скоростью *c* области возбуждения вакуума полем, свойственным сильному взаимодействию**. *Приведены результаты экспериментов автора по исследованию дифракции и интерференции света. Утверждается, что в щели поверхностные нескомпенсированные межатомные силы создают полевую линзу, оптические свойства которой определяются параметрами щели. Именно она, подобно цилиндрической линзе, производит расщепление луча лазера. Исследована структура луча лазера. Луч состоит из множества более тонких лучей, каждый из которых также распадается на еще более мелкие. Пределом деления является фотон. Следовательно, свет есть поток фотонов, генерируемых отдельными атомами.*

Ключевые слова: излучение, дифракция, интерференция света, полевая линза, расщепление луча лазера.

Согласие между школами, отстаивающими корпускулярную или волновую природу света, не достигнуто к настоящему времени. Компромисс состоит в признании дуализма частица-волна. Чтобы не перегружать настоящую статью, а также имея в виду подготовленность читателя, справочный материал, содержащий высказывания цитируемых авторов и пояснения к ним, вынесен в отдельный раздел. В нем приведены учения основоположников науки и современников о свете в виде кратких извлечений и комментариев. Автор излагает свое понимание свойств эфира и места фотона в системе элементарных частиц. Сформулировано понятие «свет»: **свет есть распространение со скоростью *c* области возбуждения вакуума полем, свойственным сильному взаимодействию**. Концепция вакуума и понятие о фотоне автором подробно изложена в монографии [1]. Изложены результаты опытов автора, подтверждающие исходные предпосылки.

Определение понятия «Эфир»

Словом *эфир* обозначают разные сущности в зависимости от предпочтений автора текста: 1) гипотетическая всепроникающая среда, которой приписывалась роль переносчика света и вообще электромагнитных взаимодействий, 2) тончайшее первовещество, из которого все состоит, 3) всенаполняющая первоматерия, уплотнения которой составляют отдельные вещества, 4) гипотетическое вещество, наполняющее мировое пространство и проникающее во все тела, 5) недоступная чувственному восприятию невесомая субстанция, самое тонкое из первовеществ, 6) способный к вечному движению перводвигатель, имманентный мирозданию, 7) начало, двигающее небесные тела и состоящее из самых легких и подвижных атомов, 8) субстанция, непрерывно заполняющая пространственные промежутки между любыми телами, 9) невесомая среда и абсолютная система отсчета, 10) субстанция, заполняющая абсолютное пространство и отождествляемая с ним, 11) нематериальная субстанция, 12) упругое, незначительной плотности вещество, наполняющее вселенную, колебаниями которого физики объясняют явления света, теплоты, электричества и т. п., 13) материальная субстанция, несравненно более тонкая, нежели видимые тела, предполагается существующей в тех частях пространства, которые кажутся пустыми.

Такая многозначность слова не позволяет использовать его в качестве термина, поэтому автор использует понятие *вакуум*. Чистый *абстрактный вакуум*, первоначальный *Хаос*, это совершенно однородная изотропная среда, в которой отсутствуют любые виды возмущений. Им основано пространство, не имеющее ни в чем границ. Накопление разного рода дефектов его структуры, например частиц, а затем и небесных тел, образует наблюдаемую материю. Пространство с организованной и упорядоченной материей есть *Космос*, обозримой частью которого является наша Вселенная. Небесные светила распространяют в широком диапазоне энергий взаимно перекрывающиеся излучения, поэтому *Хаоса* в природе нет. Зрение человека устроено так, что оно воспринимает свет в узком диапазоне частот и отсекает слабые сигналы, поэтому создается впечатление, что есть темные участки неба. Но на фотографиях с телескопа Хабл с длительной выдержкой и эти участки практически полностью засвечены.

Термин вакуум будет здесь употребляться для обозначение среды, являющейся носителем материи, как показано ниже.

Эфир признан вездесущим; диэлектричным; передатчиком электромагнитных взаимодействий, радиоволн и света, а также, предположительно, тяготения, не обнаруживающим никаких химических свойств, присущих веществам. Уиттекер [2] позднее писал: «Мне кажется абсурдным сохранять название «вакуум» для категории, обладающей таким количеством физических свойств, а вот исторический термин «эфир» как нельзя лучше подходит для этой цели». Зато термин «физический вакуум», как некий эвфемизм эфира вполне прижился в современной квантовой механике.

Определение понятия «Свет»

СВЕТ – лучистая энергия, воспринимаемая глазом и делающая окружающий мир доступным зрению, видимым. [Толковый словарь Ушакова].

СВЕТ – состоянье, противное тьме, темноте, мраку, потемкам, что дает способ видеть; иные свет принимают за сотрясение малейших частиц вещества, другие за особое, тончайшее вещество, разливаемое всюду солнцем и огнем [Толковый словарь Даля].

Современное понятие в оптике.

СВЕТ– лучистая энергия, делающая окружающий мир видимым; электромагнитные волны в интервале частот, воспринимаемых глазом [Толковый словарь Ожегова].

Оптическое излучение, свет в широком смысле слова, электромагнитные волны, длины которых заключены в диапазоне с условными границами от 1 нм до 1 мм. Волновые свойства оптического излучения обусловливают явления дифракции света, интерференции света, поляризации света и др. В то же время ряд оптических явлений невозможно понять, не привлекая представления об оптическом излучении как о потоке быстрых частиц – фотонов [БСЭ].

Свет может рассматриваться либо как электромагнитная волна, скорость распространения в вакууме которой постоянна, либо как поток фотонов – частиц, обладающих определенной энергией, импульсом, собственным моментом импульса и нулевой массой. Свет – электромагнитное излучение, испускаемое нагретым или находящимся в возбужденном состоянии веществом, воспринимаемое человеческим глазом [Википедия].

СВЕТ – зрительное ощущение, возникающее в глазу, и видимое излучение, вызывающее такое ощущение. Это как бы две стороны одного явления – субъективная и физическая [Энциклопедия Кольера].

Определение понятия «Фотон»

Фотон это стабильная элементарная частица из семьи бозонов (целый спин), участвующая в электромагнитном и гравитационном взаимодействиях. Фотон не имеет массы покоя и способен существовать, только двигаясь со скоростью света с в вакууме.

Электрический заряд фотона также равен нулю. Считается, что это квант электромагнитного излучения (в узком смысле – света), которому свойственен корпускулярно-волновой дуализм, то есть проявление одновременно свойств частицы и волны.

Фотон обычно обозначается символом γ. В химии и оптике для фотонов часто используют обозначения: энергия фотона (квант) E=hν, где h – постоянная Планка и ν– частота фотонов; импульс $p = h\nu/c = h/\lambda$, где λ – длина волны. Фотон может иметь одно из двух состояний поляризации.

Фотоны могут поглощаться атомами и молекулами. Так, зрение основано на преобразовании энергии фотона в энергию нервного импульса. Поглощение фотона способно также инициировать разрушение химических связей (фотохимия). Фотоны излучаются, например, при аннигиляции пары электрон–позитрон.

Полевая теория элементарных частиц рассматривает фотон как одиночную волну переменного электромагнитного поля, движущуюся со скоростью света. У фотона отсутствуют постоянные поля, поэтому его масса покоя равна нулю, а вся энергия сосредоточена в переменном электромагнитном поле. Линейные размеры фотона определяются его длиной волны.

Квантовая теория рассматривает фотон как квант электромагнитного излучения и считает его переносчиком электромагнитных взаимодействий элементарных частиц в виртуальном состоянии (в нарушение закона сохранения энергии).

В соответствии со Стандартной Моделью фотоны ответственны за наличие всех электрических и магнитных полей, а само существование фотонов следует из симметрии физических законов относительно пространства и времени.

Фотоны имеют не электромагнитную природу, поэтому к нему неприменимы такие высказывания: «Спектр ЭМ импульса имеет непрерывную полосу частот».

Фотон – это элементарная *частица*, а квант – наименьшее *количество* изменения дискретной величины. Если атом излучает фотоны и излучение квантовано, то их энергии следует записывать в виде $w = hc/\lambda$, где λ это некий размер соответствующей резонирующей области, а не в виде $w = h\nu$, который может ложно трактоваться как частота излучения. В оптике измеряются длины волн, а частота вычисляется [3].

Определение понятия «Дуализм»

В табл. 1 дан перечень эффектов, определяемых двумя свойствами света.

О дуализме

Герц Г. Герц и его последователи прекрасно увидели свойство электромагнитного излучения передавать в окружающее пространство сферические волны, не локализованные в пространстве. Однако, как только частота электромагнитных волн переходит некоторую границу в сторону увеличения, появляется направленность излучения.

То же самое происходит и со звуком. Правда, такие свойства звука были открыты совсем недавно, в

Таблица 1

Эффекты, относимые к корпускулярным или волновым свойствам света
Effects attributable to the corpuscular or wave properties of light

Эффекты, относимые к корпускулярным свойствам света	Эффекты, относимые к волновым свойствам света
фотоэффект	интерференция
фотохимия	дифракция
Комптона эффект	двойное лучепреломление
квантование поглощения света (опыт Вальтера Боте)	рефракция (преломление)
аннигиляция и фоторождение	рассеяние
фотоны излучаются и поглощаются целиком объектами, которые имеют размеры, много меньшие длины волны фотона (например атомами), и в процессах излучения и поглощения ведут себя как точечноподобные частицы	фотоны и частицы вещества (электроны, и т. д.) при прохождении через две близко расположенные узкие щели дают похожие интерференционные картины.
наличие импульса и способность оказывать давление	дисперсия – зависимость в веществе скорости распространения света от частоты
линейчатость спектров испускания и поглощения черного тела	поляризация
Прямолинейное распространение света	Эффект Доплера
отражение и преломление; отражение фотонов дифракционной решеткой	
Пучки частиц интерферируют так же, как свет и рентгеновские лучи.	
Гассенди, Ньютон.	Декарт, Гук, Гюйгенс, Янг, Френель
Свет корпускулярен в том смысле, что его энергия, импульс, масса и спин локализованы в фотонах, а не размыты в пространстве, но не в том, что фотон может находиться в данном точно определенном месте пространства. Чем меньше длина волны электромагнитного излучения, тем больше энергия и импульс фотонов и тем труднее обнаружить волновые свойства этого излучения. Например, рентгеновское излучение дифрагирует только на очень «тонкой» дифракционной решетке – кристаллической решетке твердого тела.	Световая волна представляет собой нелокализованное электромагнитное поле, распределенное по пространству. Объемная плотность энергии электромагнитного поля волны, пропорциональная квадрату ее амплитуды, может изменяться на сколь угодно малую величину, то есть непрерывно. Свет ведет себя как волна в том смысле, что распространение и распределение фотонов в пространстве носят вероятностный характер: вероятность того, что фотон находится в данной точке, определяется квадратом амплитуды в этой точке.
Согласно теории истечения свет представляет собой поток частиц (корпускул), которые испускаются источником света. Эти частицы движутся в пространстве и взаимодействуют с веществом по законам механики.	Согласно волновой теории свет представляет собой упругие продольные волны в особой среде, заполняющей все пространство – светоносном эфире.
По Френелю, интерференция поляризованных лучей происходит только при параллельном расположении плоскостей поляризации. Факт вне рамок волновой теории света.	

связи с получением ультразвука. Оказалось, что ультразвуковые волны имеют острую направленность и могут рассматриваться как частицы, локализованные в пространстве [4].

Как показал Фейнман, законы колебаний зависят от частоты, так как от нее зависит характер процессов, протекающих в среде. Ни один из исследователей, в том числе и Фейнман, не рассмотрели высокие частоты колебаний относительно длины свободного пробега частиц, когда процессы, происходящие при этом, приводят к поглощению тепла. В этом случае совершенно очевидно, что колебание не может распространяться сферической волной из-за распределения направлений движения отдельных частиц. Оно может быть только остро направленным, поскольку частота колебаний меньше «частоты» свободного пробега частиц.

Ньютон И. «Гипотеза о телесности света, если бы я предлагал таковую, имеет значительно большее родство с собственной гипотезой оппонента, чем это ему, по-видимому, известно; колебания эфира полезны и необходимы и в той и в другой. Ибо, если предположить, что лучи света являются малыми телами, испускаемыми во все стороны светящими субстанциями, то лучи эти, ударяясь о преломляющую или отражающую поверхность, должны бы возбуждать в эфире колебания столь же необходимо, как камни в воде, когда они в нее брошены» [5] (компромиссная, корпускулярно-волновая теория света).

Поль Р.В. При помощи оптических инструментов из шума можно сформировать как гармоники, так и группы импульсов, соответствующих реальным квантам. «Мы наблюдаем всегда только характерное *распределение* бесчисленных индивидов, описываемое при помощи волн, например, *дифракционные картины*. Волны сами по себе являются только абстракцией». (Дуализм состоит в выборе удобного способа наблюдения и описания). Перенос представления о волнах на пустоту является уже далеко идущей абстракцией [3].

Эффект Доплера, давление света и отражение фотонов дифракционной решеткой вполне описывается в частичной постановке. Пучки частиц интерферируют так же, как свет и рентгеновские лучи.

С развитием квантовой механики утвердилась идея Луи де Бройля о корпускулярно-волновом дуализме, по которой свет должен обладать одновременно волновыми свойствами, чем объясняется его способность к дифракции и интерференции, и корпускулярными свойствами, чем объясняется его поглощение и излучение квантами.

К понятию «Эфир»

*Гассенди П.*Предполагал, что Вселенная состоит из тела и пустоты. Пустота же (или вакуум) есть нечто по природе своей неосязаемое, лишенное всякой плотности, неспособное ни действовать, ни подвергаться воздействию; единственное, что она допускает,– это максимальную свободу движения для проходящих через нее тел.

Гюйгенс Х. 1. Несомненно, что и свет доходит от светящегося тела до нас каким-нибудь движением, сообщенным веществу, находящемуся между ним и нами...

2. светящиеся тела « состоят из плавающих в значительно более утонченной материи частиц; эта материя приводит их в весьма быстрое движение и заставляет ударяться о частицы окружающего их эфира, причем эти последние значительно меньше первых.

3. ... эта материя должна проходить сквозь стекло или сквозь ртуть...

4. ... ничто не мешает нам считать частицы эфира состоящими из материи, сколь угодно приближающейся к совершенной твердости и сколь угодно быстро восстанавливающей свою форму [6].

Максвелл Дж. К.»...светоносная среда при прохождении света через нее служит вместилищем энергии. В волновой теории, развитой Гюйгенсом, Френелем, Юнгом, Грином и др., эта энергия считается частично потенциальной и частично кинетической. Потенциальная энергия считается обусловленной деформацией элементарных объемов среды, и значит, мы должны рассматривать среду как упругую. Кинетическая энергия считается обусловленной колебательным движением среды, поэтому мы должны считать, что среда имеет конечную плотность [7].

Декарт Р. 1. Пространство в целом не может быть пустым, оно заполнено средой, которая способна передавать силу и воздействовать на материальные тела, погруженные в нее. Эта среда – эфир, а доля пространства, занимаемого обычной материей, бесконечно мала. 2. Существование светоносного эфира в виде тонкой материи, подобной жидкости, механические свойства которой определяют законы распространения света. [2]

Эйлер Л. 1. все пространство, в котором движутся небесные тела, наполнено тонкой материей, эфиром, и свет состоит из колебаний этого эфира; «свет в эфире – это то же, что звук в воздухе». 19. Итак, необходимо согласиться со следующими двумя положениями: первое – что промежутки между небесными телами заполнены тончайшей материей, и второе – что лучи не являются эманацией Солнца и других светящихся тел... Эта тончайшая материя...называется *эфиром*; ее чрезвычайная тонкость не вызывает сомнений. Эфир, без сомнения, обладает также упругостью... Благодаря этой упругости эфир... проникает также в поры всех земных предметов...

...свет по отношению к эфиру – это то же самое, что звук по отношению к воздуху. Световые лучи есть не что иное, как сотрясения или вибрации, передаваемые эфиром... Весь свет, излучаемый Солнцем, порождается неким чрезвычайно сильным возбуждением или колебанием самых малых его частиц. Оно передается окружающему его эфиру и оттуда распространяется во всех направлениях и на сколь угодно большие расстояния так же, как звучащий колокол передает по воздуху подобные же колебания. 20. Таким образом, *свет есть не что иное*, *как возбуждение*, *или сотрясение*, *частиц эфира*, который находится повсюду, благодаря своему свойству проникать во все тела. 29. Но именно эфир является той естественной средой, в которой образуются световые лучи, а другие прозрачные вещества обладают этим свойством лишь постольку, поскольку они содержат эфир; они так с ним смешаны, что колебания, возбуждаемые в нем светом, могут беспрепятственно распространяться дальше. Однако такое распространение нигде не происходит столь свободно, как в чистом эфире, и при этом оно всегда сопряжено с некоторыми потерями, которые тем значительнее, чем больше толщина прозрачного тела.

Что же касается эфира, то он по самой своей природе абсолютно прозрачен и протяженность никоим образом не влияет на его прозрачность. 134. Итак, каждый раз, когда этот эфир приводится в состояние сотрясения, или вибрации, и оно переносится в глаз, эта вибрация вызывает зрительное ощущение, которое, таким образом, есть не что иное, как подобное же сотрясение, колеблющее мельчайшие нервные волокна глазного дна [8].

Юнг Т. «Электрические явления неопровержимо доказывают, что среда, во многом напоминающая ту, которую назвали эфиром, действительно

существует. Быстрая передача электрического удара показывает, что электрическая среда обладает упругостью настолько большой, что можно предположить, что она распространяет свет» [2].

Стокс Д.Г. Эфир (подобно смоле) ведет себя как упругое твердое тело при распространении быстрых колебаний, подобных световым, но подобно жидкости поддается медленному поступательному движению планет[2].

Грин принял предположения Френеля о том, что сопротивление эфира сжатию может быть очень большим по сравнению с его сопротивлением деформации, подобно студню [2].

Томсон У. Томсон допустил, что атомы притягивают и отталкивают эфир, и вследствие этого эфир сгущается или разрежается во внутренних областях атомов. 3. Эти силы настолько велики по сравнению с силами, действующими в свободном эфире, что они смогут преодолеть сопротивление сжатию, и эфир может стать сгущенным в центральной области одиночного атома и разреженным в его наружных областях [2].

Буссинеск Д. Эфир во всех материальных телах ничем не отличается от эфира в межпланетном пространстве в отношении инерции и жесткости; оптические свойства материи вызваны взаимодействием эфира с материальными частицами. Он допустил, что эти частицы рассеяны в эфире почти так же, как частицы пыли рассеяны в воздухе [2].

Лармор Дж. «Если электрон это всего лишь пассивный полюс – своего рода узловая точка – в эфире, который определяется и полностью управляется окружающим его эфиром...» [2]

Эйнштейн А. «…общая теория относительности наделяет пространство физическими свойствами, таким образом, в этом смысле эфир существует. Согласно общей теории относительности пространство немыслимо без эфира; действительно, в таком пространстве не только было бы невозможно распространение света, но не могли бы существовать масштабы и часы и не было бы никаких пространственно-временных расстояний в физическом смысле слова» [2].

Ломоносов М.В. 15. ... свет производится движением эфира. 19...частицы эфира ... – все находятся в непрерывном соприкосновении. 20. Эфир не может быть сжат. 17... электрическое движение не есть движение света. 107. Частицы эфира не могут отходить друг от друга, так как мир заполнен. 121. Все частицы должны быть эфирными. 121. Так как эфир находится в самом плотном расположении, то он не может врываться из одного тела в другое – все полно им [9].

Ньютон И. Все пространство заполнено упругой средой или эфиром, который способен распространять световые колебания так же, как воздух распространяет звуковые колебания, только с гораздо большей скоростью. Этот эфир заполняет поры всех материальных тел и является причиной их межмолекулярной связи. Эфир может содержать различные «эфирные пары», которые способны создавать явления электричества, магнетизма и тяготения. Нельзя предположить, по уже упомянутым причинам, что свет состоит из колебаний эфира. Значит, свет следует рассматривать как «нечто другое, распространяющееся от прозрачных тел.

Кто хочет, может считать, что это совокупность различных перипатетических качеств. Другие могут предположить, что это множество невообразимо малых и быстрых корпускул различных размеров; эти корпускулы исходят от светящихся тел на огромных расстояниях друг от друга, но через неощутимо малые промежутки времени, и постоянно движутся вперед в соответствии с принципом движения, согласно которому в начале они ускоряются до того момента, когда сопротивление эфирной среды становится равным силе этого принципа.

... каким бы ни был свет, он состоит из лучей, которые отличаются друг от друга по случайным параметрам: величине, форме или энергии. В любом случае, свет и эфир способны взаимодействовать; эфир – это просто промежуточное состояние между светом и весомой материей [5].

К понятию «Свет»

Гук Р. Свет переносится эфиром – всепроникающей прозрачной однородной средой. В свободном эфире «сферическая пульсация» распространяется под прямым углом к направлению светового луча.

Каждому цвету должно соответствовать свое собственное колебание; при соединении колебания, присущие конкретным цветам, объединятся в едином колебательном движении. В этом случае колебания соответствуют белому свету. Гук чрезвычайно близко подошел к формулировке волновой теории света, но не завершил ее. Однако он считается и считался предшественником Гюйгенса в этой области.

«Свет является колебательным движением или дрожанием среды, которое производится подобным же движением светящегося тела подобным путем, как звук обычно поясняется дрожащим движением среды, производимым дрожащим же движением звучащего тела».

Гук был активным противником корпускулярной теории света Ньютона, возражал и против того, что белый свет состоит из суммы простых цветов.

«Светящегося тела не существует, но есть его части, которые движутся в той или иной степени»; и это движение «слишком быстрое». Условием испускания света светящимся телом являются частые колебания малой амплитуды. По гипотезе Декарта, возмущение есть статическое сжатие в этой среде, тогда как в теории Гука – это быстрое колебательное движение малой амплитуды [2, 10].

Гюйгенс Х. «Каждая частица вещества, в котором распространяется волна, сообщает свое движение не только ближайшей частице, лежащей на прямой,

проведенной от светящейся точки, но и необходимо сообщает его также всем другим частицам, которые касаются ее и препятствуют ее движению. Таким образом, вокруг каждой частицы должна образоваться волна, центром которой она является» [6].

