

СОДЕРЖАНИЕ

Обливин А.Н., Сапожников И.В., Лопатников М.В. Моделирование длительной прочности композиционных материалов на древесных наполнителях	6
Обливин А.Н., Сапожников И.В., Лопатников М.В. Влияние внешних факторов на длительную прочность композиционных материалов на древесных наполнителях	12
Запруднов В.И. Зависимость упругих постоянных древесно-цементного материала от объемного содержания компонентов	21
Руденко Б.Д. Принципы получения цементно-древесного композиционного материала	24
Тулузаков Д.В., Лапшин Ю.Г., Архипов А.С. Прочность при чистом сдвиге анизотропных материалов	28
Тулузаков Д.В., Спириин Б.Л. Методика определения коэффициентов реологической модели ДСтП на этапе прессования	31
Иванкин А.Н., Панферов В.И., Фахретдинов Х.А., Вострикова Н.Л., Куликовский А.В., Голованова П.М. Наномикрокомпозиционные раневые покрытия на основе коллагена и карбоксиметилцеллюлозы	41
Иванкин А.Н., Панферов В.И., Фахретдинов Х.А., Вострикова Н.Л., Куликовский А.В. Химические вещества запаха растительных материалов на основе сосны и березы	46
Санаев В.Г., Уголев Б.Н., Галкин В.П., Калинина А.А., Аксенов П.А. Изменение усушки древесины при развитии сушильных напряжений	54
Галкин В.П., Мелехов В.И., Шульгин В.А., Санаев В.Г. Математическая модель системы контроля процесса сушки древесины в поле СВЧ	59
Полещук О.М. Системный анализ и обработка групповой экспертной информации на основе лингвистических переменных	65
Полещук О.М., Комаров Е.Г. Кластерный анализ групповой экспертной информации	75
Бурков В.Д., Гинкул Д.И. Исследование способов моделирования командной радиолинии командно-измерительной системы	82
Бурков В.Д., Гинкул Д.И. Процесс синхронизации синхронной радиолинии командно-измерительной системы	89
Бурков В.Д., Васильев В.П., Есаков В.А., Перминов С.В., Щукин Д.Г., Капранов Ю.С., Куфаль Г.Э., Бурлаков А.Б. Возможности создания обитаемой исследовательской базы на Луне	97
Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Шмырев Д.В. Плавуемость транспортных единиц из мягких контейнеров со щепой	102

Макуев В.А., Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Шняков А.В. <i>Переходный режим при повороте колесной шарнирно-сочлененной лесозаготовительной машины</i>	107
Макуев В.А., Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Шняков А.В. <i>К вопросу оценки устойчивости шарнирно-сочлененного колесного шасси лесозаготовительной машины</i>	111
Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Шмырев Д.В. <i>Стабилизация плавучести транспортных единиц из мягких контейнеров со щепой с помощью подплава</i>	116
Санаева Т.С., Кутьева Е.В. <i>Исследование рекреационной активности на территории Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН в условиях интенсивного развития прилегающих городских кварталов</i>	121
Давыдов В.Ф., Батырев Ю.П. <i>Способ определения объема выбросов в атмосферу от природных пожаров</i>	127
Давыдов В.Ф., Кучерявый В.И., Батырев Ю.П. <i>Устройство коррекции погодных условий</i>	136
Беднова О.В., Кузнецов В.А., Андриюшин Ю.Ю. <i>Информационно-аналитическое сопровождение мониторинга состояния лесных экосистем городских особо охраняемых природных территорий</i>	140
Белов Д.А., Белова Н.К. <i>Состояние насаждений на Бульварном кольце г. Москвы</i>	152
Крапивин В.Ф., Шалаев В.С., Бурков В.Д., Солдатов В.Ю. <i>Поиск индикаторов-предвестников нарушения естественных процессов в лесных, агролесных и урбоэкосистемах</i>	162
Крапивин В.Ф., Шалаев В.С., Бурков В.Д. <i>Моделирование глобальных циклов углерода и метана</i>	170
Федотов Г.Н., Шалаев В.С. <i>Анализ процессов взаимодействия минеральных частиц с гумусовой матрицей почвенных гелей</i>	179
Хуторова Н.А. <i>Зеленый рост как новый вектор развития российской экономики</i>	190
Запруднов В.И., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. <i>Аналитический обзор современного состояния и перспективы научно-инновационного развития лесопромышленного комплекса</i>	199
Шлямин В.А., Тюрин А.Е. <i>Домостроение – локомотив модернизации лесопромышленного комплекса Финляндии</i>	215
Шалаев В.С. <i>Об эффективности мониторинга деятельности вузов лесотехнического профиля</i>	223
Шалаев В.С. <i>Направления исследований лесной продукции в мире: от Любляны до Солт-лейк-сити</i>	229