Ньютон И. 1. Причина цветов находится не в телах, а в свете; цвета являются прирожденными свойствами света. 2. Показатель преломления находится в строгой зависимости от цвета луча. 3. Принцип неизменности простого цвета. «Вид окраски и степень преломляемости, свойственные какому-либо роду лучей, не могут быть изменены ни преломлением, ни отражением от тел, ни какой-либо иной причиной...».

«Не производят ли лучи различных сортов колебания различной ширины, так что эти колебания, смотря по ширине, возбуждают ощущения различных цветов почти так же, как воздушные колебания вызывают ощущения различных звуков, смотря по их ширине» (волновая гипотеза для объяснения цветов тонких пластинок, ньютоновских колец, дифракционных явлений). «Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемыми светящимися веществами» (корпускулярная гипотеза для объяснения прямолинейности распространения света и двойного лучепреломления).

«Цвета – это свойства, которые присущи свету изначально. После отделения любого вида лучей от всех остальных этот вид обладал только своим цветом, несмотря на все мои усилия изменить его».

В «Новой теории света и цветов» утверждается, что:

1. Световые лучи различаются в их способности показывать ту или иную особую окраску точно так же, как они различаются по степени преломляемости. 2. К одной и той же степени преломляемости всегда относится один и тот же цвет и обратно. 3. Вид окраски и степень преломляемости, свойственные какому-либо роду лучей, не могут быть изменены ни преломлением, ни отражением от тел, ни какой-либо иной причиной (противоречит п. 11).

6. Точно такие же по виду цвета, как и простые, могут быть получены смешением... (только для глаза). 13. ...цвета естественных тел происходят только от различной способности тел отражать одни виды света в ином количестве, чем другие.

На самом деле видимый спектр занимает приблизительно одну октаву световых колебаний (частота крайнего красного цвета в спектре приблизительно вдвое меньше частоты колебаний крайних фиолетовых видимых лучей).

Световые лучи – это поток частиц, размеры которых определяют цвета лучей. Луч света при прохождении через какую-либо преломляющую поверхность периодически изменяет состояние. Отражению свойственны «приступы легчайшего отражения», а прохождению – «приступы легчайшего прохождения». «Я же нашел, что модификация света, от которой происходят цвета, врожденна свету...»

Ньютон отвергает гипотезу Декарта и волновые домыслы Гука, но ни слова не говорит об атомистическом толковании света. «...Мы видели, что причина цветов находится не в телах, а в свете, поэтому у нас имеется прочное основание считать свет субстанцией... я не хочу здесь смешивать домыслов с достоверностью». ...легкий намек на субстанциальность и «телесность» света [2, 5, 11, 12].

Эйлер Л. «Новая теория света и цветов». Теория продольных волновых колебаний колеблющихся лучей, а не волн в пространстве. Каждому цвету соответствует своя частота колебаний. Предсказано давление света. Вводит представление о периодичности света. Цветность светового луча определяется длиной его волны. Цвета тел являются результатом вибрации частиц тела под действием падающего света.

22. Солнечный свет, следовательно, порождается крайне интенсивным и быстрым движением мельчайших частиц Солнца...

...можно увидеть не только саму свечу, но также и другие предметы, ранее невидимые. Вот к чему сводится существенное различие между телами светящимися и другими телами, которые мы называем «темными»... Прекрасным примером этого может служить Луна.

23. ...каким образом освещение само по себе способно вызвать свечение у темных предметов? Великий Ньютон полагал, что оно вызвано отражением. Предметы, которые мы видим в зеркалах, воспроизводятся там благодаря отражению лучей... Исходя из этого, философы пришли к убеждению, что мы видим темные предметы благодаря отраженным лучам (докажу несостоятельность..)

25. Итак, пока темное тело освещено, оно пребывает в таком же состоянии, как и светящиеся тела, поскольку его мельчайшие частицы испытывают такое же возбуждение, порождающее лучи в эфире. Но различие в том, что в светящихся телах это возбуждение существует само по себе, т. е. поддерживается присущей им внутренней силой, тогда как в темных предметах оно носит вторичный характер, ибо вызвано падающим на них светом и поддерживается посторонней силой, источник которой находится не в самом предмете, а в освещении.

26. ...в струне и в любом другом звучащем теле можно вызвать колебания только одним консонирующим звуком. Подобное же свойство присуще и темным предметам, частицы которых начинают колебаться под действием одного только освещения.

27. ...природа каждого цвета зависит от числа колебаний частиц, производящих лучи данного цвета, в единицу времени.

28. Последователи Ньютона утверждают, что цвет зависит исключительно от природы лучей, которые они различают согласно их цвету: красные, желтые, зеленые, синие и фиолетовые. Они говорят, что предмет кажется нам того или иного цвета, если он отражает лучи соответствующей разновидности.

Из всего вышеизложенного делаем вывод, что для освещения предмета определенного цвета нужно, чтобы падающие на него лучи имели такой же цвет... Из этого можно заключить, что белый цвет отнюдь не является простым цветом: это скорее смесь всех простых цветов, поэтому мы и видим, что белая поверхность способна воспринимать в равной мере любые цвета. Что же касается черного, то это, собственно говоря, и не цвет. ... предмет, который не испускает лучей – черный: таким образом, отсутствие лучей дает этот цвет [8].

Юнг Т. Формулирует гипотезу о том, что светящееся тело возбуждает колебательные движения в эфире; ощущение цветов зависит от частоты колебаний, возбужденных светом на сетчатке. Волновая теория для объяснения явления интерференции. Вводит понятия частоты колебаний и длины волны, устанавливает соотношение между ними и скоростью распространения волны: $\lambda\upsilon = c$. [БСЭ]

Фуко Л. Доказал, что скорость света в воде меньше, чем в воздухе, что противоречило корпускулярной теории.

Максвелл Дж. К. 1. Свет как вид электромагнитного излучения. 2. Что самый свет не есть вещество, доказывается явлением интерференции. 3. Что же касается природы процесса, то ее мы не определяли. Это может быть перемещение, либо вращение, либо электрическое возмущение, либо какая угодно физическая величина, способная принимать и положительные и отрицательные значения... процесс ...называется *колебанием*. Но этот процесс может быть и электромагнитным...4. «Вряд ли можно избежать вывода о том, что свет состоит из поперечного волнового движения той же среды, которая вызывает электрические и магнитные явления» [7].

Мопертюи. Согласовал принцип Ферма с корпускулярной теорией: вместо того, чтобы принимать, что свет следует по кратчайшему пути, он предположил, что «пройденный путь таков, что для его прохождения требуется наименьшее количество действия»; и это действие он определил как пропорциональное сумме пройденных расстояний, каждое из которых умножено на скорость, с которой свет его проходит.

Вращение плоско поляризованного света зависит, как показал Френель, от разности скоростей распространения правых и левых поляризованных по кругу волн, на которые можно разложить плоско поляризованный свет. Верде показал, что в случае с эффектом Фарадея эта разность пропорциональна составляющей магнитной силы, действующей в направлении распространения света. Затем Корню показал, что среднее значение скоростей правой и левой волн равно скорости света в среде, в которой отсутствует магнитное поле. Из этих данных с помощью геометрического метода Френеля можно получить волновую поверхность в намагниченной среде [2].

Декарт Р. Основные свойства света следующие: 1) он распространяется во все стороны вокруг тел, называемых светящимися, 2) на всевозможные расстояния, 3) мгновенно, 4) обычно по прямым линиям, называемым лучами света, 5) некоторые из этих лучей, исходя из различных точек, могут собираться в одну и ту же точку или 6) исходя из одной точки, они могут расходиться в различные пункты, 7) исходя из разных точек и направляясь к разным точкам, лучи эти могут пройти через одну и ту же точку, не мешая друг ругу, 8) но иногда, когда сила их значительно неравна и превосходство одних над другими в этом отношении очень велико, они могут и мешать друг другу, 9) направление этих лучей может быть изменено посредством отражения или 10) преломления, 11) сила их может быть увеличена или 12) уменьшена различными положениями или качествами материи, передающей эти лучи».

«Наблюдения ... недостаточны для того, чтобы доказать отсутствие пустоты, однако они вполне убеждают в том, что пространства, в которых мы ничего не чувствуем, заполнено той же самой материей и содержит ее по крайней мере столько же, сколько и пространства, занятые телами, которые мы чувствуем».

«...нет необходимости предполагать, что нечто материальное должно проходить от предметов до наших глаз для того, чтобы мы могли видеть цвета и свет... Следовательно, ввиду того, что это (т.е. лучи) не столько движение, сколько действие светящихся точек, которое следует воспринимать как свет, излучаемый ими, вы должны прийти к выводу, что лучи света суть не что иное, как линии, вдоль которых стремится это действие».

«Лучи отклоняются как мячи от препятствия гладкого, а если сложной формы, то во все стороны. Лучи от каждой точки расходятся веером, но, благодаря линзе хрусталика, снова фокусируются в точку: поэтому не смешиваются на сетчатке» [13].

Ломоносов М.В. 91. Медлительный приход света от Солнца или от Сатурна не доказывает, что из светил истекает материя света, как медлительность звука не доказывает, что из звучащего тела истекает воздух. 100. Золото отражает желтый цвет, следовательно, в нем имеются материи, удерживающие синий и красный цвета [9].

[О мнениях] Из оных два суть главнейшие: первое – Картезиево (Р. Декарт), от Гугения (Хр. Гюйгенс) подтвержденное и изъясненное,[1] второе – от Гассенда (П. Гассенди) начавшееся и Невтоновым (И. Ньютон) согласием и истолкованием важность получившее. Разность обоих мнений состоит в разных движениях. В обоих поставляется тончайшая, жидкая, отнюдь не осязаемая материя. Но движение от Невтона полагается текущее и от светящихся тел наподобие реки во все стороны разливающееся; от Картезия поставляется беспрестанно зыблющееся без течения.

Итак, положив жидкую, тончайшую и неосязаемую материю света... три возможные движения в оной находим... Первое движение может быть текущее или проходное, как Гассенд и Невтон думают, которым эфир (материю света с древними и многими новыми

Таблица 2

Обозначения известных постоянных
Legend known permanent

h	Постоянная Планка
c	Скорость света,
G	гравитационная постоянная
$Q=(2\varepsilon_0 hc)^{0,5}$	модуль фундаментального, сильного заряда
$\alpha = e^2/2\varepsilon_0 hc$	Постоянная тонкой структуры $\alpha = e^2/Q^2$
m_e	масса электрона
$E_0 = m_e c^2$	Энергия покоя электрона
λ_0	Собственная длина волны электрона Комптона (а не де Бройля, которая здесь трактуется как расстояние резонансного взаимодействия, содержащее целое число собственных длин волн электрона).
ε_0	Диэлектрическая постоянная вакуума
e	заряд электрона

Таблица 3

Ряд энергий, определяемых постоянной тонкой структуры
Several energies determined the fine structure constant

Обозначение	Формула	Величина	Название
$E_R\alpha$	$0.5E_0\alpha^3$	0.1 эВ	Энергия водородной связи
E_R	$0.5E_0\alpha^2$	13.6 эВ	Энергия ионизации атома водорода
E_e	$0.5E_0\alpha^1$	3.73 кэВ	Энергия электрического поля электрона
E_{em}	$E_0\alpha^1$	7.46 кэВ	Сумма энергий электрического и магнитного полей электрона
Φ_m	$2\alpha\Phi_0$	Φ_0=h/2e	Квант магнитного потока электрона
E_0	$E_0\alpha^0$	0.511 МэВ	Энергия электрона
E_{pm}	$E_p\ \alpha^1$	6.8 МэВ	Сумма энергий электрического и магнитного полей протона при $\mu_p = \mu_N$
		12.9 МэВ	при $\mu_p = 2.79\mu_N$
E_π	$E_0(2\alpha^{-1} - 1)$	139.57 МэВ	Энергия пиона
E_i	$E_0\alpha^{-2}$	9.56 ГэВ	Энергия группы частиц Ипсилон

так называю) движется от солнца и от других великих и малых светящих тел во все стороны наподобие реки беспрестанно. Второе движение может в эфире быть *зыблющееся*, по Картезиеву и Гугениеву (Хр. Гюйгенс) мнению, которым он наподобие весьма мелких и частых волн во все стороны от солнца действует ... без текущего своего движения. Третье движение быть может *коловратное*, когда каждая нечувствительная частица, эфир составляющая, около своего центра или оси обращается. Посему... остается одно третье, зыблющееся (колебательное) движение эфира, которое должно быть причиною света [9].

Сильное взаимодействие и свет

Сокращения: ЭП – электрическое поле, МП – магнитное поле.

Постоянная тонкой структуры принимается за масштабный энергетический фактор.

В табл. 3 дан следующий ряд энергий, расположенных по степеням постоянной тонкой структуры.

Планковские фундаментальные физические масштабы длины, времени и массы: $L=(Gh/c^3)^{0,5}$, $T=(Gh/c^5)^{0.5}$, $M=(hc/2\pi G)^{0,5}$ и т. д. Предположим, что вакуум, то, что организует трехмерное пространство, образован плотно упакованными узлами с этими параметрами: длине волны L собственных колебаний узлов, частоте $F=1/T$ и энергии $W=Mc^{2=}=2\cdot10^9$ Дж. Введем также фундаментальный, сильный заряд $Q=(2\varepsilon_0 hc)^{0,5}$, энергия поля которого эквивалентна W. Фазы колебаний соседних узлов противоположны, поэтому образуется стоячая волна нулевой амплитуды, что объясняет неосязаемость вакуума. В чистом вакууме сопротивление движению отсутству-

ет, поскольку параметры узлов предельны и обмен энергией с ними невозможен. Тела не перемещают эфир и не раздвигают его, они в виде совокупности областей возбуждения переливается по нему. Так распространяется тепло по предмету от горячей точки.

Единая стоячая волна обусловливает квазинепрерывность и изотропность пространства для частиц, размеры которых в 10^{20} раз превышают шаг решетки. Скорость передачи возмущений ограничена величиной c, так как передача возмущения от узла к узлу совпадает с актом внутренней генерации, то есть определена дискретностью пространства – времени.

Электрон и атом

Атом водорода образуется при частичной распаковке узла. Ионизация разделяет эту систему на протон p^+ (остов узла с окрестностью) и электрон e^- (отделившаяся часть энергии узла с окрестностью). Эта пара есть первичное образование. Все остальные частицы короткоживущие, они распадаются, в конечном счете, на протоны и электроны, также на не имеющие массы фотоны и нейтрино. Поэтому протоны и электроны являются первоисточниками и носителями всех фундаментальных физических полей, каковые суть электрическое, магнитное и сильное поля. Устойчивость атома определяется уравновешенностью взаимодействий по всем полям.

Энергия $E_э$ электрического поля электрона определяется [1] как энергия сферы радиуса $r_э$, обладающая зарядом e: $E_э=e^2/8\pi\varepsilon_0 r_э$. Энергия E_0 равна энергии аннигиляционного фотона с длиной волны λ_0: $E_0= hc/\lambda_0=2\varepsilon_0 hc2\pi/4\pi\varepsilon_0\lambda_0 = Q^2/4\pi\varepsilon_0(\lambda_0/2\pi)$. Но $r_э=\lambda_0/2\pi$, поэтому $E_э/E_0=0.5\alpha$: электрическая компонента энергии в 274 раза меньше полной энергии. Магнитная компонента $E_м$ энергии электрона также равна $0.5E_0\alpha$ [1], и, вместе с электрической, составят величину $E_0\alpha$=7.46 кэВ. Оставшаяся часть есть энергия сильного взаимодействия.

Атом водорода будет устойчив, если сила притяжения по электрическому полю e^2/r_a^2, (r_a – радиус атома) будет уравновешена отталкиванием по сильному полю Q^2R/r_a^3 (R – искомый параметр). Имеем в виду, что устойчивое состояние обеспечивается только в случае, если радиус атома входит в разных степенях: при сближении быстрее нарастает отталкивание, а при удалении – притяжение. По Ломоносову, главное – отталкивание. В противном случае, не существовали бы планетные системы; также молекулы и атомы как системы.

Из равенства $e^2/r_a^2= Q^2R/r_a^3$ найдем $R=\alpha r_a$. Если примем в качестве параметра радиус $r_э$ ($R= r_э$=3.86·10^{-13} м), то $r_a = R/\alpha$=5.29·10^{-11} м (размер атома около ангстрема).

Энергия связи (с вычетом магнитной) равна $U=e^2/8\pi\varepsilon_0 r_a=\alpha e^2/8\pi\varepsilon_0 r_э=\alpha E_э=0.5\alpha^2 E_0 = E_R$, т.е энергии ионизации атома водорода. В свою очередь, энергия Ридберга $E_R= U\alpha=0.5E_0\alpha^2$, то есть в 137 раз меньше уже электрической компоненты полной энергии электрона.

Свойства фотона. Преобразуем соотношение энергий электрона в соотношение таких зарядов q_1 и q_2, что $q_1q_2 =Q^2 = 2\varepsilon_0 hc$, а $q_1 + q_2 = –e$. Отсюда найдем заряды субчастиц электрона:

$q_{1,2}= –0{,}5e[1\pm j(8/\alpha–1)^{0.5}$, $j = \sqrt{}–1$. Из условий $q_3q_4 = Q^2$, и $q_3 + q_4 = 0$, найдем заряды q_3 и q_4 субчастиц фотона: $q_{3,4}=\pm jQ$. Мнимость означает здесь ортогональность составляющих и исключительно парность зарядов q_1 и q_2. Эти фотоны имеют два различающихся состояний поляризации.

Электрон – это облако узлов, возбужденных по всем трем полям, а его перемещение при неподвижных узлах есть направленная передача возбуждений. Инертность его состоит в том, что при увеличении скорости изменяется конфигурация облака полей, на что и расходуется энергия движителя. Фотон же изначально получает конечный импульс и обладает скоростью, совпадающей с собственной скоростью передачи возбуждений вакуумом. И p^+, и e^- не содержат в себе ничего, кроме узлов вакуума. Фотон также есть облако узлов, но возбужденных по сильному полю, поэтому он не управляем ЭП и МП и не относится к электромагнитным объектам. Не удивительно, что оптические инструменты фиксируют вол-

новые свойства частиц: эффекты Штарка, Зеемана и Фарадея относятся к влиянию на среду, а не на фотоны: это артефакты. Итак, аннигиляция состоит в нейтрализации ЭП и МП, в перестановке компонентов зарядов.

У протона сумма энергий ЭП и МП примерно равна E_{emp}=938/137 =6.8 МэВ, а наибольшая энергия γ-кванта равна 6.6 МэВ (изотоп Rb 37/90); если учесть аномальность его магнитного момента, то энергия E_{emp} составит 12.9 МэВ, при том, что максимальная энергия γ-квантов, испускаемых при поглощении тепловых нейтронов, составляет 11.4 МэВ (изотоп B 5/10). Нижней границей γ-квантов и верхней для рентгеновских *x*-квантов следует считать энергию электрона 0.511 МэВ (таковые имеются во множестве изотопов) потому, что это эталонная наименьшая величина. Итак, излучение с энергией более 0.511 МэВ можно отнести к категории фотонов – квантов, поскольку их пара может при фоторождении воспроизвести пару электрон–позитрон. С меньшей уверенностью к фотонам отнесем рентгеновские *x*-кванты с нижней границей $0.5E_0\alpha^1$=3.73 кэВ (λ=4.4 нм), хотя условие равенства размера фотона комптоновской длине еще сохраняется.

Что касается световых лучей, то они состоят из импульсов сильного поля, а не из фотонов, т.е. локализованных частиц, и не из волн. Волна – это согласное изменение состояния, коллективное возбуждение или движение большого числа частиц, размеры которых малы по сравнению с длиной волны. В пустоте волны не существуют. Но и в эфире волна не есть объект или квант. Различие в том, что энергия волны распределена по частицам, а квант взаимодействует как целостный объект.

В самом деле, в атоме: 1. плотность энергии сильного поля существенно выше плотности энергии ЭП; 2. сильное поле ядра не компенсируется сильным полем электрона; 3. сильное поле распространяется за пределы атома. Именно сильное поле определяет прочностные характеристики материалов (межатомное взаимодействие). Например, если прижать друг к другу две тщательно отполированные стальные пластины, то для их разделения потребуется усилие. Известно также, что сжимаемость материалов резко устремляется к нулю в области высоких давлений. Сжатие (упругие деформации) относится к эффективному способу преобразования механической энергии в атомную. Поэтому же при деионизации отделяется именно импульс сильного поля.

Соответственно, можно говорить только о шкале энергий, но не о единой шкале электромагнитных волн. Свет – одна из форм энергии. Например, М.В. Ломоносов разделял теплоту и свет.

Эквивалентная энергия узла $W = 2\cdot10^9$ Дж, и в любом веществе его степень возбуждения ничтожна, поэтому для световых волн любая среда должна быть прозрачной; существование же непрозрачных сред указывает на квантовый характер света. Для вакуума с $L = 10^{-35}$ м длина волны любого объекта огромна, поэтому даже квант при взаимодействиях проявляет волновые свойства.

Свет и звук схожи тем, что передаются импульсы, а не материальные объекты. Свет распространяется в вакууме, но чтобы его воспринять, требуется посредствующий преобразователь. У человека таковым служит зрительный аппарат. Распространение звука в твердом теле совсем не обязательно происходит механически за счет столкновений атомов, поскольку атомы не входят в соприкосновение. Тем более что атомы сами по себе есть полевые конструкции в вакууме. Когда же мембрана колеблется в вакууме, то имеет место изменение распределение полей в нем, поэтому они могут быть зафиксированными соответствующими датчиками.

Природа отобрала всего тройку быстродействующих и светочувствительных веществ. Их реакции мозг преподносит как цвета, именуемые первичными. В действительности, все частоты («цвета») первичные; это мозг создает иллюзию переходных тонов: они не воспринимаются, а моделируются, создаются или как бы воспроизводятся.

Эксперимент и обсуждение

Дифракция. *Одиночная щель.* Луч ∅2 мм лазерного модуля направляется на вертикальную щель (вид сверху), которая вырезает

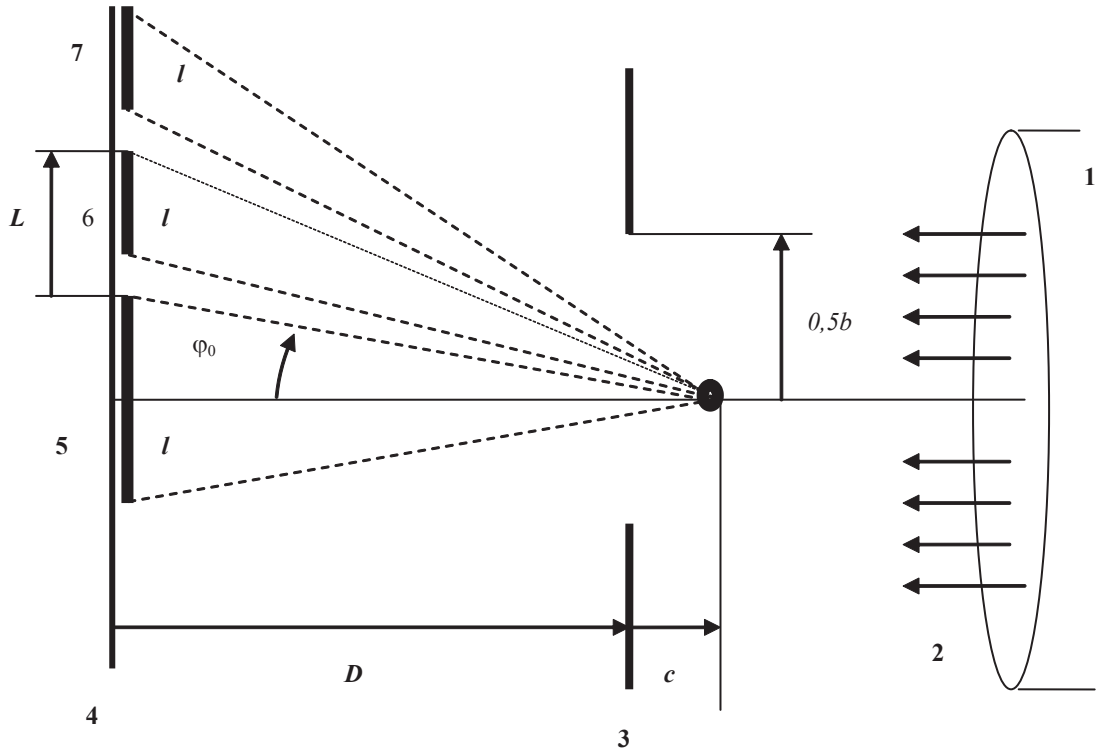


Рис. 1. Схема прохождения луча лазера через щель на экран
Fig. 1. Flow diagram of the laser beam through the slit to the screen

из луча полосу шириной *b*, проецируемую на экран, как показано на рис. 1, в виде цепочки штрихов, симметрично расположенных относительно центрального штриха, имеющего максимальную яркость.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1 – источник света, лазер; 2 – направление луча лазера; 3 – щель; 4 – экран; 5 – центральный (первый, сдвоенный штрих длиной 2L; 6, 7 и т.д. – второй, третий и т.д. штрихи; *l* – длина штриха; *D* – расстояние от щели до экрана; c – расстояние от щели до мнимого фокуса; *b* – ширина щели; φ_0 – угол, под которым видна половина первого штриха; *L* – шаг развертки.

При *D* = 2,92 м зеленый луч с длиной волны λ = 0,532 мкм подавался на щель с переменной шириной *b* от 25 мкм до 1000 мкм. На рис. 2 показаны результаты опыта, а на рис. 3 – аппроксимация. Это равносторонняя гипербола в пересчете на *D* = 1 м дает величину bL = 0,522 мм^2 для зеленого луча и 0,63 мм^2 для красного (λ = 0,650 мкм). С инструментальной погрешностью 3 % получаем известное уравнение $bL = \lambda D$, $L/D = \lambda/b = \sin\varphi_0$. Все последующие углы определяются уравнением $\sin\varphi_m = mL/D$, где *m* = 1, 2, 3... Точнее, $L/(D+c) = \lambda/c$, $c = \lambda D/(L-\lambda) = b$, если $L >> \lambda$. Все основные опыты повторялись с использованием гелий-неонового лазера с λ = 632,8 нм, особенностей не обнаружено.

В щели укладывается целое число длин волн λ. Уместна гипотеза: луч как связка объединяет не смешивающиеся пучки фотонов, имеющие поперечный размер порядка λ. Латинское *dif* это приставка перед начальным *f* основного слова, а *fractio* это разламывание.

Первоначально термин дифракция определял именно явление дробления развертки луча на явно выраженные отдельные части (штрихи), как результат разветвления наподобие распускания колосьев на участке снопа, где заканчиваются связки. Подобно тому, как рассеивается поток элементарных частиц полями атомов кристаллов, разводятся пучки фотонов под действием атомного поля краев щели. А загибание лучей в область тени без дифракции обеспечит простая линза. Наблюдаемый наибольший угол расхождения лучей 90^0 Подобно этому, вырезанная из бревна доска состоит из нескольких слоев, а те – из волокон.

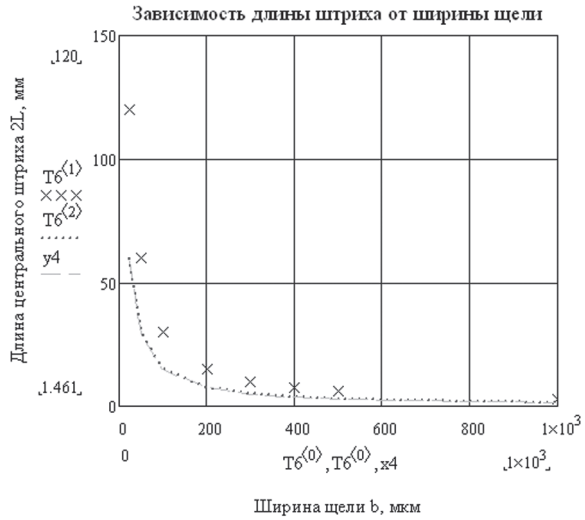


Рис. 2. Зависимость длины шага L от ширины b щели (пунктир)и длины центрального штриха $2L$ (крестики)

Fig. 2. Dependence of the step length L of the slit width b (dotted line) and the length of the center dash $2L$ (crosses)

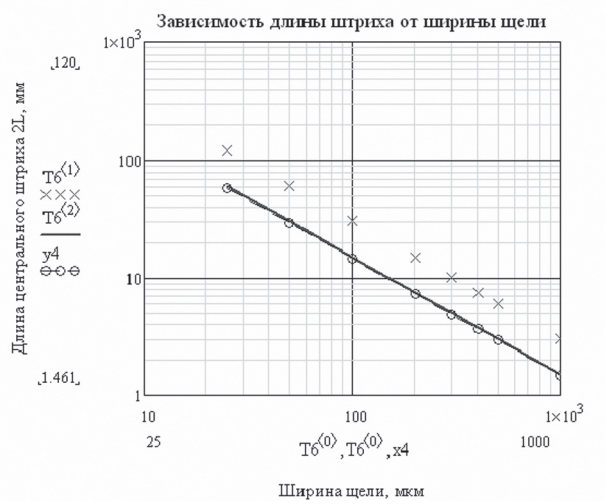


Рис. 3. Зависимость длины шага L от ширины щели (кружки) и длины центрального штриха $2L$ (крестики) в логарифмическом масштабе. Сплошная линия – аппроксимация гиперболой

Fig. 3. Dependence pitch length L of the slit width (circles) and the stroke length of the central $2L$ (TIC) in a logarithmic scale. Solid line – approximation hyperbole

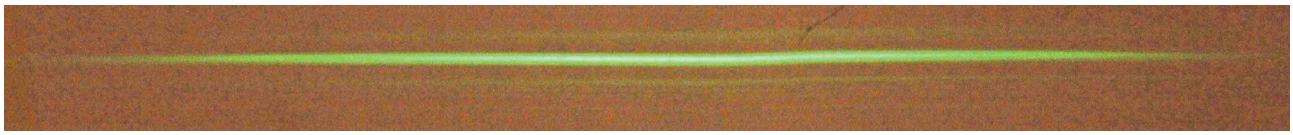


Рис. 4. Центральный штрих длиной 216 мм при расстоянии до экрана D = 5,2 м

Fig. 4. Central bar length 216 mm at a distance from the screen D = 5,2 m

Рис. 5. Центральный штрих длиной 5,5 мм при расстоянии до экрана D = 2,1 м

Fig. 5. Central bar length of 5,5 mm at a distance from the screen D = 2,1 m

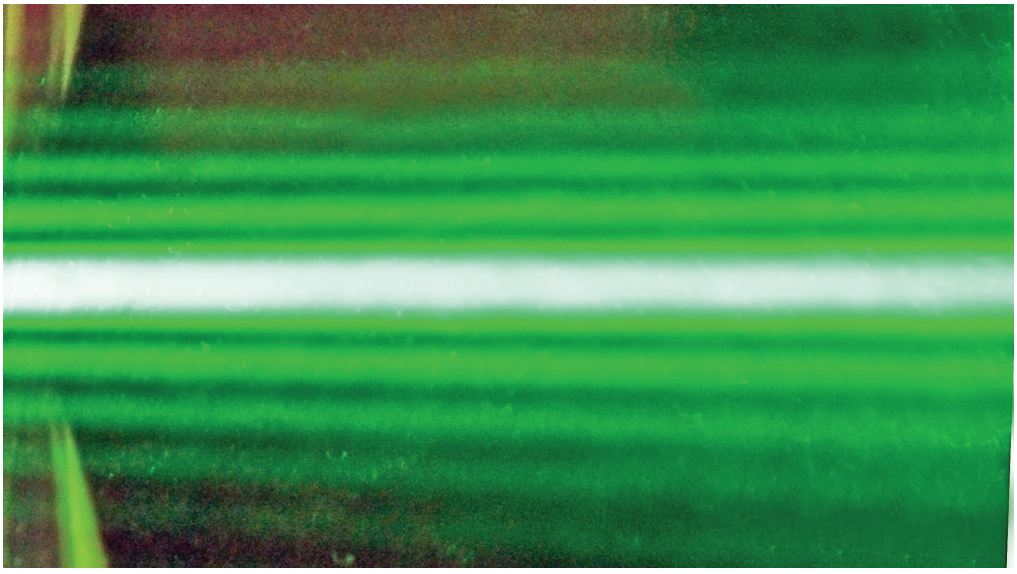


Рис. 6. Ход лучей в кювете с водой (длина 100 мм; рассеяние усилено добавкой одеколона)

Fig. 6. Path of the cell with water (100 mm; scattering enhanced additive cologne)

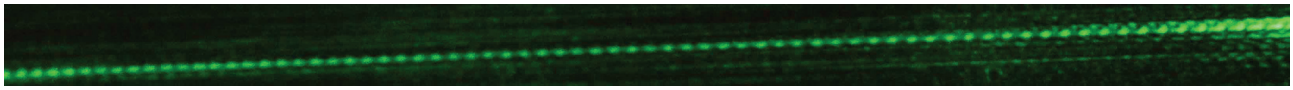


Рис. 7. Развертка луча стеклянной палочкой ∅ 5 мм
Fig. 7. Scanning beam with a glass rod ∅ 5 mm

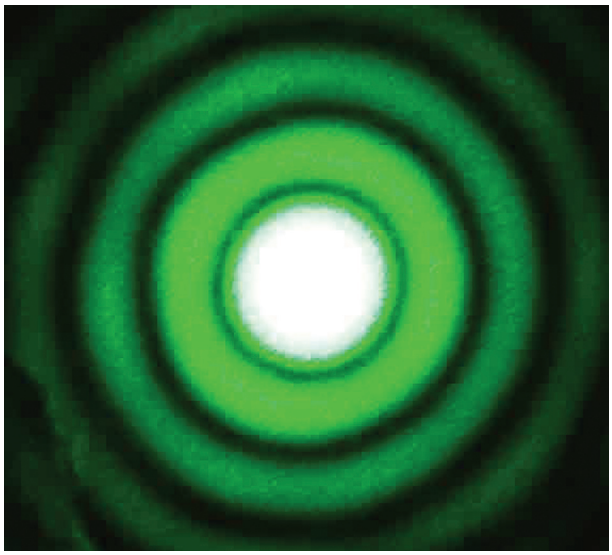


Рис. 8. Дифракция на отверстии. Диаметр отверстия 0,40 мм
Fig. 8. Diffraction on the hole. Hole diameter of 0,40 mm

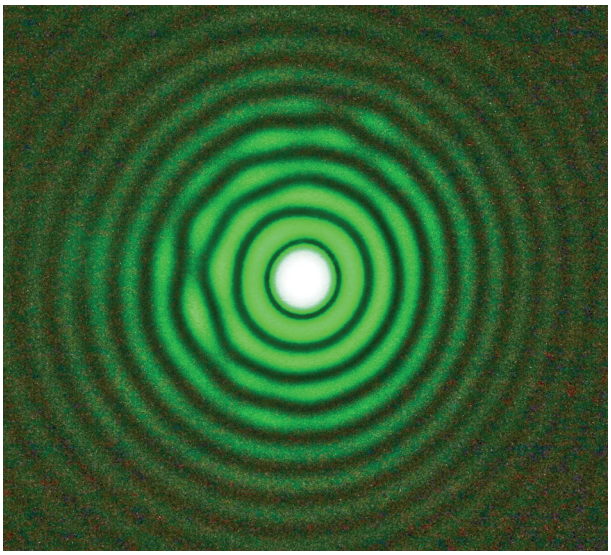


Рис. 9. Дифракция на отверстии. Диаметр отверстия 0,65 мм
Fig. 9. Diffraction on the hole. Hole diameter of 0,65 mm

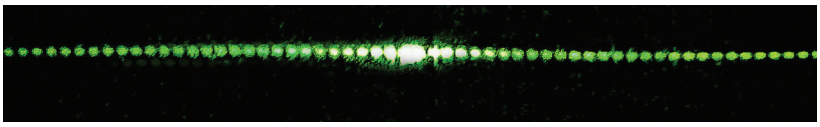


Рис. 10. Дифракция луча лазера на проволочке
Fig. 10. Diffraction of a laser beam to the wire

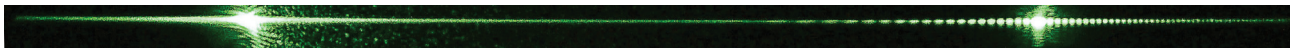


Рис. 11. Фото дифракции на бруске. Слева результат дифракции на крае, справа – дифракция отраженного от поверхности луча. Между центрами лучей 276 мм, до экрана 1,56 м
Fig. 11. Photo diffraction on the bar. Left result of diffraction at the edge of the right – the diffraction of the beam reflected from the surface. Between the centers of the beams 276 mm to 1.56 m screen

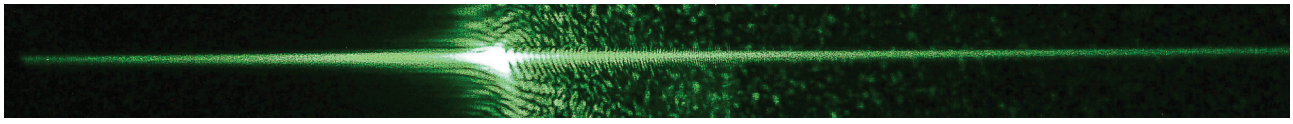


Рис. 12. Результат дифракции на крае (увеличено)
Fig. 12. The result of diffraction at the edge of (increased)

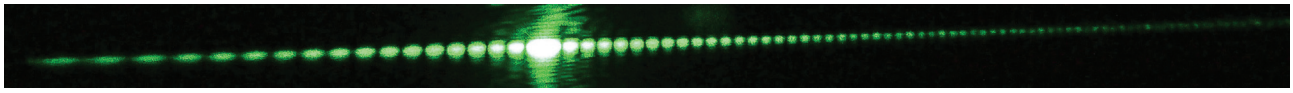


Рис. 13. Отраженный от поверхности бруска луч. До экрана 5,25 м (увеличено)
Fig. 13. The reflected beam from the surface of the bar. To the screen 5,25m (increased)

Рис. 14. Развертка луча дифракционной решеткой
Fig. 14. Scan beam grating

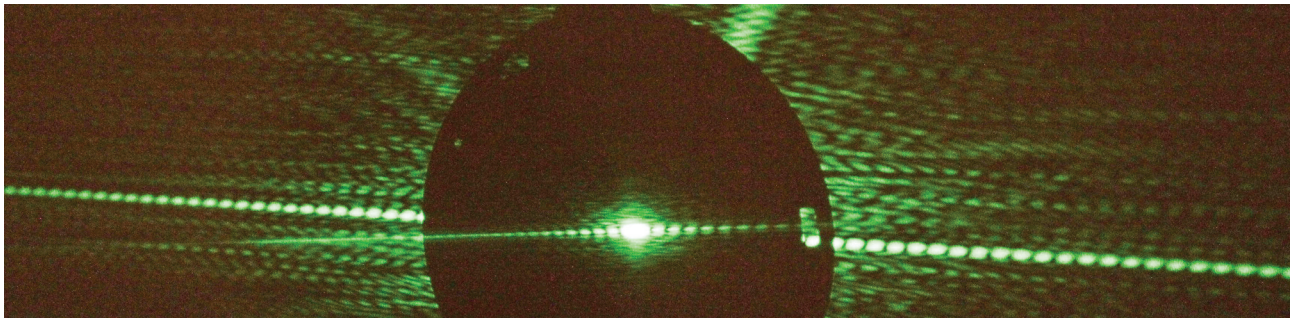


Рис. 15. Развертка щелью 2 под малым углом к горизонтали центрального штриха развертки луча щелью 1
Fig. 15. Sweep 2 slot at a small angle to the horizontal stroke of the central beam scan slit 1

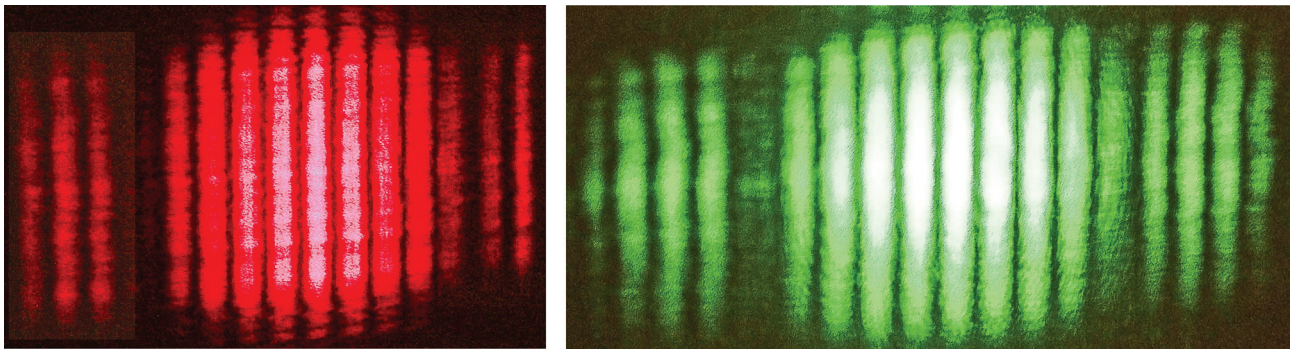


Рис. 16. Интерференция на двух щелях
Fig. 16. Interference by two slits

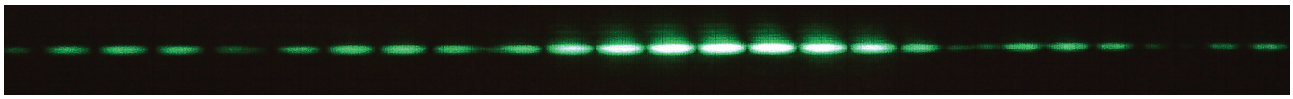


Рис. 17. Интерференция на двух щелях. Расстояние до экрана 3 м, длина центрального штриха 170 мм, ширина луча 2,5 мм
Fig. 17. Interference by two slits. Distance to screen 3 m length of the central stroke 170 mm, beam width of 2,5 mm

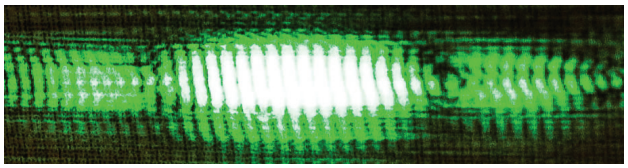


Рис. 18. Интерференция при $n = 8$
Fig. 18. Interference with $n = 8$

На рис. 4 и 5 показаны фото с экрана дифракции луча зеленого лазера с длиной волны 0,532 мкм для ширины щели 10 мкм и 400 мкм соответственно.

На рис. 6 показан ход лучей в рассеивающей среде. При щели 10 мкм длина штриха составила 500 мм, никаких разрывов не наблюдалось. Это значит, что пучок состоит из очень большого числа фотонов игольчатого типа.

Стеклянная палочка. На рис. 7 изображена развертка луча, пропущенного не через щель, а через стеклянную палочку, заменяющую цилиндрическую линзу. Как видно,

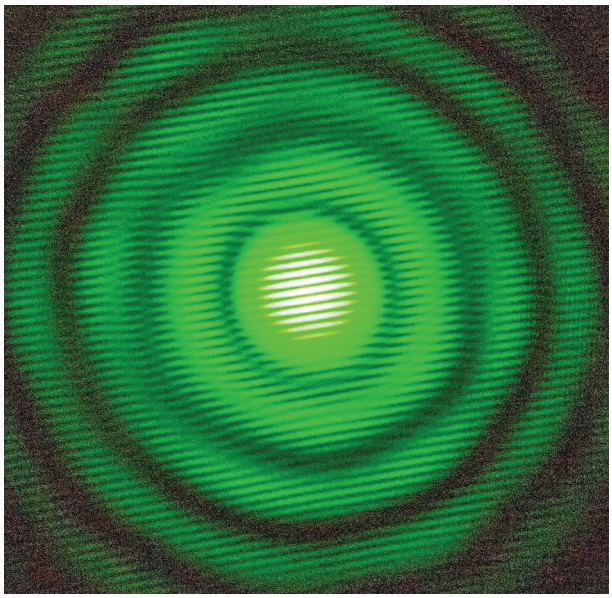


Рис. 19. Интерференция на двух отверстиях диаметром 0,25 мм через 1 мм в медной фольге 0.15 мм
Рис. 19. Интерференция на двух отверстиях диаметром 0,25 мм через 1 мм в медной фольге 0,15 мм

щель выполняет функцию такой линзы или, вообще, рассеивающих линз.

Дифракция на отверстии. Вращение щели вокруг оси, совпадающей с лучом, в плоскости, нормальной к оси, сопровождается поворотом развертки, поэтому штрихи прочерчивают толщины стенок (примерно λ) вложенных цилиндров. Такая процедура сводится к реакции луча на отверстие, как показано на рис. 8,9. В данном случае линза «установлена» в центре и цилиндры просматриваются.

Дифракция на проволочках. На рис. 10 показан результат дифракции (фото сильно обрезаны по длине). Диаметр проволочки 0,5 мм. Длина волны лазера λ = 650 нм. Здесь линзой служит сильное поле вокруг проволочки.

Дифракция на крае и при отражении. Стальной брусок (калибр) толщиной 9 мм, шириной 12 мм и длиной 30 мм повернут полированной гранью так, что отраженный луч попадает на экран, отстоящий на 5,25 м.

Сущность данного явления состоит в том, что наблюдается сильно растянутое сечение луча при угле падения луча близко к 90 градусам; при этом обнаруживается, что луч состоит из отдельных пучков. Данный эффект не наблюдался на отражателе в виде стекла с напылением Al.

Дифракционная решетка. На рис. 14 приведено фото с экрана, расположенного на расстоянии 390 мм от дифракционной решетки. Размах развертки 580 мм. Решетка пленочная, на просвет, имеет 300 штрихов на мм.

В данном случае $d \approx b$, где d – ширина непрозрачного промежутка между щелями (прозрачными промежутками шириной b), поэтому $\Delta x \approx l$ и интерференция не имеет места. Проверено, что изображения воспроизводят точно размеры сечений луча различных конфигураций, а это значит, что рассеяние лучей по диаметру мало и наблюдается только по направлению. Иначе говоря, луч расщепляется на пучки, *дифракция имеет место*, а пучки – нет. В данном опыте каждая щель испускает 10 пучков, два центральных совпадают.

Двухступенчатая дифракция. Две щели поставлены последовательно. Луч после щели 1 горизонтален, он поступает на щель 2 (показана на фото) так, чтобы на нее попадал только центральный штрих щели 1. Этот штрих разворачивается щелью 2 по горизонтали слегка под углом для наглядности. Также получены развертки второго и третьего штрихи. Пучки фотонов также можно распустить на более мелкие.

Интерференция. Интерференция на двух щелях и отверстиях. На рис. 16. показано изображение двух лучей с длиной волны 0.650 мкм (красный) и 0,532 мкм (зеленый) после прохождения двух щелей шириной 20 мкм, разделенных непрозрачным промежутком шириной 60 мкм. Инструмент из стандартного набора для лаборатории оптики. Увеличено.

Для исследования явления были изготовлены щели с изменением ширины промежутка между щелями. На стекле наклеивалась фольга, или оно покрывалось черным лаком. Затем бритвой или скальпелем из одной точки прорезают покрытие до стекла, образуя две расходящиеся линии. Также для этой цели можно использовать покрытие на оборотной стороне зеркала, лучше медное. В нашем случае промежуток между щелями изменялся от 10 мкм до 1,6 мм. Перемещая луч, можно снять зависимость количества отрезков, на которые разбиваются штрихи от ширины промежутка d между щелями. Подтверждена известная приближенная формула $\Delta x = \lambda D/d$, где x – величина отрезков, на которые разбиваются штрихи. Количество их равно $n = d/b$. Как видно на рис. 17 $n = 3$ для крайних штрихов. На рис.18 при $n = 8$.

Закрывая одну из щелей, наблюдаем обычную дифракцию. Когда открыты обе, их штрихи просто суммируются, так как сдвиг их относительно друг друга ничтожен. Поэтому длина исходного штриха сохраняется. Кроме того, поля близко расположенных щелей объединяются, образуется поле виртуальной щели шириной $b + d$. Эта щель создает штрихи в n раз более короткие, и они суммируются с исходными. Поэтому только при малых d дробление штрихов проявлено сильно.

Резюме

1. Как показано, более 99 % энергии электрона составляет энергия сильного поля. Взаимодействие его с ядром по этой компоненте обеспечивает устойчивость атома, но

Таблица 4

Шкала энергий
Energy scale

Объект	Эквивалентный размер или длина волны, м	Энергия по степеням α (нижняя граница)	Диапазон
Электрон	$2.42 \cdot 10^{-12}$	m_e = 511 кэВ, энергия электрона	γ-кванты
Атом	$3.31 \cdot 10^{-10}$	$m_e\alpha$ = 3.73 кэВ, электромагнитная компонента энергии электрона	*x*-кванты
Примечание 1	$4.53 \cdot 10^{-8}$	$m_e \alpha^2$ = 24.3 эВ	ультрафиолет
Примечание 2	$6.2 \cdot 10^{-6}$	$m_e \alpha^3$ = 0.18 эВ	видимый свет

Примечание: 1. По расчетам, это поперечный размер лучей, составляющих луч лазера (в нашем случае мощность лазера от 5 мВт до 1000 мВт, диаметр луча 2–4 мм). 2. Это величина толщины стенки упомянутого цилиндра, она же длина волны, энергия водородной связи

не способно уравновесить сильное поле ядра. Таковое поле создается ядрами атомов и остается нескомпенсированным и в веществах, и вне их, где интенсивность быстро спадает по мере удаления от тел; именно оно ответственно за межатомные силы. Если приложить друг к другу две тщательно отполированные пластины, например стальные, для их разделения потребуется усилие. В щели эти поля и создают полевую линзу, оптические свойства которой определяются шириной щели, а также зависят и от свойств материала губок щели. Отсюда, в частности, следует, что свет есть распространяющееся возбуждение вакуума по сильному полю, генерируемое сильными полями атома; как известно, лучи света не отклоняются электрическими и магнитными полями.

2. В прозрачных телах взаимодействие с указанным полем отвечает за скорость распространения света и величину коэффициента преломления. В непрозрачных телах особая конфигурация сильного поля провоцирует процессы преобразования энергии фотонов с поглощением атомами; впоследствии энергия рассеивается, но в виде теплового излучения.

Скорость *c* фотонов не может изменяться по определению, но в средах изменяется время прохождения за счет времени преобразования сигнала на входе в среду и выходе из нее, а также за счет удлинения пути при рассеянии.

3. Развертка луча лазера, полученная на щели, представляет собой набор находящихся на одной линии штрихов, длины которых равны длине волны λ луча в пересчете с экрана на щель. Вращение щели вокруг оси, совпадающей с лучом, в плоскости, нормальной к оси, сопровождается поворотом развертки, поэтому штрихи прочерчивают толщины стенок λ вложенных цилиндров. Такая процедура сводится к реакции луча на отверстие.

Центральный штрих пропускался через вторую щель и также был разложен на линию из множества штрихов, длины которых, по понятной причине, были намного меньше λ. Это затем проделано с двумя последующими штрихами меньшей яркости. Следовательно, цилиндры с толщиной стенки λ сами представляют собой пакет вложенных цилиндров. Далее, поскольку разложение штрихов возможно осуществлять во всех направлениях, сами цилиндры не сплошные, но состоят из лучей, диаметр которых много меньше длины волны излучения.

4. Фотоны с поперечным размером, на порядки превышающим размер атома, не могут вызвать фотоэффект; длина волны определяется продольной длиной (вдоль луча) фотона, а не его поперечным размером. Поэтому вторичные штрихи, полученные разверткой первичных, сохраняют исходную частоту и наблюдаются как зеленые штрихи.

5. Нижней границей γ-квантов и верхней для рентгеновских *x*-квантов следует считать энергию электрона 0.511 МэВ (таковые имеются во множестве изотопов) потому, что это эталонная наименьшая величина. Итак, излучение с энергией более 0.511 МэВ можно отнести к категории фотонов – квантов,

поскольку их пара может при фоторождении воспроизвести пару электрон-позитрон. С меньшей уверенностью к фотонам отнесем рентгеновские *x*-кванты с нижней границей $0.5E_0\alpha^1$=3.73 кэВ (λ=4.4 нм), хотя условие равенства размера фотона комптоновской длине еще сохраняется (табл. 4).

6. Фотоны как корпускулы есть те, что образуются при аннигиляции частиц с наименьшей массой, электрон и позитрон. С меньшей энергией – как излучение атомов.

7. Предложена модель, признающая универсальным сильное взаимодействие. Именно оно со своими компонентами определяет процессы, свойственные атомной и молекулярной физике.

Библиографический список

1. Саврухин, А.П. Природа элементарных частиц и золотое сечение: / А.П. Саврухин. – М.: МГУЛ, 2004, – 204 с.
2. Уиттекер, Э. История теории эфира и электричества: Классические теории. / Перевод с английского Н.А. Зубченко. М., Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 512 с.
3. Поль, Р.В. Оптика и атомная физика. – М.: Наука, 1966. – 552 с.
4. Герц, Г.О весьма быстрых электрических колебаниях / Г. Герц // Классики физической науки: в сб. под ред. Г.М. Голина и С.Р. Филоновича. Перевод. с нем. – М.: Высшая школа, 1989.
5. Ньютон, И. Новая теория света и цветов // УФН, 1927. – Вып. 2. – С. 274–285.
6. Гюйгенс, Х. Трактат о свете / Х. Гюйгенс; Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, редакция общетехнической литературы, – М. –Л., 1935, С. 172
7. Максвелл, Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме, т. 2 / Дж. К. Максвелл; Оксфорд, 1873. Пер. с англ. – М.: Наука, 1989. – С. 439
8. Эйлер, Л. Письма к немецкой принцессе о разных физических и философских материях / Л. Эйлер. – С.-Пб.: Наука, 2002. – С. 720
9. Ломоносов, М.В. Полное собрание сочинений. Т. 3 Труды по физике 1753–1765 гг./ М.В. Ломоносов. – М., Л.: Академии наук СССР , 1952. – С. 604.
10. Боголюбов, А.Н. Роберт Гук (1635–1703) / А.Н. Боголюбов. – М.: Наука, 1984. – С. 240.
11. Ньютон, И. Лекции по оптике / И. Ньютон. – М.: АН СССР, 1946. – С. 298.
12. Ньютон, И. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. / Ньютон И. пер. с англ. – М.: Гос. Изд-во технико-теоретической литературы, 1954. – С. 127.
13. Декарт, Р. Избранные произведения. Трактат о свете : пер. с фр. и лат. /Р. Декарт; ред. и вступ. ст. В.В. Соколова. – М.: Госполитиздат, 1950. – С. 712

NATURE OF LIGHT

Savrukhin A.P., Professor, Cand. technical. Sciences Department of Physics MFSU

savrukhin@ya.ru; http://savrukhin.narod.ru/

Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

Provides an overview of the literature on the theoretical sections of optics. Environment light propagation is ether or physical vacuum. Vacuum filling the entire space of the material substance passes without distortion all kinds of interactions, not detect any chemical properties, has the properties of dielectric. Such an environment is not capable of transmitting electromagnetic beaming. It is proved that any radiation is the excitation of the vacuum by a strong field. Formulated the concept: light is spreading with the speed c from the region of excitation of a vacuum by the field, characteristic of strong interaction. The results of the experiments of the author on the study of diffraction and interference of light. It is alleged that in the slit surface is not compensated interatomic forces establish a field lens, optical properties of which are determined by the parameters of the slit. It is like a cylindrical lens, makes the splitting of the laser beam. Investigated the structure of the laser beam. The beam consists of many more subtle rays, each of which also breaks down into even smaller. Limit divisions is the photon. Therefore, light is a stream of photons generated by individual atoms.

Key words: radiation, diffraction, interference light field lens, splitting the laser beam

References

1. Savrukhin A.P. *Priroda elementarnykh chastits i zolotoe sechenie* [Nature of the elementary particles and the Golden section] A. P. Savrukhin. Moscow,2004, 204 p.
2. Uitteker E. *Istoriya teorii efira i elektrichestva : Klassicheskie teorii* [A history of the theories of aether and electricity : the Classical theory] Perevod s angliyskogo N. A. Zubchenko. Moscow – Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2001, 512 p.
3. Pol' R.V. *Optika i atomnaya fizika* [Optics and atomic physics] Moscow, Nauka, 1966, 552 p.
4. Gerts G. O *ves'ma bystrykh elektricheskikh kolebaniyakh* [On a very fast electric oscillations] G. Gerts. Klassiki fizicheskoy nauki: v sb. pod red. G.M. Golina i S.R. Filonovicha. Perevod. s nem. Moscow, Vysshaya shkola, 1989.
5. N'yuton I. *Novaya teoriya sveta i tsvetov* [The New theory of light and color] UFN. 1927, Vypusk 2, pp. 274-285
6. Gyuygens X. *Traktat o svete* [Treatise of light] Kh. Gyuygens; Ob»edinennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo NKTP SSSR, redaktsiya obshchetekhnicheskoy literatury, Moscow, 1935, 172 p.
7. Maksvell Dzh. K. *Traktat ob elektrichestve i magnetizme*, *v*2 [A treatise on electricity and magnetism, so 2] Dzh. K. Maksvell; Oksford, 1873. Per. s angl. Moscow, Nauka, 1989, 439 p.

8. Eyler L. *Pis'ma k nemetskoy printsesse o raznykh fizicheskikh i filosofskikh materiyakh* [Letters to a German Princess on different physical and philosophical matters] L. Eyler; Sankt-Peterburg, Nauka, 2002, 720 p.
9. Lomonosov M.V. *Polnoe sobranie sochineniy*. *Tom* 3 [Complete works. Volume 3] M. V. Lomonosov. Trudy po fizike 1753 – 1765. Moscow-Sankt-Peterburg: Akademii nauk SSSR , 1952, 604 p.
10. Bogolyubov A. N. *Robert Guk* (1635–1703) [Robert Hooke (1635-1703)] A.N. Bogolyubov. Nauka, Moscow. 1984, 240 p.
11. N'yuton I. *Lektsii po optike*[Lectures on optics] I. N'yuton. Moscow, AN SSSR, 1946, 298 p.
12. N'yuton I. *Optika ili traktat ob otrazheniyakh*, *prelomleniyakh*, *izgibaniyakh i tsvetakh sveta*. [Optics or the treatise on the reflections, refractions, bending light and colors.] N'yuton I. Per. s angl. Moscow: Gos. Izd-vo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 1954, 127 p.
13. Dekart R. *Izbrannye proizvedeniya*. *Traktat o svete* [Selected works. The treatise of light] per. s fr. i lat. /R. Dekart; red. i vstup. st. V.V. Sokolova. Moscow, Gospolitizdat, 1950, 712 p.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ КА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ НА ПЕРЕЛЕТНОМ И ОРБИТАЛЬНОМ УЧАСТКАХ ПОЛЕТА

Н.В. ТАРАСЕНКО, *доц., начальник сектора ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», канд. техн. наук,*
Д.Н. ШУЛЬГА, *гл. специалист ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,*
Г.В. КИРИЛЛОВА, *вед. инженер ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,*
В.С. ЛОБАНОВ, *ст. науч. сотр., начальник отдела ФГУП «Центральный научно-исследовательский машиностроения», канд. техн. наук,*
П.А. ТАРАСЕНКО, *проф. каф. информационно-иизмерительной техники и технологий МГУЛ, канд. техн. наук*

vslobanov@yandex.ru, tarasenko@mgul.ac.ru
ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»
141070 Московская обл. г. Королев, ул. Пионерская, д.4
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Бортовые комплексы управления отечественных КА для исследования Луны предназначены для управления движением и управления бортовыми системами КА. Для отработки бортовых алгоритмов и оценки точностных и динамических характеристик БКУ используется разработанный программный комплекс. В статье приведены назначение, структура и состав программного комплекса для моделирования управляемого движения КА для исследования Луны. В состав программного комплекса входят модель возмущенного движения КА (динамическая схема КА и модель внешних возмущений), модели датчиков и исполнительных органов БКУ и бортовые алгоритмы управления. Динамическая схема космического аппарата содержит уравнения движения центра масс, уравнения движения относительно центра масс, уравнения колебаний жидкости и упругих колебаний конструкции. Программные блоки комплекса разработаны в инструментальной среде Delphi 7. Программный комплекс позволяет проводить верификацию бортовых алгоритмов управления, осуществлять проверку полетного задания, оценивать точностные и динамические характеристики бортового комплекса управления, проводить моделирование движения КА в различных нештатных ситуациях. Рассматриваются нештатные ситуации, связанные с отказами измерительных каналов бесплатформенного инерциального блока, звездного и солнечного датчиков, двигателей стабилизации. Для подтверждения заданных точностных характеристик БКУ в рассматриваемых режимах управления предусмотрена возможность проведения статистических расчетов. Статистические расчеты проводятся с учетом разбросов динамической схемы, моделей погрешностей измерительных приборов и исполнительных органов. В статье приводятся результаты тестового моделирования движения КА «Луна-Глоб» в основных режимах работы: успокоения, построения солнечной ориентации, стабилизации, закрутки и выполнения импульса коррекции Математическое моделирование управляемого движения КА позволяет значительно экономить затраты времени на разработку бортового комплекса управления, провести статистическое моделирование и определить точностные и динамические характеристики системы при заданных разбросах параметров динамической схемы КА и погрешностях измерительных приборов и исполнительных органов.

Ключевые слова: бортовой комплекс управления, комплекс математического моделирования, бортовые алгоритмы управления.

Российская программа исследования Луны предполагает до 2020 г. запуск космических комплексов «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс», которые должны доставить на поверхность планеты луноходы, а также проводить научные исследования с орбиты искусственного спутника Луны. Для этих целей разрабатываются посадочные и орбитальный космические аппараты [1].

Бортовой комплекс управления лунных КА разрабатывается как унифицированная система, выполняющая функции управления бортовыми системами и движением КА, в состав которой входят следующие приборы и устройства:

– бортовой вычислительный комплекс, состоящий из БЦВМ и устройств обмена;

– бесплатформенные инерциальные блоки на основе волоконно-оптических гироскопов и кварцевых маятниковых акселерометров (2 шт.);

– малогабаритные звездные датчики (2 шт.);

– солнечные датчики (2шт.);

– комплекс управляющих двигателей маховиков (для орбитального КА);

– доплеровский измеритель дальности и скорости (для посадочных КА).

В качестве исполнительных органов используется двигательная установка в составе корректирующего двигателя для работы на участках коррекции траектории, торможения и спуска, двигатели мягкой посадки и двигатели малой тяги для стабилизации КА, коррекций орбиты и разгрузки маховиков на орбитальном КА [2].

Разработанный программный комплекс моделирования управляемого движения КА для исследования Луны на перелетном и орбитальном участках полета предназначен для:

– верификации бортовых алгоритмов управления движением КА и выбора параметров алгоритмов БКУ;

– оценки точностных и динамических характеристик управляемого движения КА «Луна-Глоб» на активных и пассивных участках орбитального полета;

– проверки полетных заданий для режимов управления БКУ при проведении летных испытаний КА «Луна-Глоб».

В состав программного комплекса математического моделирования входят следующие программные блоки:

– программная модель движения центра масс и относительно центра масс;

– программная модель внешних возмущающих сил и моментов;

– программная модель двигательной установки КА;

– программная модель звездного датчика;

– программная модель солнечного датчика;

– программная модель БИБ;

– программные модели логики работы БКУ в рассматриваемых режимах;

– программные модели бортовых алгоритмов управления движением КА;

– программа обработки полетного задания;

– сервисные программы ввода-вывода информации.

Программные модели логики работы БКУ в режимах и бортовые алгоритмы должны обеспечивать моделирование управляемого движения КА в следующих режимах [3]:

– построения и поддержания солнечной ориентации (ПСО);

– инерциальной ориентации (ИНО);

– коррекции траектории на КТД (КОР-КТД);

– коррекции траектории на ДМТ (КОР-ДМТ).

Программные модели бортовых алгоритмов разрабатывались в соответствии с блок-схемами бортовых алгоритмов управления движением КА, представленных разработчиками БКУ.

Программный комплекс позволяет проводить моделирование с учетом нештатных ситуаций типа «отказ солнечного датчика», «отказ звездного датчика» и «отказ одного из измерительных каналов БИБ», ликвидация которых предусмотрена алгоритмами бортового комплекса управления (БКУ), а также нештатных ситуаций, связанных с отказами одного или нескольких двигателей.

Для подтверждения заданных точностных характеристик БКУ в рассматриваемых режимах управления предусмотрена возможность проведения статистических расчетов. Статистические расчеты проводятся с учетом разбросов динамической схемы, моделей погрешностей измерительных приборов и исполнительных органов. В зависимости от значения признаков могут моделироваться

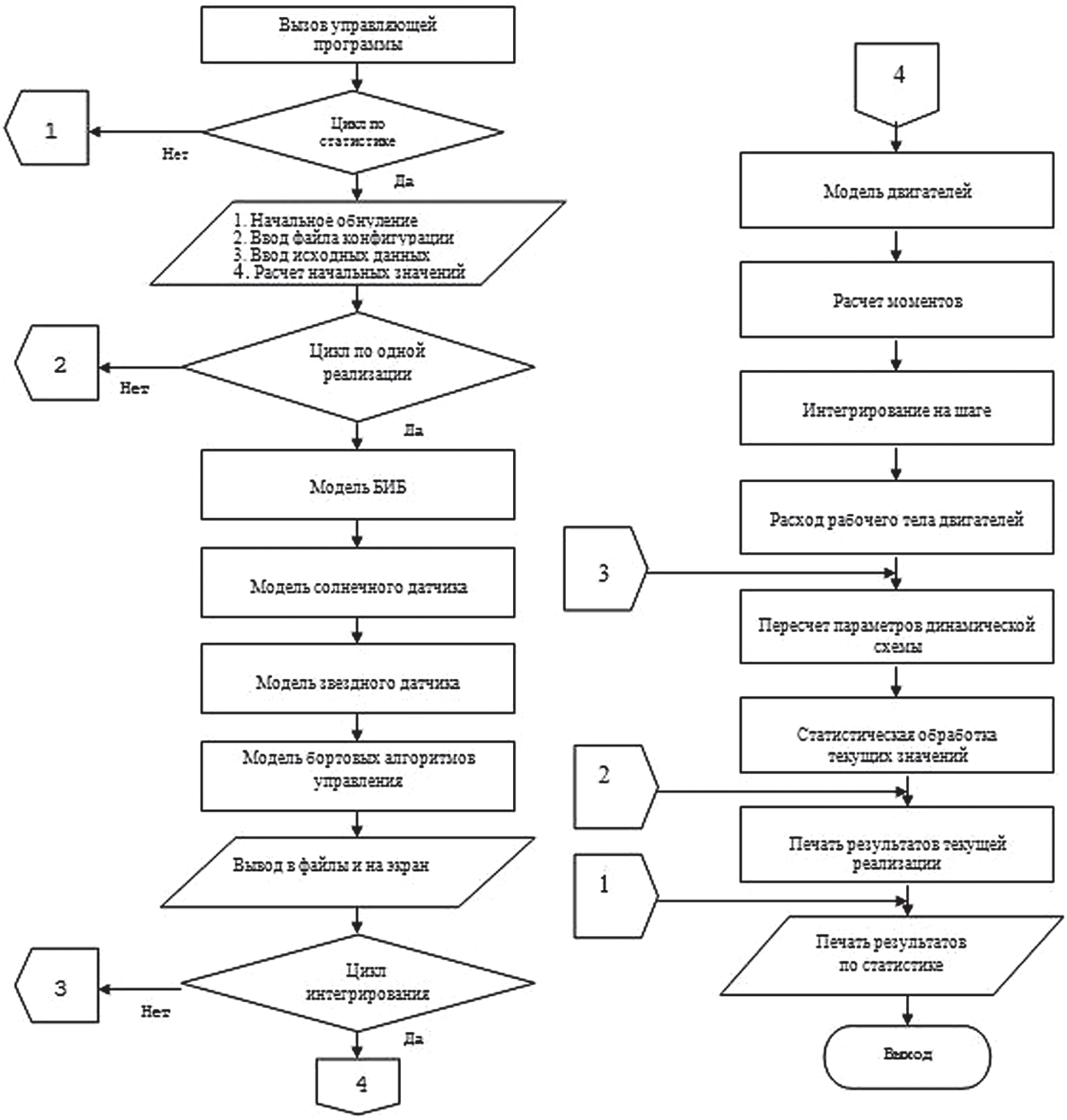


Рис. 1 Структурная схема программного комплекса
Fig. 1. Block diagram of software package

реализации движения КА при максимальных значениях разбросов динамической схемы и погрешностей приборов (случайным образом задаются только знаки разбросов) и разбросах, величины которых задаются по датчику случайных чисел (нормальный закон распределения) в диапазоне ±3σ.

Структурная схема программного комплекса представлена на рис. 1.

Программные блоки разработаны в инструментальной среде Delphi 7 [4].

Информация с датчиков снимается с тактом работы БЦВМ. С таким же тактом рассчитываются управляющие сигналы на двигатели и пересчитываются параметры динамической схемы КА: инерционно-массовые характеристики, положение центра масс, значения коэффициентов осцилляторов. Моделирование движения КА и расчет управляющих и возмущающих сил и моментов осуществляется с более мелким шагом, величина которого зависит от частоты наиболее высо-

кочастотного учитываемого осциллятора. Величина шага моделирования определяется в программе автоматически.

Динамическая схема КА содержит уравнения движения центра масс КА, уравнения движения относительно центра масс, уравнения колебаний жидкости и упругих колебаний конструкции [5]. Программная модель движения КА содержит программный модуль, который моделирует динамическую схему КА, и программный модуль интегрирования уравнений движения. Программная модель позволяет учитывать разбросы инерционно-массовых характеристик КА и коэффициентов осцилляторов. Программная модель внешних возмущений включает в себя гравитационные возмущения, силы и моменты от солнечного давления [6].

Двигательная установка предназначена для создания импульсов тяги при проведении активных маневров КА и создания реактивных управляющих моментов вокруг трех осей космического аппарата по командам, выдаваемым бортовым комплексом управления космического аппарата [7]. В состав двигательной установки входит корректирующий тормозной двигатель (КТД) и двигатели малой тяги (ДМТ) двух номиналов. КТД используется на участках коррекции траектории перелета, торможения, коррекции орбиты и на участке спуска и посадки на поверхность Луны. Более мощные ДМТ (4 шт.) используются для поджатия топлива при запуске КТД, проведении коррекций траектории перелета и орбиты, а также при стабилизации КА на активных участках полета. ДМТ меньшего номинала (8 шт.) используются для проведения программных разворотов и стабилизации КА на пассивных участках полета.

Программная модель двигательной установки учитывает схему расположения двигателей на КА, фронты нарастания и спада тяги, а также импульсы последействия каждого двигателя. Учитывается модель погрешностей по двигателям: погрешности установки, разброс тяги, разброс импульса последействия.

В результате вычисляется суммарный управляющий момент от работы всех двигателей КА. Для этого используется вектор текущего положения центра масс КА в БСК, текущие значения тяг двигателей (0 или 1), таблица сил, таблица координат двигателей в БСК.

Программная модель звездного датчика определяет текущее значение кватерниона от ИСК к ССК КА с учетом модели ошибок прибора, положение оси OZ прибора в ИСК и формирует признак новых измерений [8]. Если угловая скорость КА больше 1°/с, то вычисления не выполняются.

Моделирование ошибок производится в соответствии с признаками ошибок, заданными в файле исходных данных.

Программная модель статического солнечного датчика определяет вектор направления на Солнце в приборной системе координат с учетом модели ошибок прибора.

В результате работы программной модели вырабатывается признак наличия Солнца, признак наличия измерений Солнца, углы α и φ направления на Солнце и единичный вектор направления на Солнце в приборной системе координат [9].

Программная модель бесплатформенного блока включает в себя модель блока 3-х акселерометров, модель блока 3-х волоконно-оптическихгироскопов (с учетом моделей погрешностей), модель угловых погрешностей установки БИБ в базовой системе координат [10].

Модель каждого БИБ использует по два файла исходных данных: файл с параметрами блока акселерометров, блока гироскопов, установки ПСК БИБ и файл паспортизированных значений БИБ. Предполагается, что паспортизированные значения для БИБ будут передаваться через полетное задание (ПЗ), поэтому при работе с реальным ПЗ второй файл не потребуется.

С использованием разработанного программного комплекса было проведено тестовое моделирование управляемого движения КА «Луна-Глоб» в основных режимах работы. На рис. 2 и рис. 3 приведены результаты моделирования движения КА в режиме ПСО на участках поиска, приведения, стабилизации и закрутки. Приводятся графики

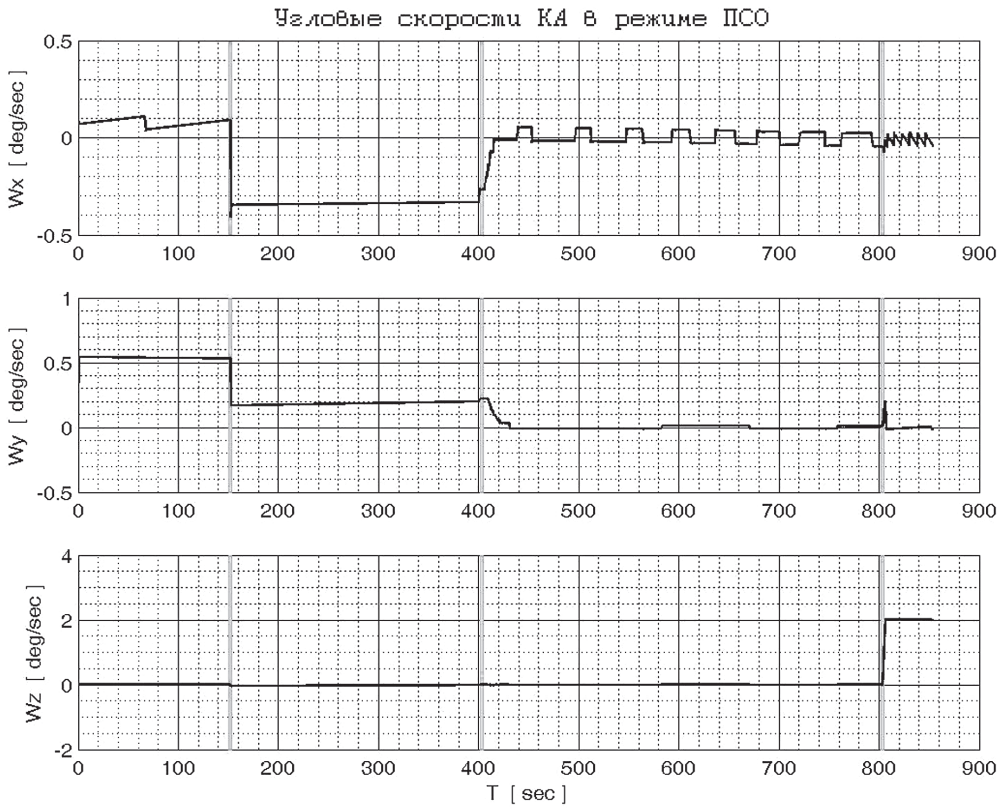


Рис. 2 Режим ПСО
Fig. 2. Mode PSO

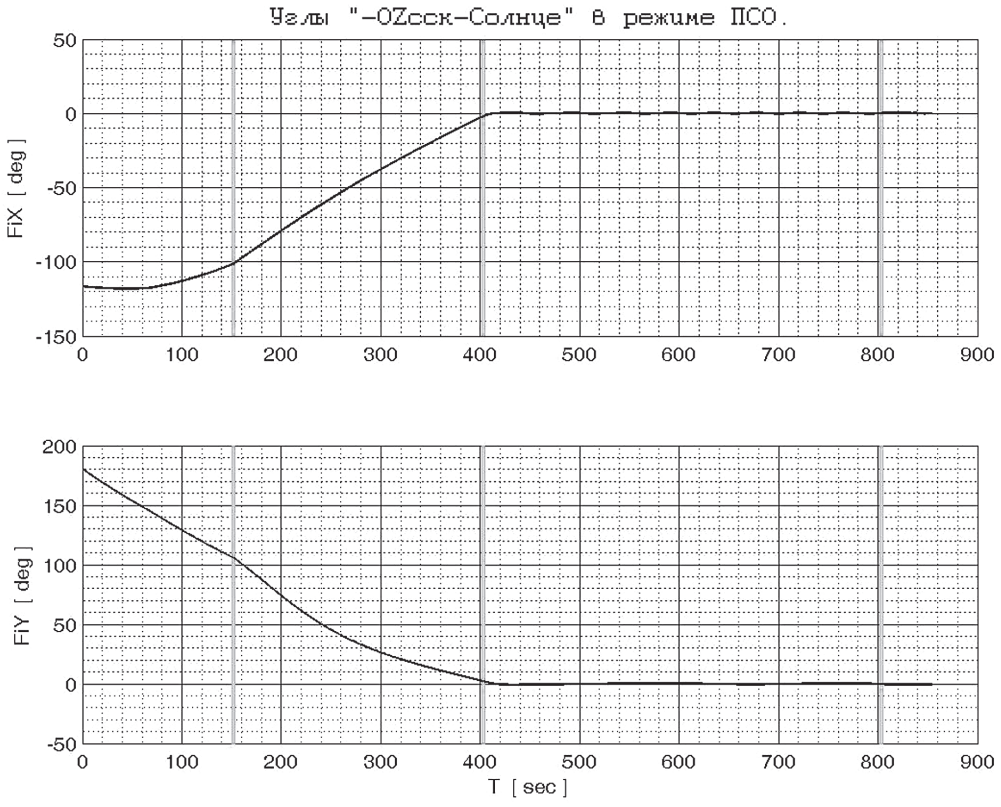


Рис. 3 Режим ПСО
Fig. 3. Mode PSO

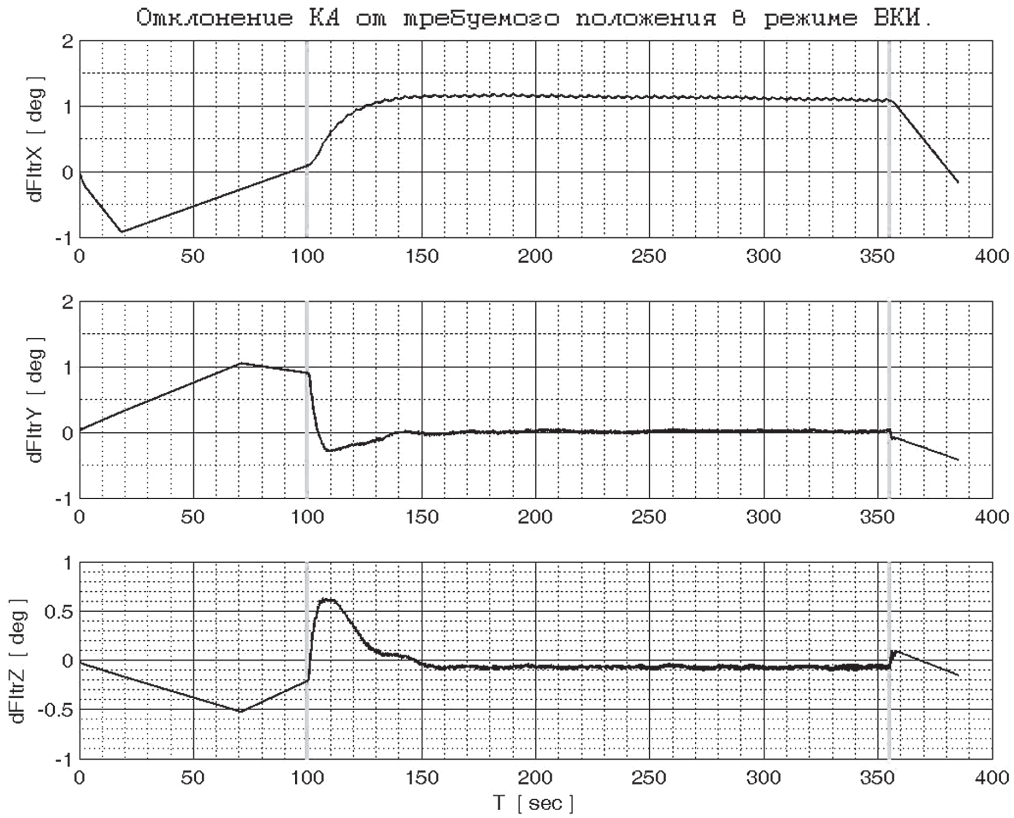


Рис. 4 Режим КОРКТД ΔV=840 м/с
Fig. 4. Mode KORKTD ΔV = 840 m/s

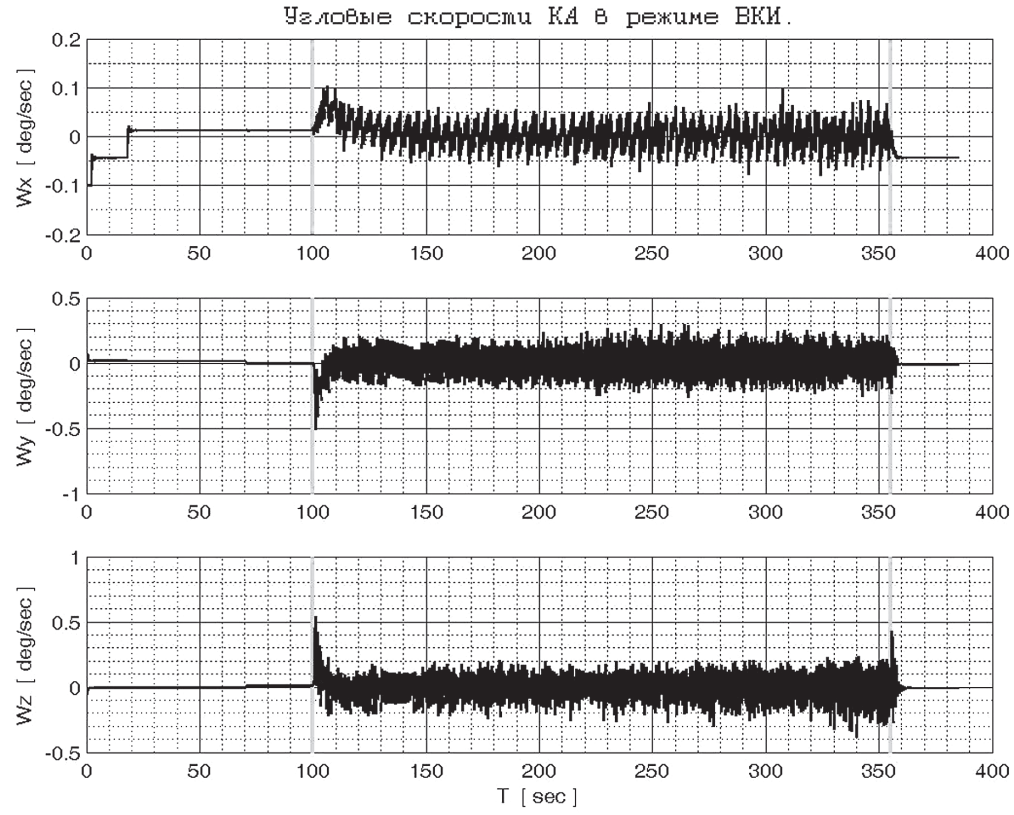


Рис. 5 Режим КОРКТД ΔV=840 м/с
Fig. 5. Mode KORKTD ΔV = 840 m/s

угловых скоростей и углов направления на Солнце в ССК КА: на всем режиме. Границы между участками режима обозначены вертикальными линиями.

На рис. 4 и 5 приведены результаты моделирования движения КА в режиме КОР-КТД на участках стабилизации, работы двигателя, успокоения.

Результаты моделирования практически совпали с аналогичными тестовыми расчетами, проведенными разработчиками БКУ КА «Луна-Глоб» (Протокол по результатам тестирования комплекса математического моделирования для верификации бортовых алгоритмов управления КА «Луна-Глоб» от 20.11.2013 г.)

Выводы

1. Разработанный программный комплекс математического моделирования управляемого движения КА для исследования Луны на перелетном и орбитальном участках полета позволяет проводить:

– верификацию бортовых алгоритмов управления движением КА и выбора параметров алгоритмов БКУ;

– оценку точностных и динамических характеристик управляемого движения КА «Луна-Глоб» на активных и пассивных участках орбитального полета;

– проверки полетных заданий для режимов управления БКУ при проведении летных испытаний КА «Луна-Глоб».

2. В перспективе разработанный программный комплекс может служить основой для создания программных комплексов для моделирования управляемого движения КА дальнего космоса.

Библиографический список

1. Красильщиков, А. Проводим ревизию лунной программы / А. Красильщиков, В. Хартов // Новости космонавтики. – 2012. – № 04(351). – С. 68–70.
2. Лихачев, В.И. Этап основного торможения для выполнения мягкой посадки на поверхность Луны как один из видов коррекции траектории / В.И. Лихачев, Ю.Г. Сихарулидзе, В.П. Федотов // Вестник. Научно-техн. журнал НПО им. С.А. Лавочкина. –2012. – № 5. – С. 27 –34.
3. Разыграев, А.П. Основы управления полетом космических аппаратов и кораблей. – М., 1977. – 472 с.
4. Фаронов, В.В. Delphi. Программирование на языке высокого уровня. – С.-Пб.:Питер, 2010. – 639 с.
5. Раушенбах, Б.В. Управление ориентацией космических аппаратов / Б.В. Раушенбах, Е.Н. Токарь. – М., 1974 г., 600 с.
6. Инженерный справочник по космической технике. Под общ. ред. А.В. Солодова. – М., Воениздат, 1969. – 696 с.
7. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учеб. пос. / А.Г. Бровкин, С.В. Гордийко и др. Под редакцией А.С. Сырова – М.: МАИ-ПРИНТ, 2010. – 304 с.
8. Аванесов, Г.А. Звездный координатор БОКЗ-М и перспективы его развития / Г.А. Аванесов, А.А. Форш, Р.В. Бессонов, Я.Л. Зиман, М.И. Куделин, Р.Г. Залялова // Интегрированные навигационные системы. Мат. XIV Санкт-Петербургской международной конференции, 28–30 мая 2007. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». – 2007. – С. 199.
9. Анучин, О.Н. Бортовые системы навигации искусственных спутников Земли / О.Н. Анучин, И.Э. Комарова, Л.Ф. Порфирьев. – С.-Пб: ГНЦ РФ ЦНИИ Электроприбор, 2004. – 325 с.
10. Korkishko Yu., Fedorov V., Prilutskii V., Ponomarev V., Morev I., Kostritskii S., Zuev A., Varnakov V. Closed loop fiber optical gyroscopes for commercial and space applications // in Proc. Inertial Sensors and Systems – Symposium Gyro Technology 2012, Karlsruhe, Germany, 18–19 September 2012, p.14.1-14.15.

SOFTWARE COMPLEX MATHEMATICAL MODELING OF CONTROLLED MOVEMENT OF SPACECRAFT TO EXPLORE THE MOON ON ROUTE AND ORBITAL FLIGHTS

Tarasenko N.V., Assoc., Head of the Federal State Unitary Enterprise «Central Research Institute of Machine Building», PhD. tehn. Sciences, Shulga D.N., chief specialist FSUE «Central Research Institute of Machine Building», Kirillov G.V., chief engineer of FSUE «Central Research Institute of Machine Building», Lobanov V.S., Senior Researcher, Head of the Federal State Unitary Enterprise «Central Research Engineering», PhD. tehn. Sciences, Tarasenko P.A., prof. Univ. measuring equipment and information technology MGUL, PhD. tehn. Sciences

vslobanov@yandex.ru, tarasenko@mgul.ac.ru

FSUE «Central Research Institute of Machine Building» 141070 Moscow region. Korolev str. Pioneer, 4

Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

On-board control complexes of Russian spacecraft to explore the moon are designed to con-trol the movement and management of on-Board systems of the spacecraft. For testing onboard al-gorithms and evaluation of precision and dynamic characteristics of on-board control complex use the complex of mathematical simulation. The paper presents the purpose, structure and composi-tion software for the simulation of controlled motion of spacecraft to explore the moon. The com-plex of mathematical simulation includes a model of the perturbed motion of spacecraft (space-craft dynamic scheme and model of external disturbances), models of sensors and actuators of the on-board control complex and onboard control algorithms. Dynamic scheme spacecraft contains the center of mass equation, the equation of motion with respect to the center of mass, the wave equation fluid and elastic structural oscillations. Program blocks developed complex instrumental in Delphi 7 environment. The complex of mathematical simulation allows you to verify on-Board control algorithm, to examine the flight task, to assess accuracy and dynamic characteristics on-board control com-plex, simulate spacecraft motion in various emergency situations. Considered contingencies associ-ated with failures of measuring channels inertial unit, stellar and solar sensors, actuators. To confirm the accuracy characteristics of the on-board control complex specified in the main modes operation provides the possibility of statistical calculations. Statistical calculations were carried out taking into account the parameters spread dynamic scheme of spacecraft, models instrumentation errors of sensors and actuators. The results of the test simulating the movement of "Luna-Glob" in the main modes of opera-tion: calm, build solar orientation, stabilization, spin and perform pulse correction present in the pa-per. Mathematical modeling managed spacecraft motion can significantly save development time onboard control complex, a statistical modeling to determine accuracy and dynamic characteristics of the system under the given parameter spread dynamic scheme spacecraft and instrumentation er-rors sensors and actuators.

Key words: on-Board control complex, a complex of mathematical simulation, on-Board control algorithms

References

1. Krasilshikov. A., Khartov V. *Provodim reviziyu lunnoy programmy* [Making the revision of lunar program]. *Novosti kosmonavtiki*. 2012. № 04(351). pp. 68-70.
2. Likhachev V.N., Sikharulidze Yu.G., Fedotov V.P. *Etap osnovnogo tormozheniya dlya vypolneniya myagkoy posadki na poverkhnost' Luny kak odin iz vidov korrektsii traektorii* [Main braking phase for soft Moon landing as a form of trajectory correction]. *Vestnik NPO im. S.A.Lavochkina* [Cosmonautics and Rocket Engineering]. 2012. № 5. pp. 27-34.
3. Razigraev A.P. *Osnovy upravleniya poletom kosmicheskikh apparatov i korabley* [The fundamentals of space spacecrafts and space ships motion control]. Moscow, 1977, 472 p.
4. Faronov V.V. *Delphi. Programmirovanie na yazyke vysokogo urovnya* [Delphi. High-level language programming]. Saint Petersburg. Piter, 2010. 639 p.
5. Raushenbakh B.V., Tokar E.N. *Upravlenie orientatsiey kosmicheskikh apparatov* [The control of space vehicles orientation]. Moscow, 1974. 600 p.
6. *Inzhenernyy spravochnik po kosmicheskoy tekhnike* [Engineering reference book on space technics. Under edition of A.V. Solodov]. Moscow, Voenizdat, 1969, 696 p.
7. Brovkin A.G., Gordiyko S.V. *Bortovye sistemy upravleniya kosmicheskimi apparatami* [Onboard control systems of space vehicles/ Under edition of A.S. Sirov. Moscow. Publishing house MAI-PRINT, 2010. 304 p.
8. Avanesov G.A., Forsh A.A., Bessonov R.V., Ziman Ya.L., Kudelin M.I., Zalyalova R.G. *Zvezdnyy koordinator BOKZ-M i perspektivy ego razvitiya* [BOKZ-M star tracker and its development prospects]. Proceedings of The 14th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. The State Research Center of the Russian Federation – Concern Central Scientific and Research Institute Elektropribor, JSC on 28–30 May 2007. p.199.
9. Anuchin O.N., Komarova I.E., Porfiryev L.F. *Bortovye sistemy navigatsii iskusstvennykh sputnikov Zemli* [Onboard navigation systems of the artificial Earth satellites]. The State Research Center of the Russian Federation. CSRI Elektropribor. Saint Petersburg. 2004. 325 p.
10. Korkishko Yu., Fedorov V., Prilutskii V., Ponomarev V., Morev I., Kostritskii S., Zuev A., Varnakov V. Closed loop fiber optical gyroscopes for commercial and space applications in Proc. Inertial Sensors and Systems. Symposium Gyro Technology 2012, Karlsruhe, Germany, 18-19 September 2012, p.14.1-14.15.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

А.В. ТРЕГУБ, *доц. каф. прикладной математики Финансового университета при Правительстве РФ, канд. ф.-м. наук,*
И.В. ТРЕГУБ, *проф. каф. моделирования экономических и информационных систем Финансового университета при Правительстве РФ, д-р экон. наук*

tregub50@mail.ru, ilonavl_fa@mail.ru,
ФГОБУВПО Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
125993, г. Москва, Ленинградский проспект д.49

Для устойчивого развития российской экономки и достижения запланированных Правительством показателей необходимо четкое представление о механизмах функционирования системы в целом и отдельных ее частей. Именно поэтому грамотное прогнозирование основных показателей развития отраслей российской экономики с определением ключевых факторов, влияющих на нее, особенно актуально на современном этапе. К сожалению, на сегодняшний день, прогнозирование экономических показателей развития телекоммуникационной отрасли и компаний, ее образующих, осуществляется преимущественно с использованием вербальных методов, основными недостатками которых является невозможность получения обоснованных количественных результатов, отражающих динамику показателей развития. Такой подход может быть связан с недостаточным пониманием возможностей математического моделирования для решения экономических задач. Представленная статья направлена на преодоление этих трудностей. В работе кратко излагается методика построения прогнозных моделей характеристик системы, которая иллюстрируется на решении задачи прогнозирования финансово-экономических показателей телекоммуникационной компании. В представленной работе прогнозирование показателей осуществляется на основе разработки математической модели развития. Построение модели начинается с обоснования спецификации модели, включающей как вербальное описание объекта исследования, так и последующее представление процесса функционирования изучаемого объекта в виде математических формул. Данный подход позволил выявить ключевые показатели развития компании телекоммуникационного сектора и управляющие переменные, воздействие на которые поможет привести к достижению запланированных финансово-экономических показателей, а также получить конкретные количественные результаты.

Ключевые слова: эконометрические модели, прогнозирование рынка телекоммуникаций.

Развитие российской экономики на современном этапе характеризуется переходом от сырьевой направленности к инновационному этапу, ориентированному на внедрение высоких технологий во все отрасли народного хозяйства.

Как отмечено в «Концепции долгосрочного социально-экономического развития российской федерации на период до 2020 года», инновационный социально ориентированный тип экономического развития Российской Федерации должен опираться как на модернизацию сырьевых секторов российской экономики, так и на формирование новой экономики знаний и высоких технологий, в которой отрасль связи и телекоммуникаций должна занимать передовые позиции.

Для устойчивого развития российской экономки и достижения запланированных Правительством показателей необходимо четкое представление о механизмах функционирования системы в целом и отдельных ее частей. Именно поэтому грамотное прогнозирование основных показателей развития отраслей российской экономики с определением ключевых факторов, влияющих на нее, особенно актуально на современном этапе.

Прогнозирование показателей осуществляется на основе построения математической модели развития отрасли. Построение модели начинается с разработки спецификации модели, включающей вербальное описание объекта исследования с последующим представлением процесса его функционирования в виде математических формул. Важно четко *сформулировать и обозначить проблему*, стоящую перед исследователем, а также выявить все значащие факторы и закономерности, характеризующие функционирование системы.

Для того чтобы разработанная математическая модель была пригодна для прогнозирования показателей развития отрасли, необходимо собрать статистические данные об объекте-оригинале. В дальнейшем эта информация подвергается обработке при помощи *корреляционного анализа*, позволяющего определить тесноту и направление связи

между изучаемыми показателями и/или *регрессионного анализа*, который заключается в определении аналитического выражения связи зависимой случайной величины Y (называемой также *результативным признаком* или *эндогенной переменной*) с независимыми случайными величинами X_1, X_2,..., X_m (называемыми также *факторами* или *экзогенными переменными*) [1].

Форма связи результативного признака Y с факторами $X_1, X_2,...,X_m$ получила название *уравнения регрессии*. В зависимости от типа выбранного уравнения различают *линейную* и *нелинейную* регрессию (в последнем случае возможно дальнейшее уточнение: квадратичная, экспоненциальная, логарифмическая и т. д.).

В зависимости от числа взаимосвязанных признаков различают *парную* и *множественную* регрессию. Если исследуется связь между двумя признаками (результативным и факторным), то регрессия называется *парной*, если между тремя и более признаками – *множественной* (*многофакторной*) регрессией.

Уравнение линейной множественной регрессии имеет вид

$$\hat{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_3 + ... + a_mx_m, \qquad (1)$$

где $\hat{y}$ – оцененные при помощи модели значения результативного признака, полученные путем подстановки соответствующих значений факторных признаков в уравнение регрессии;

$x_1,..., x_m$ – значения факторных признаков;

$a_0,\ldots,a_m$ – параметры уравнения (коэффициенты регрессии).

Параметры уравнения регрессии могут быть оценены с помощью *метода наименьших квадратов*. Сущность данного метода заключается в нахождении параметров модели (a_i), при которых минимизируется сумма квадратов отклонений эмпирических (фактических) значений результативного признака от теоретических, полученных по выбранному уравнению регрессии [2], т. е.

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2 = \\ = \sum_{i=1}^{n}\left(y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - ... - a_m \cdot x_{m_i}\right)^2 \to \min. \qquad (2)$$

Рассматривая S в качестве функции параметров a_i, и проводя математические преобразования (дифференцирование), получаем систему нормальных уравнений с m неизвестными (по числу параметров a_i)

$$\begin{cases} n \cdot a_0 + a_1 \cdot \sum x_1 + ... + a_m \cdot \sum x_m = \sum y \\ a_0 \cdot \sum x_1 + a_1 \cdot \sum x_1^2 + ... + a_m \cdot \sum x_1 \cdot x_m = \sum y \cdot x_1 \\ ..... \\ a_0 \cdot \sum x_m + a_1 \cdot \sum x_1 \cdot x_m + ... + a_m \cdot \sum x_m^2 = \sum y \cdot x_m \end{cases}, \qquad (3)$$

где n – число наблюдений;

m – число факторов в уравнении регрессии.

Решением системы уравнений являются значения параметров a_i, являющихся коэффициентами искомого теоретического уравнения регрессии.

Для определения величины степени стохастической взаимосвязи результативного признака $\boldsymbol{Y}$ и факторов $\boldsymbol{X}$ необходимо оценить вторые моменты:

• *общую дисперсию* результативного признака Y, отображающую влияние как основных, так и остаточных факторов

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2}{n}, \qquad (4)$$

где $\bar{y}$ – среднее значение результативного признака Y

• *факторную дисперсию* результативного признака Y, отображающую влияние только основных факторов

$$\sigma_f^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{y}_i - \bar{y}\right)^2}{n}, \qquad (5)$$

• *остаточную дисперсию* результативного признака Y, отображающую влияние только остаточных факторов

$$\sigma_o^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2}{n-(m+1)}. \qquad (6)$$

При корреляционной связи результативного признака и факторов выполняется соотношение

$\sigma^2_f < \sigma^2_y$ при этом $\sigma^2_y = \sigma^2_f + \sigma^2_0$

Для анализа общего качества уравнения линейной многофакторной регрессии используют обычно *множественный коэффициент детерминации* R^2, называемый также квадратом *коэффициента множественной*

корреляции R. Множественный коэффициент детерминации рассчитывается по формуле

$$R^2 = \sigma^2_f / \sigma^2_y \quad (7)$$

и определяет долю вариации результативного признака, обусловленную изменением факторных признаков, входящих в многофакторную регрессионную модель.

Поскольку на практике уравнение регрессии обычно оценивается на основе выборочных наблюдений, то возникает вопрос об объясняющей способности построенного уравнения. Для проверки качества спецификации разработанной модели и проверки значимости коэффициента детерминации R^2 проводится тестирование модели на основе F – критерия Фишера

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m}, \quad (8)$$

где n – число наблюдений;

m – число факторов в уравнении регрессии.

Примечание. Если в уравнении регрессии свободный член $a_0 = 0$, то числитель $n–m–1$ следует увеличить на единицу, т.е. он будет равен $n–m$.

В математической статистике доказывается, что если гипотеза H_0: $R^2=0$ выполняется, то величина F имеет F-распределение с $k = m$ и $l=n–m–1$ числом степеней свободы, т.е.

$$\frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} = F\left(k = m, l = n-m-1\right). \quad (9)$$

Гипотеза H_0: $R^2=0$ о незначимости коэффициента детерминации R^2 отвергается, если $F>F_{кр}$

При значениях $R^2 > 0{,}7$ считается, что вариация результативного признака обусловлена в основном влиянием включенных в регрессионную модель факторов X.

Для оценки адекватности уравнения регрессии часто [1–3] также используют показатель *средней ошибки аппроксимации*

$$\overline{\varepsilon} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{\left|y_i - \hat{y}_i\right|}{y_i} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Возможна ситуация, когда часть вычисленных коэффициентов регрессии не обладает необходимой степенью значимости, т.е. значения данных коэффициентов будут меньше их стандартной ошибки. В этом случае такие коэффициенты должны быть исключены из уравнения регрессии. Поэтому проверка адекватности построенного уравнения регрессии наряду с проверкой значимости коэффициента детерминации R^2 включает также и проверку значимости каждого коэффициента регрессии.

Значимость коэффициентов регрессии проверяется с помощью t-критерия Стьюдента

$$t = a_i / \sigma_{ai}, \quad (11)$$

где σ_{ai} – стандартное значение ошибки для коэффициента регрессии.

В математической статистике доказывается, что если гипотеза H_0: $a_i=0$ выполняется, то величина t имеет распределение Стьюдента с $k = n–m–1$ числом степеней свободы.

Гипотеза H_0: $a_i = 0$ о незначимости коэффициента регрессии отвергается, если $|t_p| > |t_{кр}|$.

Кроме того, зная значение $t_{кр}$, можно найти границы доверительных интервалов для коэффициентов регрессии

$$a_i^{\min} = a_i - t_{кр}\,\sigma_{ai},\ a_i^{\max} = a_i + t_{кр}\,\sigma_{ai}. \quad (12)$$

При экономической интерпретации уравнения регрессии также широко используются *частные коэффициенты эластичности*, показывающие, на сколько процентов в среднем изменится значение результативного признака при изменении значения соответствующего факторного признака на 1 %, и определяемые по формуле

$$Э_{X_i} = a_i \frac{\overline{x}_i}{\overline{y}}, \quad (13)$$

где $\overline{x}$ – среднее значение соответствующего факторного признака;

$\overline{y}$ – среднее значение результативного признака;

a_i – коэффициент регрессии при соответствующем факторном признаке.

Следует отметить, что процедура применения метода наименьших квадратов при оценивании регрессионной модели позволяет получить состоятельные несмещенные эффективные оценки только в том случае, когда выполнены условия теоремы Гаусса–Маркова, а именно:

1) Математическое ожидание случайной величины ε_t равно нулю

$$E(\varepsilon_1) = E(\varepsilon_2) = \ldots = E(\varepsilon_n) = 0, \quad (14)$$

2) Дисперсия случайной величины ε_t постоянна (случайные возмущения *гомоскедастичны*)

$$Var(\varepsilon_1) = Var(\varepsilon_2) = ... = Var(\varepsilon_n) = \sigma^2, \quad (15)$$

3) Случайные возмущения некоррелированы между собой

$$Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 \text{ при любом } i \neq j, \quad (16)$$

4) Случайные возмущения некоррелированы с объясняющими переменными

$$Cov(x_{ki}, \varepsilon_i) = 0 \text{ при всех значениях } k = 1,...m;\ i \text{ и } j. \quad (17)$$

При этом ε_t должна быть независимой случайной величиной и иметь нормальный закон распределения.

Отметим, что после получения оценок коэффициентов модели, помимо тестирования модели, необходимо проверить выполнение условий теоремы Гаусса–Маркова, а также согласие распределения случайных остатков модели нормальному закону распределения вероятности.

Показатель средней ошибки аппроксимации вычисляется по формуле

$$\overline{\varepsilon} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}\cdot 100\%. \quad (18)$$

Позволяет сделать вывод о точности модели.

Приведенная выше методика анализа динамики системы применима для прогнозирования различных показателей разных отраслей экономики России [4–10].

Продемонстрируем приведенную выше методику для прогнозирования показателей развития телекоммуникационной отрасли российской экономики.

В качестве исследуемого финансово-экономического показателя развития выберем выручку крупнейшей ИТ-компании. В результате проведенных на начальном этапе исследований для всех рядов данных были отобраны наиболее значимые показатели, влияющие на изучаемую величину и отражающие как внутренние характеристики системы, такие как средства, затрачиваемые компанией на рекламу своих услуг (X_1), численность персонала организации (X_2), так и макроэкономическое окружение, к которым относятся размер инвестиций в основной капитал российских компаний (X_3), прибыль всех крупных и средних организаций в России (X_4) и финансовый результат деятельности крупных и средних российских организаций (X_5).

На основе отобранных факторов была оценена линейная модель множественной регрессии, уравнение которой приведено ниже

$$V_t = \underset{(83,8)}{503,07}\cdot X_{1,t-4} + \underset{(23,9)}{46,1}\cdot X_{3,t} - \underset{(0,04)}{0,09}\cdot X_{4,t-2} + \underset{(41700)}{\varepsilon_t}, \quad (19)$$

где $X_{1,t-4}$ – расходы на рекламу четыре квартала назад;

$X_{3,t}$ – величина инвестиций в основной капитал в текущем периоде;

$X_{4,t-2}$ – прибыль российских организаций;

ε_t – случайные возмущения.

В круглых скобках под значениями коэффициентов приведены значения стандартных ошибок коэффициентов и оценка дисперсии случайного возмущения.

Полученные оценки коэффициентов эконометрической модели позволяют сделать вывод о направлении и силе влияния регрессоров на объясняемую переменную.

Тест Jarque-Bera с нулевой гипотезой о том, что случайные возмущения распределены нормально, и тест Уайта с нулевой гипотезой, согласно которой гетероскедастичность отсутствует, позволяют сделать вывод о том, что случайные возмущения данной модели являются нормально распределенными и гомоскедастичными.

Статистика Дарбина–Уотсона равна 1,96. Это позволяет сделать вывод об отсутствии автокорреляции случайного возмущения, поскольку критические точки d_1 и d_u при девяти наблюдениях, трех объясняющих переменных и уровне значимости 0,01 равны соответственно 0,279 и 1,873.

Коэффициенты при объясняющих переменных были проверены при помощи *t*-статистики Стьюдента и оказались значимыми.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,89$ свидетельствует о высокой объясняющей способности регрессоров. *F*-тест подтверждает высокое качество спецификации модели.

Проведенные тесты показали хорошее качество модели и выполнение всех предпо-

сылок теоремы Гаусса–Маркова, вследствие чего оценивание коэффициентов производилось при помощи метода наименьших квадратов.

Оцененная модель была проверена на адекватность. Значения из контролирующей выборки попали в доверительный интервал, что дало основание признать оцененную модель адекватной.

Рассмотрение модели показывает, что переменные, характеризующие расходы на рекламу ($X_{1,t-4}$) и прибыль всех крупных и средних организаций в России ($X_{4,t-2}$), имеют лаговые значения. Значения регрессора $X_{3,t}$, показывающего размер инвестиций в основной капитал, относятся к текущему моменту времени. Анализ модели также позволяет выявить управляющую переменную, которой является величина расходов на рекламу, совершенных четыре квартала назад.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на выручку в текущем квартале оказывают расходы на рекламу, осуществленные четыре квартала назад, инвестиции в основной капитал, совершенные в том же периоде, и прибыль крупных и средних организаций в России.

Вместе с тем, анализ показывает, что не все переменные модели одинаково эффективно позволяют добиться увеличения прибыли компании телекоммуникационного сектора.

Так, каждая тысяча рублей, потраченная на рекламу в текущем периоде, принесет компании дополнительный доход год или четыре периода, равный 503 тыс. руб.

При увеличении инвестиций в основной капитал в целом компаниями российской экономики на 1 млрд руб. выручка в ИТ-секторе для изучаемой компании увеличится всего лишь на 46 тыс. руб.

Кроме того можно утверждать, что выручка компании в следующем квартале превысит 230 млн руб. Ожидаемое значение выручки за следующий квартал находится на уровне 279,5 млн руб., что уступает ее значению в текущем периоде на 70 млн руб., однако все же является достаточно высоким по отношению к остальным прошедшим периодам.

В качестве итога работы следует отметить, что объективное внедрение математических методов при прогнозировании развития отраслей российской экономики, в том числе и рынка ИКТ, служит неотъемлемой частью анализа динамики развития российской экономики. Математические модели занимают устойчивою позицию в развитии почти любой системы, поскольку дают возможность описать и изучить процессы, происходящие в реальности.

Библиографический список

1. Трегуб, И.В. Математические модели динамики экономических систем. – М.: Финакадемия, 2009. – 120 с.
2. Трегуб, И.В. Прогнозирование экономических показателей на рынке дополнительных услуг сотовой связи. – М.: ПСТМ, 2009. – 196 с.
3. Трегуб, А.В. Методика прогнозирования показателей стохастических экономических систем / А.В. Трегуб, И.В. Трегуб // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2008. – № 2. – С. 144–151.
4. Трегуб, И.В. Анализ современного состояния и перспективы развития рынка телекоммуникаций // Телекоммуникации. – 2008. – № 10. – С. 40–43.
5. Трегуб, И.В. Моделирование инфляционных процессов в российской экономике. // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 1. – С. 86–87.
6. Трегуб, А.В. Построение математической модели работы предприятия в условиях изменяющихся налоговых ставок // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. – 2009. – № 6(69). – С. 139–143.
7. Трегуб, А.В. Использование ARMA моделей для анализа поведения временных рядов. // Обозрение прикладной и промышленной математики. – М., 2011, Т. 18. – Вып. 1. – С. 152–153.
8. Трегуб, А.В. Методика построения модели ARIMA для прогнозирования динамики временных рядов / А.В. Трегуб, И.В. Трегуб // Вестник МГУЛ – Лесной вестник.– 2011. – № 5(81) – С. 179–184.
9. Трегуб, А.В. Применение моделей с авторегрессионно распределенными запаздываниями для прогнозирования динамики финансовых временных рядов. // Обозрение прикладной и промышленной математики. – М., 2012. – Т. 19. – Вып. 2. – С. 281–282.
10. Трегуб, А.В. Использование VAR моделей для анализа поведения фондовых рынков.// Обозрение прикладной и промышленной математики. – М., 2013. – Т. 20. – Вып.2. – С. 185–186.

THE METHODS OF PREDICTING THE MAIN INDICATORS OF DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN ECONOMY

Tregub A.V., PhD. in Physics and Mathematics, senior lecturer, Department of Applied Mathematics, Financial University under the Government of the Russian Federation 49, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125993, Tregub I.V., ScD. in Economics, professor, Modelling of Economic and Information Systems Department, Financial University under the Government of the Russian Federation

tregub50@mail.ru, ilonavl_fa@mail.ru
Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education Financial University under the Government of the Russian Federation 49, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125993

For sustainable development of the Russian economy and for achieving the planned dy Government indicators, it is necessary to clear understand the function mechanisms of the system as a whole and its parts in particular. That is why reliable forecasting of the main indicators of development of the Russian economy with the definition of the key factors affecting it, is especially important at the present stage. Unfortunately, at the present moment, the forecasting of economic development indicators of telecommunications industry and the companies that compose it, is carried out mainly using verbal methods, the main disadvantage is the inability to obtain reasonable quantitative results, reflecting the dynamics of development. Such an approach may be associated with a lack of understanding the possibilities of mathematical modeling for solving economic problems. Presented article aims to overcome these difficulties. The paper outlines the procedure for constructing predictive models of system performance, which is illustrated on the task of forecasting financial and economic indicators Telecommunications Company. In this work, performance prediction is based on the development of mathematical model development. Construction of the model begins with the study of model specification, including both verbal description of the study and the subsequent presentation of the functioning of the studied object in the form of mathematical formulas. This approach allowed us to identify key indicators of the development of the telecommunications sector and the control variables, the impact of which will lead to the achievement of planned financial and economic indicators, as well as get specific quantitative results.

Key words: Econometric Models, Forecasting the Telecommunications Market

Reference

1. Tregub I.V. *Matematicheskie modeli dinamiki ekonomicheskikh sistem* [Mathematical models of the dynamics of economic systems]. Moscow. Finance Academy, 2009. 120 p.
2. Tregub I.V. *Prognozirovanie ekonomicheskikh pokazateley na rynke dopolnitel'nykh uslug sotovoy svyazi* [Forecasting of the economic indicators in the VAS market]. Moscow. PSTM, 2009. 196 p.
3. Tregub A.V., Tregub I.V. *Metodika prognozirovaniya pokazateley stokhasticheskikh ekonomicheskikh sistem* [The method of predicting performance of stochastic economic systems]. Bulletin of Moscow State University of Forest – Forestry Bulletin. 2008. № 2. pp. 144-151.
4. Tregub I.V. *Analiz sovremennogo sostoyaniya i perspektivy razvitiya rynka telekommunikatsiy* [Analysis of the current state and prospects of development of the telecommunications market]. Telecommunications. 2008. № 10. pp. 40-43.
5. Tregub I.V. *Modelirovanie inflyatsionnykh protsessov v rossiyskoy ekonomike* [Modelling of inflation in the Russian economy]. Basic research. 2009. № 1. pp. 86-87.
6. Tregub A.V. *Postroenie matematicheskoy modeli raboty predpriyatiya v usloviyakh izmenyayushchikhsya nalogovykh stavok* [Construct a mathematical model of the enterprise in terms of changing tax rates]. Bulletin of Moscow State Forest University – Forestry Bulletin, 2009 № 6 (69), p. 139-143.
7. Tregub A.V. *Ispol'zovanie ARMA modeley dlya analiza povedeniya vremennykh ryadov* [Using ARMA models to analyze the behavior of time series]. Review of Industrial and Applied Mathematics, Moscow, 2011, Volume 18, Issue 1, p. 152-153.
8. Tregub A.V. Tregub I.V. *Metodika postroeniya modeli ARIMA dlya prognozirovaniya dinamiki vremennykh ryadov* [The method of constructing an ARIMA model to predict the dynamics of the time series]. Bulletin of Moscow State University of Forest – Forestry Bulletin. 2011, № 5 (81), p. 179-184 .
9. Tregub A.V. *Primenenie modeley s avtoregressionno raspredelennymi zapazdyvaniyami dlya prognozirovaniya dinamiki finansovykh vremennykh ryadov* [Application of models with autoregressive distributed lag -tions to predict the dynamics of financial time series]. Review of Industrial and Applied Mathematics, Moscow, 2012, Volume 19, Issue 2, p. 281-282.
10. Tregub A.V. *Ispol'zovanie VAR modeley dlya analiza povedeniya fondovykh rynkov* [Using VAR models to analyze the behavior of stock markets]. Review of Applied and Industrial Mathematics, Moscow, 2013, Volume 20, Issue 2, p. 185-186.

THE INFLUENCE OF AN AUTHOR'S LIFE ON HIS WRITINGS ON THE BASIS OF J. G. BALLARD'S SHORT STORIES

А.А. КОСАРИНА, *филологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова,*
А.Е. ФЕДОТОВА, *филологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова*

alexa7979@yandex.ru
119991, Москва, Ленинские горы, ГСП-1, МГУ имени М. В. Ломоносова, 1-й ГУМ, филологический факультет

Дж. Дж. Баллард прожил долгую жизнь, у него был богатый жизненный опыт, включающий войну, насилие, смерть любимой жены. Как мы предполагаем, в этом случае его богатый опыт не мог не быть отражен в работах. В статье мы анализируем некоторые рассказы (из The Short stories by J. G. Ballard) и, основываясь на интервью с автором и его автобиографии, мы доказываем, что многое в работах Балларда связано с событиями, происходившими в его жизни. Мы решили выделить следующие особенности, логически выделяемые в тексте: хорошего конца не может быть, часты темы, связанные с насилием, сексом и наркотиками, отрицательное отношение к цивилизации, использование специализированных терминов, связанных с медициной, особые отношения с женщинами, замкнутое пространство. На примере рассказа «Единица особой заботы», где видим общество будущего, где люди общаются только с помощью высоких технологий и телевизоров, общества кажущейся утопии (люди не видят проблем других за макияжем и режиссерской работой), мы доказываем наши положения – единственная семья, семья успешного врача, которая пытается встретиться вне телевизионного пространства, самоуничтожается – ее члены убивают друг друга. Цивилизация лишает людей способности жить в реальности, с одной стороны, ослабляя их кажущимся благополучием, с другой стороны, вызывая мысль о насилии (сравните с военным Китаем и благополучной Англией, которые видел Баллард еще в юности).

Ключевые слова: Баллард, биография Балларда, жизнь через работы, антиутопия, короткие рассказы

There is a widely spread opinion, that authors often write about the events and situations they took part in or witnessed. Of course they do not necessarily describe all their experience and express their opinion, though this «method» is popular enough, they can take some part of a real-life situation and for example make it the basis for the plot, authors either can create their characters who reflect real people.

However the most interesting thing in our opinion is to find and highlight the hidden hints ON the life of the author. For example we can come across the repeating symbol or landscape and here comes the time to stop and to think: why does the author like it so much? Why is it so important and meaningful? Maybe it has some hidden sense and is actually a part of author's life experience he wants to share with the reader.

James G. Ballard is not an exception here. He lived a long life and had rich life experience, including acquaintance with war and violence, death of his beloved wife. As we suppose, in this case his rich life experience had nothing but to be reflected in his works. In our article we are going to analyze some of them and basing on our conclusions together with the interviews with Ballard and on his autobiography we are going to prove that a great number of his works is closely connected with the events that actually took place in his life.

To begin with let us have a look at the interview with Ballard named "Marinaded in war and violence" by Philip Dodd.

According to Philipp Dodd we find out several facts that interest us most of all. He writes: *"In his novel, "Empire of the Sun", he wrote a fictional account of his childhood days living in Shanghai under Japanese occupation. /.../ Reading Miracles of Life, it's clear that those Shanghai years were the defining ones for the novelist's imagination. Ballard spent some time as a medical student at Cambridge. The book also includes very personally painful subjects, from his alienation from his mother and father, to the death of his young wife. When we met in a wonderfully noisy flat, I suggested that Shanghai, and his experiences there, clearly provided the stage for what would become his preoccupations; spectacle, sex, violence and death."* [1]

Even this small passage makes it clear to understand that author did not live an easy life. We can doubt, whether it was really so horrible, taking into account the intention of the interviewer to impress readers but here we come across the words of the author himself.

Ballard confirmed Philipp Dodd's statement: "*Death was everywhere, in a way that's almost impossible to imagine. We lived in a suburban house — beggars died on our doorstep. And it's im-*

possible to imagine /.../ some elderly beggar, leaning against the wall in a drive and quietly dying, without anyone coming to his aid." [1]

So according to this interview the author's life was not easy at all and if we take the theory that his "Short Stories" and other workings should reflect it, then it is obvious that there must be several specific features. For example, from this extract we can see the headwaters of his attitude towards civilization – for the 20th century Shanghai it was nothing more than cruelty and rudeness of war, the weapons and technologies used to kill, not to save. We have decided to point out some of those features which can logically be found in the text:

– No happy end is ever possible

– The themes related to violence, sex and drugs are popular

– The negative approach towards the civilization

– The author uses some elements connected with medicine

– Specific relations with women

– The closed space

In one of the articles about Ballard the author gives us a bright picture of the author's life [2]: "*James Graham Ballard was born on 15 November 1930 in Shanghai, China, where his father was the managing director of the Shanghai subsidiary of a Manchester firm of textile manufacturers. […]. From this time, the young Ballard inhabited an environment strewn with the human and mechanical wreckage of war, circumscribed by the restrictions on movement imposed by the Japanese, and charged with expectations of the even greater conflict to come.*

/.../ In 1942, shortly after the outbreak of war between the Empire of Japan and the Allies, Ballard, his younger sister, and his parents were interned by the Japanese in a civilian prisoner-of-war camp at Lunghua, on the outskirts of Shanghai. They were held there for the remainder of the war, witnessing (and enduring) extremes of hunger, disease, and brutality." But the family survived and in 1946 Ballard left China for England. This country was unknown to him and it "struck him as absurdly sedate after the violent chaos of wartime Shanghai". [3]

So Ballard had a chance to experience, as we can say, double cultural shock, on the first hand, the usual one, because of the difference of the country cultural values, traditions and stereotypes, on the other hand, because of the contrast between the crude reality of the wartime Shanghai and the seeming stability and welfare of England. After being accustomed to people whose main aim was to survive, he moved to see the faces of rich citizens worried by their careers. The first type of civilization was terrible and frightening, the other one was hilarious.

The author's life was full of many painful events and the theory of the author of the article is that it did have a serious effect on Bollard's life and narrative manner: "*J.G. Ballard sustained some degree of psychological trauma as a result of his incarceration in a Japanese prison camp during World War II. /.../ I want to suggest that there are striking affinities between the changing role played by his wartime experiences in his writing, and the ways in which trauma is registered and "worked through" by its sufferers.*" [3]

Paul Crosthwaite writes that in the earlier Ballard's works there is "*an element of conscious intention that is absent from the involuntary mental states typical of trauma*." He analyzes the theory of J. Stephen Murphy [4] that "*the writer of poetry or fiction might desire to distort reality and conventions of narrative and logic but the survivor [of trauma] is seemingly unable to do anything but*". So, permanent mentioning abandoned settlements, empty apartment blocks, drained swimming pools and other such scenes often appear in Ballard's pre-1980s texts. As Ballard survived this "trauma" we can see that he is a kind of "obsessed" with his memories which he reflects in his stories.

Reflecting, in 1975, on the effects of his wartime incarceration on his writing, Ballard commented: "*The whole landscape out there had a tremendously powerful influence on me, as did the whole war experience. All the abandoned cities and towns and beach resorts that I keep returning to in my fiction were there in that huge landscape, the area just around our camp. […] All of the images I keep using – the abandoned apartment houses and so forth – must have touched something in my mind*." [5]

The start of Ballard's career is closely connected with the new period, new tendency in

literature – the 'New Wave'. With the decay of the 'pulp' science fiction, new writers paid much more attention to the human mind. Many borders were lost, and the themes Ballard was writing of that had been forbidden before, now became most relevant. Ursula le Guin [10], who is sometimes described as one of the NW writers, said: "I think it is fair to say that science fiction changed around 1960, and that the change tended toward an increase in the number of writers and readers, the breadth of subject, the depth of treatment, the sophistication of language and technique, and the political and literary consciousness of the writing. The sixties in science fiction were an exciting period for both established and new writers and readers. All the doors seemed to be opening"

So we can suppose that due to quite logical reasons, here we mean the events that actually took place, Ballard's rich and unique life experience is closely connected to his narrative manner and to the plots he chooses, it is hidden in the descriptions and in the way the characters behave. This statement we are going to prove in the following analysis of an extract from one of J. G. Ballard's stories.

Let us turn to the short story "The intensive care unit". Here we can see the society of the future world, where all the people communicate with the help of TV-sets and everything seems to be perfect. No one bores or disturbs each other.

At the proairetic level (the main units at this level are "actions that can fall into various sequences which should be indicated merely by listing them, since the proairetic sequence is never more than the result of an artifice of reading" [6]) we can see that there is no happy end, and no happy end could be ever possible.

The main character is living in a fully computerized space and knows no life apart from this space. The progress, the civilization is the only environment the character has seen and therefore the only reality he can live in. As soon as he breaks the cocoon of the computers, he dies from the hands of his own family still loving them and being loved by them. This approach to the civilization is highly traditional to J. G. Ballard – for him, a man who depends on the computers, can not cope with the real life [8]. Here we can also see the trace of Ballard's relations with his own wife that died young – the love mixed with decay. The love does not always give a chance for people to unite as a family.

The main hero is a doctor that has never seen his patients in real life. Ballard pays special attention to describing the process of examining a patient.

"*My five years as a medical student passed without my ever needing to see a patient in the flesh. My skills in anatomy and physiology were learned at the computer display terminal. Advanced techniques of diagnosis and surgery eliminated any need for direct contact with an organic illness. The probing camera, with its infra-red and X-ray scanners, its computerized diagnostic aids, revealed far more than any unaided human eye*." [9]

The fact that the main character is a doctor that may use special medical terms like '*the probing camera'*, '*infra-red and X-ray scanners'* is highly characteristic too and can show most clearly the determination of J. G. Ballard to reflect his own life in his writings.

The other feature of Ballard's experience can be seen in the way the main character got acquainted with his future wife [7]. She was a patient that attached the doctor's attention to herself by breaking the rules of the society and, at the same time, paying attention to the banned sides of human life – she appeared at the screen with no makeup and showed her breasts. So this woman is a piece of real world in the heart of computerized universe, the hint of freedom which the main character lingered for, but, at the same time, she is also a prisoner that can not provide freedom she promises – they do not create a traditional family. On the one hand, here we can see the influence of J. G. Ballard's life on his writings; on the other hand, these themes are quite usual for the 'New Wave'.

Still he is able to choose whether he wants to meet with his wife and children in real life or no. But what happens next? During the private meeting with the dearest people the main hero has a desire to kill them, because he got used to the order and the rules of TV- communication. So, the environment suppressed the natural human instincts, and even if the hero wants to struggle he is not able to do it. He is the part

of this environment. And he has no other choice that to live according to its' laws.

Ballard lived not an easy life, and it surely made some influence on his works and his attitudes expressed in the writings, which he did not deny himself. So we think it reasonable to learn more about Ballard's life in order to understand what actually happened, what was his attitude to the events that took place, what influence have these events had on the author himself and which events are reflected in the writings directly or indirectly.

Библиографический список
References

1. Dodd Ph. Marinaded in war and violence (an interview between Philip Dodd and J.G. Ballard Author: Ballardian Feb 7th, 2008. http://www.ballardian.com/marinaded-in-war-and-violence-philip-dodd-interviews-jg-ballard.
2. A Secret Code of Pain and Memory: War Trauma and Narrative Organisation in the Fiction of J.G. Ballard (By Paul Crosthwaite School of English Literature, Language, and Linguistics University of Newcastle upon Tyne, UK). http://www.jgballard.ca/criticism/jgb_secretcode.html.
3. Stephenson 1991: 9; Ballard, From Shanghai 1984: 113-14; Delville 1998.
4. Murphy, J.S. Past Irony: Trauma and the Historic Turn in Fragments and The Swimming-Pool Library. Literature & History, 2004, № 13(1), pp. 63.
5. Goddard and Pringle, 1975: part 1, par. 4. http://www.jgballard.ca/pringle_news_from_the_sun/news_from_sun23.html
6. Barthes R. «S/Z». Blackwell Publishing, 1990. pp. 19. ISBN 0·631·17607·1 (paperback).
7. Kosarina A., Fedotova A. The madman reality in short stories by J. G. Ballard. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2014, № 2, pp. 157-160. (in Russian).
8. Kosarina A., Fedotova A. Depersonification and impersonation in the writings of english and american writers of the XIX, XX and XXI century with the analysis of Ballard's «Short stories», «Great expectations» by Dickens and De Lint's urban tales. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik, 2013, № 5, pp. 143-147. (in Russian).
9. Ballard J.G. The complete Short Stories. 1960. http://biblioklept.org/2013/10/06/the-complete-short-stories-of-j-g-ballard-second-riff-stories-of-1960/
10. Le Guin, Ursula K. Introduction. In Ursula K. Le Guin and Brian Attebery (eds.), The Norton Book of Science Fiction, New York, W.W. Norton, 1993. pp. 872.

THE INFLUENCE OF AN AUTHOR'S LIFE ON HIS WRITINGS ON THE BASIS OF J. G. BALLARD'S SHORT STORIES

Kosarina A.A., Faculty of Philology Lomonosov Moscow State University, Fedotova A.E., Faculty of Philology Lomonosov Moscow State University

alexa7979@yandex.ru

MSU, Faculty of Philology, Russia, 119991, Moscow, GSP-1, 1-51 Leninskie Gory, 1 Humanities Building

J. G. Ballard lived a long life and had rich life experience, including acquaintance with war and violence, death of his beloved wife. As we suppose, in this case his rich life experience had nothing but to be reflected in his works. In our article we are going to analyze some of them and basing on our conclusions together with the interviews with Ballard and on his autobiography we are going to prove that a great number of his works is closely connected with the events that actually took place in his life. We have decided to point out some of those features which can logically be found in the text: no happy end is ever possible, the themes related to violence, sex and drugs are popular, the negative approach towards the civilization, the author uses some elements connected with medicine, specific relations with women, the closed space. We turn to the short story "The intensive care unit", where we can see the society of the future world, where all the people communicate with the help of TV-sets and everything seems to be uthopic. No one bores or disturbs each other. No one can see other's problems due to makeup and director's cut. But the only family, a doctor's family, that tried to see each other in real life kills each other.

Key words: Ballard, Ballaard's biography, life through writings, dystopia, Short Stories

ФОРМИРОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ТЕХНИКО-ТАКТИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ В ЕДИНОБОРСТВАХ НА ОСНОВЕ САМБО

М.К. УМАРОВ, *доц. каф. физической культуры и спорта МГУЛ, асп. ВНИИФК*

murad-u@mail.ru, shetoma@mail.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Проблема формирования двигательных умений и навыков и тренировочных воздействий с учетом индивидуально-типологических характеристик спортсменов занимает особое место в системе учебно-тренировочного процесса. Основной вектор развития единоборств направлен в сторону решения серьезных проблем технико-тактической подготовки юных спортсменов с учетом современных требований соревновательной деятельности. Как показывает обзор научной литературы, в самбо нет достаточно научного обоснования содержания и структуры учебно-тренировочного процесса по совершенствованию технико-тактических приемов, не хватает обобщающих работ отечественных и зарубежных специалистов, что и побудило к изучению данной проблемы. Статья посвящена формированию логических компонентов технико-тактических действий в единоборстве на основе самбо. В работе рассматривается процесс совершенствования технико-тактического мастерства с использованием модульно-ситуационного подхода, который позволяет активизировать развитие базовых физических качеств и психомоторных способностей борцов. Предлагаемый нами модульно-ситуационный подход обладает большой педагогической возможностью по воздействию на организм, позволяет осуществлять двигательную деятельность спортсменов, занимающихся по заранее составленной программе, строго регламентировать нагрузку, точно дозировать интервалы отдыха, что дает возможность эффективно осваивать технику. Как показала практика, применение модульно-ситуационного подхода является физиологически обоснованным решением и позволяет активизировать развитие базовых физических качеств и психомоторных способностей юных борцов для определенной динамической ситуации, закладывает фундамент спортивного мастерства для овладения сложными соревновательными тактико-техническими действиями с последующим их совершенствованием. Как показал педагогический эксперимент, успешность повышения физической и технической подготовленности юных борцов самбо обусловлено, с одной стороны, современной, технически оснащенной базой обучения, высоким профессиональным уровнем педагогов, а с другой стороны, большой заинтересованностью борцов самостоятельно и качественно осваивать учебный материал по борьбе.

Ключевые слова: самбо, единоборство, динамические ситуации, тактико-технические действия, учебно-тренировочный процесс.

Анализ тенденций развития современных единоборств показывает, что проблема формирования двигательных умений и навыков и тренировочных воздействий с учетом индивидуально-типологических характеристик спортсменов занимает особое место в системе учебно-тренировочного процесса. Развитие единоборств показывает, что основной вектор направлен в сторону решения серьезных проблем технико-тактической подготовки юных спортсменов с учетом современных требований соревновательной деятельности. В спортивной борьбе, в частности самбо, нет достаточно научного обоснования содержания и структуры учебно-тренировочного процесса по совершенствованию технико-тактических приемов, не хватает обобщающих работ отечественных и зарубежных специалистов, что и побудило к изучению данной проблемы. [1, 2, 4, 5, 7, 8]. Цель современных единоборств заключается в обеспечении такого уровня технико-тактической и физической подготовленности, которая способствует, успешному решению задач спорта высших достижений. Для решения поставленных задач нужны новые методы и средства в области современных единоборств (Зациорский В.М., 1970; Коблев Я.. К., 1991 А.А.Новиков, Г.С.Туманян, В.М.Дьячков, 1968,1971; Ч.Т.Иванков (2007, 2011).

Целью исследования является повышение эффективности технико-тактических действий юных самбистов в соревновательной деятельности. **Объект исследования** – процесс совершенствования технико-тактического мастерства с применением модульно – ситуационного подхода. **Предмет исследования** – методы формирования логических компонентов технико-тактичесих действий в

конкретных динамических ситуациях (КДС) соревновательной деятельности. **Гипотеза исследования**. Предполагается, что применение принципов развития логических компонентов технико-тактичесих действий с учетом модульно-ситуационной организации соревновательной деятельности (СД) повысит эффективность и результативность технико-тактического мастерства юных самбистов.

Организация исследования. Исследование было организованно в 2 этапа. На первом этапе проводилось первичное изучение состояния вопроса по данным литературных источников, беседы, опросы, тестирования. Разрабатывалась программа педагогического эксперимента. На втором этапе проводилась организация и проведение педагогического эксперимента.

Организация и результаты педагогического эксперимента. Педагогический эксперимент проводился с сентября 2012г. по апрель 2013г. на модели подготовки борцов сборной команды г. Москвы. Для изучения влияния логических компонентов технико-тактических действий в самбо была организована экспериментальная и контрольная группы по 15 человек в каждой. Как показало тестирование, эти группы были идентичны по физическим и техническим показателям. В контрольной группе структура методики физической и технической подготовки юных борцов проводилась по традиционно принятой программе в ДЮСШ. В экспериментальной группе применялась разработанная нами модульно-ситуационная система логических компонентов технико-тактических действий юных спортсменов с учетом конкретных динамических ситуаций в спортивной борьбе самбо.

Педагогический эксперимент проводили в течение учебного года с учетом поставленных задач, которые последовательно решались в процессе эксперимента. Особенности работы в экспериментальной группе: применялись индивидуальные и групповые карточки – задания в КДС, развивающие самостоятельность юных борцов при выполнении логических компонентов технико-тактических действий и создание условий совершенствования ведущего или базового компонента СТТД с учетом конкретных динамических ситуаций в единоборствах.

Выявлялись уровни физической и технической подготовленности для данного контингента занимающихся с учетом индивидуальных особенностей.

Оценивалось время по реализации комбинаций обманных движений, раскрытие и опережение действий противника, рациональный выбор дистанции для атаки, умение предугадывать действия противника, готовность к мгновенному реагированию и нейтрализации его.

В начале педагогических экспериментов контрольные и экспериментальные группы не имели достоверных различий по соответствующим для каждого этапа показателям. По мере наступления тренированности у юных борцов в учебно-тренировочном процессе особое внимание уделялось организации и реализации КДС, так как это связано с качеством проведения СТТД и тренировочными нагрузками. Нерационально проведенная организация и реализация КДС отрицательно сказываются на качестве выполнения движений и вызывают временное ухудшение показателей СД. Модульно-ситуационный подход обладает большими педагогическими возможностями по воздействию на организм; позволяет осуществлять двигательную деятельность спортсменов, занимающихся по заранее составленной программе; позволяет строго регламентировать нагрузку; точно дозировать интервалы отдыха, что дает возможность эффективно осваивать технику. Кроме того, введение в состав занятий элементов динамических ситуаций соревнований способствуют творческому восприятию занимающихся, целостное восприятие технических действий и его компонентов.

Применение модульно-ситуационного подхода является физиологически обоснованным и позволяет активизировать развитие базовых физических качеств и психомоторных способностей юных борцов.

Педагогический эксперимент показал, что участники экспериментальной группы быстрее выполняют борцовские тесты по ре-

ализации комбинаций обманных движений, раскрытию и опережению действий противника – на 0,8с.($p \leq 0,05$). Участники экспериментальной группы быстрее и рациональнее выбирают дистанцию для атаки – на 0,7 с ($p \leq 0,05$).

Борцы ЭГ предугадывают действия противника и готовность к мгновенному реагированию – на 0,9 с ($p \leq 0,05$).

Борцы ЭГ овладели тактическими элементами единоборств по организации КДС и нейтрализации действий противника– на 0,6 с ($p \leq 0,05$).Программа физической и технической подготовленности юных борцов для ДЮСШ была составлена таким образом, чтобы реализация программы оказывала комплексное воздействие на техническую и физическую подготовку.

Обсуждение результатов исследования. Успешность повышения физической и технической подготовленности юных борцов самбо обусловлено, с одной стороны, современной, технически оснащенной базой обучения, высоким профессиональным уровнем педагогов, а с другой стороны, большой заинтересованностью борцов самостоятельно и качественно осваивать учебный материал по борьбе.

Возможности юных борцов определяются, прежде всего, такими качествами, как умение участников экспериментальной группы на основе непрерывной оценки ситуаций и положения частей тела противника более рационально проводить организацию и реализацию КДС быстрым и точным броском, опережая противника, овладевать борцовскими умениями; обладать необходимым уровнем развития гибкости, подвижности в суставах, а также ловкостью и координационными способностями скоростно-силового характера и комплексного их применения в [1–3, 5, 6, 8]. Как правило, в ДЮСШ в достаточной степени не уделяют внимание развитию этих качеств с учетом КДС, поскольку программа по физическому воспитанию носит валовый характер. Причем, на протяжении многих лет обучение в ДЮСШ по типовой программе проводилось разбросанно и занимающееся, в лучшем случае, успевали только ознакомиться с тем или техническим действием приема на базе методических разработок начального обучения. Как правило, обучение по такой схеме не дает возможности закрепить умения и навыки данного раздела программы и развить физические качества с учетом динамических ситуаций. Следовательно, только при введении логических компонентов технико-тактических действий с учетом модульно-ситуационной организации СД в программу единоборств в ДЮСШ произошел перелом в методике обучения и совершенствования СТТД. В результате, занимающиеся экспериментальной группы освоили СТТД значительно качественнее и быстрее.

Выявлено, что содержание экспериментальной программы по самбо оказало положительное влияние не только на развитие физических качеств, но и на результативность СД. Так, юные борцы 12–14 лет (ЭГ) превосходили борцов 12–14 лет (КГ) по результативности. Ими были завоеваны призовые места на уровне первенства г. Москвы: 3-первых места, 2 вторых; на уровне РФ – 1 – первое, 3 – вторых. Положительно сказалось это на наборе в секцию самбо, количество желающих посещать секцию увеличилось на 75 %.

Выводы

1. Выявлено, что освоение технических приемов самбо на основе модульно- ситуационной системы логических компонентов технико-тактических действий приводит к существенному повышению уровня развития СТТД.

2. Разработанные методы организации и реализации КДС способствует повышению эффективности технических приемов самбо в условиях СД.

3. Выявлено, что спортсмены ДЮСШ упускают возможность организации и реализации КДС в период становления технико-тактического мастерства на основе применения логических компонентов .

4. Экспериментально доказано, что освоение единоборств с учетом организации и реализации КДС в экспериментальных группах приводит к существенному повышению уровня развития и приросту физических

качеств борцов: скоростные – 16.5 %, скоростно-силовые – 14.5 %; координационные способности –17.1 %.

Библиографический список

1. Амосов, Н.М. Сердце и физические упражнения / Н.М. Амосов, И.В. Муравов. – М.: Знание 1985. – 125с.
2. Бальсевич, В.К. Онтокинезиология человека. – М.: Теория и практика физической культуры, 2000. – 275 с.
3. Вайнбаум, Я.С. Дозирование физических нагрузок школьников. – М.: Просвещение, 1991.– 64 с.
4. Бабаков, А.И. Диалектика национального и интернационального в системе физического воспитания детей и молодежи: монография. – Владимир: «Собор», 2012 – 236 с.
5. Дьячков, В.М. Надежность в спорте как проблема интегральной готовности к заданной эффективности спортивных действий // Научные труды конф. – М.: ВНИИФК.1971. – С. 66–68.
6. Белых-Силаев, Д.В. Мультимедиа технологии в образовании: исторический аспект рассмотрения. Материалы конференции / Д.В. Белых-Силаев, Ч.Т. Иванков. – М.: МГПУ ПИФКиС, 2013. – С. 191–193.
7. Иванков, Ч.Т. Методика технико-тактического совершенствования атакующих действий юных борцов в системе общеобразовательной средней школы дополнительного образования / Ч.Т. Иванков, Г.Д. Костин, М.В. Арустамян, С.В. Желтоухов // Физическая культура, воспитание, образование, тренировка. – 2012.– № 6. – С. 44–50.
8. Иванков, Ч.Т. Нейтрализация экстремальных ситуаций в прикладных видах спорта при сочетании физических нагрузок и технической подготовки в тренировке юных спортсменов / Ч.Т. Иванков, Г.Д. Костин, М.В. Арустамян, С.В. Желтоухов // Теория и практика прикладных и экстремальных видов спорта, 2012. – № 3. – С. 6–9.
9. Иванков, Ч.Т. Физическая культура как предмет образовательного процесса / Ч.Т. Иванков, Н.Н. Каргин // Физическая культура, воспитание, образование, тренировка. – 2009.– № 5. – С. 45.
10. Иванков, Ч.Т. Технология физического воспитания в высших учебных заведениях / Ч.Т. Иванков, С.А. Литвинов. – М.: МГПУ, 2014. – С. 350.
11. Логинов, Л.В. Преодоление вредных привычек среди детей и молодежи средствами физической культуры и спорта: монография / Л.В. Логинов, Н.М. Магомедов, А.И. Бабаков. – Владимир: «Собор», 2012 – 288 с.
12. Магомедов, Н.М. Воспитание патриотических и интернациональных качеств борцов: монография / Н.М. Магомедов, Л.В. Логинов, А.И. Бабаков. – Владимир. «Собор», 2012 – 256 с.
13. Магомедов, Н.М. Воспитание юных борцов в многонациональных спортивных коллективах: учебное пособие / Н.М. Магомедов, А.И. Бабаков; Владим. – Владимир. «Собор», 2012. – 132 с.
14. Новиков, А.А. Апробация новой технологии подготовки дзюдоисток / А.А. Новиков, В.В. Извеков, Ю.А. Ипполитов, А.В. Ишков, Ж.К. Оналбек // Сборник научных труды 2001 г. – М.: Гос. ком. РФ по физ.культ. и спорту, ВНИИФК, 2002.
15. Новиков, А.А. Стратегия подготовки сборных команд Российской федерации к Олимпийским играм 2004 и 2008 гг. / А.А. Новиков, Ю.А. Ипполитов, С.В. Соколова // Теор. и практ. физ. культ., 2002. – № 1.
16. Новиков, А.А. Научно-исследовательский стенд для исследования модельных характеристик в фехтовании / А.А. Новиков, Ю.А. Ипполитов, В.Г. Герасименко, А.В. Ишков // Сборник научн. труд. 2001 г. – М.: Гос. ком. РФ по физ. культ. и спорту, ВНИИФК, 2002.

FORMATION OF LOGIC COMPONENTS OF TECHNICAL AND TACTICAL ACTIONS IN SINGLE COMBATS ON THE BASIS OF SAMBO

Umarov M.K., Associate Professor of Department. Physical Culture and Sports MFSU, graduate student VNIIFK

murad-u@mail.ru, shetoma@mail.ru

Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischi, Moscow reg., Russia

The problem of the formation of motor skills and training effects, taking into account individual-typological characteristics of athletes occupies a special place in the training process. The main vector of development of martial arts directed toward addressing the serious problems of technical and tactical training of young athletes to meet modern standards of competitive activity. A review of the scientific literature, Sambo is not enough scientific evidence content and structure of training – training process to improve the technical – tactics, lacks general works of domestic and foreign experts, which prompted the study of this problem. Article is devoted to the formation of the logical components of technical and tactical actions in combat on the basis of Sambo. In this paper the process of improving the technical and tactical skills using situational modular approach that allows to activate the development of basic physical qualities and psychomotor abilities fighters. Our proposed modular situational approach has great pedagogical opportunity to influence the body, allows the motor activity of athletes involved on a pre-made program, strictly regulate the load, precise dosing intervals of rest, which makes it possible to effectively master the technique. As shown, the use of modular-situational approach is physiologically-based solution and allows development to intensify ment of basic physical qualities and psycho ¬ motor abilities of young fighters for certain dynamic situation, laying the foundation for sportsmanship mastery of complex ¬ competitively tactical and technical

operations followed their improvement. As shown pedagogical experiment, the success of increasing physical and technical preparedness of young fighters Sambo due, on the one hand, modern, technically equipped base training, high professional level of teachers, on the other hand, a large party of fighters independently and efficiently develop training material to fight.

Key words: Sambo combat, dynamic situations, tactical and technical action, the training process.

References

1. Amoz N.M, ants IV Heart and Exercise Knowledge 1985 . pp 125.
2. Balsevich VK Ontokineziologiya rights / V. K. Balsevich . M. : The Theory and Practice of Physical Culture , 2000 . – 275 .
3. Vaynbaum YS Dosing of physical activity students. : Education, 1991 . – 64 .
4. Babakov A.I.Dialektika national and international system of physical training in children and youth: monograph / AI Babakov , Vlad. Reg. Univ . AG and NG Stoletovs . – Vladimir . Vladimir's book publishing house of «Cathedral» , 2012 – 236 p. – 15VY 978-5-904418-78-6 /
5. Dyachkov VM Reliability in the sport as an integral problem preparedness certain efficiency sports activities \ \ Science – Proceedings Conf. -M . : VNIIFK.1971. -C . 66-68 .
6. White – The Power DV, IvankovCh.T . « Multimedia Technologies in Education: the historical aspect of consideration» (Proceedings of the conference) . -M . : MSPU PIFKiS , 2013 . – S. 191-193 .
7. Ivankov CH.T. Kostin, GD, Arustamian MV , . Zheltouhov SV « Methods of technical – tactical perfection attack young fighters in the secondary school system of additional education « / / physical education , parenting education, trenirovka. 2012 . – № 6.– p.44– 50
8. Ivankov CH.T. Kostin . , GD, Arustamian MV , . Zheltouhov SV « Neutralization of extreme situations in the application sports a combination of physical activity and technical training in the training of young athletes .» / / Theory and Practice of Applied and extreme sports in 2012 . – № 3 . p.6 -9 -
9. Ivankov CH.T. , Kargin NN . Physical Education as a subject of the educational process. / / Physical education , parenting education, trenirovka. 2009 . – № 5.– p.45
10. 10.Ivankov CH.T. Litvinov S.A.Tehnologiya physical education in universities Archives. / / GBOUVPO MSPU ; posobie. Study -M . : 2014.s.350
11. 11.Loginov LV, NM Magomedov , Alexander Babakov Overcoming bad habits among children and young people by means of physical culture and sports : monograph / LV Loginov, NM Magomedov , AI Babakov , Vlad. State . Univ . AG and NG Stoletovs . – Vladimir . Vladimir's book publishing house of «Cathedral» , 2012 – 288 p. – 15VM 978-5-904418-77-9 .
12. Magomedov NM, Loginov LV, Babakov AI Patriotic and international education as a fighter : monograph / NM Magomedov , LV Loginov , AI Babakov , Vlad. State . Univ . AG and NG Stoletovs . – Vladimir . Vladimir's book publishing house of «Cathedral» , 2012 – 256 p. – 15VM 978-5-904418-75-2 .
13. 13.Magomedov NM, AI Babakov Educating young fighters in multinational sports teams : Tutorial / NM Magomedov , AI Babakov , Vlad. State . Univ . AG and NG Stoletovs . – Vladimir . Vladimir's book publishing house of «Cathedral» , 2012 -132 p. – 15V № 78-5-904418-92-2.
14. AA Novikov , VV Izvekov , Ippolitov YA, Ishkov AV, JC Onalbek Testing of new technology training judokas / Proceedings 2001. – Moscow: Gos . com. RF by fiz.kult . and Sport , VNIIFK 2002 .
15. AA Novikov , Ippolitov JA, Sokolov SV Strategy training teams of the Russian Federation for the Olympic Games in 2004 and 2008 / / Theor . and Scient . nat . cult. , 2002, № 1.
16. AA Novikov , Ippolitov YA, VG Gerasimenko , AV Ishkov Research stand for research model characteristics fencing / Proceedings 2001. – Moscow: Gos . com. RF by nat . cult. and Sport , VNIIFK 2002

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Обливин Александр Николаевич, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН и МАНВШ, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Президент МГУЛ, профессор кафедры процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств Московского государственного университета леса

e-mail: prezident@mgul.ac.ru

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Никишов Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, академик РАЕН, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Московского государственного университета леса

e-mail: nikishov.08@mgul.ac.ru

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Артамонов Дмитрий Владимирович, профессор, доктор технических наук, кафедра «Автономные информационные и управляющие системы» Пензенского государственного университета, вице - президент Пензенского научного центра Академии информациологии отделения Международной академии информатизации, член - корреспондент Академии информатизации образования, директор Межотраслевого регионального центра повышения квалификации Пензенского государственного университета.

e-mail: aius@pnzgu.ru

Бемманн Альбрехт, профессор, доктор технических наук, Дрезденский дендрологический университет, директор Института профессуры для стран Восточной Европы, Германия; Albrecht Bemmann, Dr. Dr. h.c., Professor

e-mail: albrecht.bemmann(at)forst.tu-dresden.de

Залесов Сергей Вениаминович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе, заведующий кафедрой лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета

e-mail: zalesov@usfeu.ru

Запруднов Вячеслав Ильич, профессор, доктор технических наук, проректор по научной работе, заведующий кафедрой геодезии и строительного дела Московского государственного университета леса

e-mail: zaprudnov@mgul.ac.ru

Исаев Александр Сергеевич, академик Российской академии наук, Председатель Научного совета по лесу РАН, член Совета «Совет РАН по космосу», Президент-сопредседатель Международного института леса, иностранный член Болгарской академии наук

e-mail: isaev@cepl.rssi.ru

Карелайнен Тимо, профессор университета Восточной Финляндии г. ЙОЭНСУУ, лесной НИИ «Метла», Финляндия; Karjalainen, Timo D.Sc. (Agr. & For.), Professor

e-mail: timo.karjalainen@metla.fi

Кожухов Николай Иванович, профессор, академик РАН, доктор экономических наук, заведующий кафедрой Мировой экономики Московского государственного университета леса

e-mail: kozhukov@mgul.ac.ru

Комаров Евгений Геннадиевич, профессор, доктор технических наук, проректор по экономической и финансовой деятельности, заведующий кафедрой информационно-измерительных систем Московского государственного университета леса

e-mail: komarov@mgul.ac.ru

Корольков Анатолий Владимирович, профессор, доктор физ.-мат. наук, декан факультета электроники и системотехники, профессор кафедры прикладной математики и математического моделирования Московского государственного университета леса

e-mail: korolkov@mgul.ac.ru

Кох Нильс Элерс, профессор, доктор агрономии в области лесной политики, Президент IUFRO, Генеральный директор Центра лесного и ландшафтного планирования университета г. Копенгаген, Дания

e-mail: nek@life.ku.dk

Кротт Макс, профессор, специализация Лесноя политика, Георг-Аугуст-Университет, Геттинген

e-mail: mkrott@gwdg.de

Леонтьев Александр Иванович, академик РАН, профессор, доктор техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

e-mail: leontiev@power.bmstu.ru

Липаткин Владимир Александрович, профессор, кандидат биологических наук, декан факультета лесного хозяйства, заведующий кафедрой экологии и защиты леса Московского государственного университета леса

e-mail: lipatkin@mgul.ac.ru

Майорова Елена Ивановна, профессор, доктор юридических наук, кандидат сельскохозяйственных наук, декан гуманитарного факультета, заведующий кафедрой права Московского государственного университета леса

e-mail: mayorova@mgul.ac.ru

Мартынюк Александр Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат биологических наук, директор ФБУ ВНИИЛМ, советник Российской академии естественных наук, Заслуженный лесовод РФ

e-mail: info@vniilm.ru

Моисеев Николай Александрович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный лесовод РФ, иностранный член (академик) Шведской королевской академии сельского и лесного хозяйства, Финской академии наук и письменности, Итальянской лесной академии, почетный доктор Дрезденского технического университета Санкт-Петербургской ГЛТА, член Совета по развитию лесного комплекса при Правительстве РФ, член научно-экспертного совета при председателе Совета Федерации, член научно-технического Совета Рослесхоза, заведующий кафедрой экономики и управления Московского государственного университета леса

e-mail: moiseev@mgul.ac.ru

Редькин Анатолий Константинович, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства Московского государственного университета леса

e-mail: redkin@mgul.ac.ru

Рыкунин Станислав Николаевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии деревоперерабатывающих производств Московского государственного университета леса

e-mail: rikunin@mgul.ac.ru

Рубцов Михаил Владимирович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАСХН, заслуженный лесовод Российской Федерации, Председатель секции

«Лесоводство» Научного совета по проблемам леса РАН, член президиума Российского общества лесоводов руководитель лаборатории лесоводства и биологической продуктивности Института лесоведения РАН

e-mail: root@ilan.ras.ru

Семенов Юрий Павлович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры электротехники, теплотехники и энергоснабжения предприятий лесного комплекса Московского государственного университета леса

e-mail: semenov@mgul.ac.ru

Стрекалов Александр Федорович, Первый вице-президент РКК «Энергия», Генеральный директор ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия», действительный член Российской Академии космонавтики им. Циолковского, кандидат технических наук

e-mail: mail@rscc.ru, post@rscc.ru, boris.harlov@rscc.ru

Теодоронский Владимир Сергеевич, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАЕН, член Союза архитекторов России, член правления Московского объединения ландшафтных архитекторов (МОЛА), профессор кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства Московского государственного университета леса

e-mail: teodoronskiy@mgul.ac.ru

Тулузаков Дмитрий Владимирович, доцент, кандидат технических наук, проректор по учебной работе, заведующий кафедрой технической механики Московского государственного университета леса

e-mail: tuluzakov@mgul.ac.ru

Уголев Борис Наумович, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, академик ИАВС, почетный член РАЕН, профессор кафедры древесиноведения Московского государственного университета леса

e-mail: ugolev@mgul.ac.ru

Федоренчик Александр Семенович, кандидат технических наук, член-корреспондент Международной академии технического образования, академик Белорусской инженерной академии, член учебно-методического совета России по специальности «Лесоинженерное дело», член научно-технического совета Министерства лесного хозяйства, член двух учебно-методических объединений высших учебных заведений Республики Беларусь: по химико-технологическому образованию и образованию в области лесного хозяйства и природопользования, член президиума: Научно-методического совета при Министерстве образования; Республиканского товарищества дружбы «Беларусь - Финляндия»; председатель учебно-методического совета БГТУ профессор кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского государственного технологического университета

e-mail: root@bstu.unibel.by

Цветков Вячеслав Ефимович, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН, заведующий кафедрой технологии древесных плит и пластиков Московского государственного университета леса

e-mail: tsvetkov@mgul.ac.ru

Чубинский Анатолий Николаевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии лесопиления и сушки древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова

e-mail: tlsd@inbox.ru

Шимкович Дмитрий Григорьевич, профессор, доктор технических наук, заведующий отделом ООО «Кудесник»

e-mail: shimkovich@mgul.ac.ru