CONTENTS

Oblivin A.N., Sapozhnikov I.V., Lopatnikov M.V. <i>Simulation of long-term strength of composite materials with wood filler</i>	6
Oblivin A.N., Sapozhnikov I.V., Lopatnikov M.V. <i>Influence of external factors on long-term strength of composite materials with wood filler</i>	12
Zaprudnov V.I. <i>The relationship between elastic constant of sawdust cement materials and component volume content</i>	21
Rudenko B.D. <i>Principles producing cement-wood composite material</i>	24
Tuluzakov D.V., Lapshin U.G., Arkhipov A.S. <i>In pure shear strength of anisotropic materials</i>	28
Tuluzakov D.V., Spirin B.L. <i>Method for determining factor rheological models chipboard during press</i>	31
Ivankin A.N., Panferov V.I., Fahretdinov H.A., Vostrikova N.L., Kulikovskii A.V., Golovanova P.M. <i>Nano micro composite wound coverings on the basis of collagen and carboxymethylcellulose</i>	41
Ivankin A.N., Panferov V.I., Fahretdinov H.A., Vostrikova N.L., Kulikovskii A.V. <i>Chemical smell of vegetable materials on the basis of pine and birch</i>	46
Sanaev V.G., Ugolev B.N., Galkin V.P., Kalinina A.A., Aksenov P.A. <i>Change of wood shrinkage at the development of drying stresses</i>	54
Galkin V.P., Melekhov V.I., Shul'gin V.A., Sanaev V.G. <i>Mathematical model of the drying process control in the microwave field wood</i>	59
Poleshchuk O.M. <i>Systems analysis and processing of expert group information on the basis of linguistic variables</i>	65
Poleshchuk O.M., Komarov E.G. <i>Cluster analysis of the group expert information</i>	75
Burkov V.D., Ginkul D.I. <i>Investigation of the ways to model the command radio command-measuring system</i>	82
Burkov V.D., Ginkul D.I. <i>Synchronization process synchronous radio command-measuring system</i>	89
Burkov V.D., Vasiliev V.P., Esakov V.A., Perminov S.V., Schukin D.G., Kapranov J.S., Kufal G.E., Burlakov A.B. <i>Possibility creation of constantly operation the Moon base</i>	97
Karpachev S.P., Sherbakov E.N., Shmyrev D.V. <i>Buoyancy of transport units from flexible containers with chips</i>	102
Makuev V.A., Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Shnyakov A.V. <i>Transition mode by turning the articulated wheeled forestry machine</i>	107

Makuev V.A., Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Shnyakov A.V. <i>On evaluation of the stability of the articulated wheeled undercarriage forest machine</i>	111
Karpachev S.P., Sherbakov E.N., Shmyrev D.V. <i>Stabilization of buoyancy of transport units of flexible containers with chips with the means to maintain buoyancy</i>	116
Sanaeva T.S., Kutuyova E.V. <i>Research of recreational activity on the territory GBG of Tsitsina RAS in conditions of intensive development of the adjacent city blocks</i>	121
Davydov V.F., Batyrev Y.P. <i>Method for determining the volume emissions from wildfires</i>	127
Davydov V.F., Kucheryavy V.I., Batyrev Y.P. <i>Device correction of weather conditions</i>	136
Bednova O.V., Kuznetsov V.A., Andrushin Y.Y. <i>Information and analytical support of the forest ecosystems monitoring on especially protected natural areas in the cities</i>	140
Belov D.A., Belova N.K. <i>Condition of the forests on the Moscow Boulevard ring</i>	152
Krapivin V.F., Shalaev V.S., Burkov V.D., Soldatov V.Yu. <i>Search of the indicator-precursors for the disturbance of natural processes in the forest, agroforest and urboecosystems</i>	162
Krapivin V.F., Shalaev V.S., Burkov V.D. <i>Modeling global carbon and methane cycles</i>	170
Fedotov G.N., Shalaev V.S. <i>Interacting process research of mineral particles with humus matrix of soil gel</i>	179
Khutorova N.A. <i>Green growth as a new policy direction for Russian economic development</i>	190
Zaprudnov V.I., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. <i>Analytical review of the current state and prospects of scientific and innovative development of the forestry industry</i>	199
Shlyamin V.A., Tyurin A.Ye. <i>Construction - locomotive forestry complex modernization of Finland</i>	215
Shalaev V.S. <i>The effectiveness of monitoring forest technical universities' activities</i>	223
Shalaev V.S. <i>Forest products researches in the world: from Ljubljana to Salt lake city</i>	229

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДРЕВЕСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЯХ

А.Н. ОБЛИВИН, *проф. каф. процессов и аппаратов д/о производств МГУЛ, д-р техн. наук,*
 И.В. САПОЖНИКОВ, *доц. каф. процессов и аппаратов д/о производств МГУЛ,*
канд. техн. наук,
 М.В. ЛОПАТНИКОВ, *доц. каф. процессов и аппаратов д/о производств МГУЛ,*
канд. техн. наук

prezident@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
 141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Ускоренные методы испытаний, экспериментальные или основанные на вычислительном эксперименте, позволяют за приемлемое время получить прогноз длительной прочности композиционных материалов. В связи с этим задача, связанная с имитационным моделированием поведения композиционных материалов в результате циклического воздействия на него температуры и влажности, представляет собой значительный научный интерес. В качестве объекта моделирования рассматривался образец ДСтП прямоугольного сечения, расположенный вертикально, при двустороннем внешнем циклическом воздействии температуры и влажности на широкие плоскости. Математическая модель, предложенная авторами, позволяет определить распределение температуры и влажности в образце в любой момент времени, оценить напряжения, возникающие в композиционном материале, а также провести оценку накопления повреждений в связи с их воздействием. В качестве критерия длительной прочности авторами предлагается использовать критерий Бейли, позволяющий оценивать прочность материала для протекающих во времени процессов. Анализ, проведенный авторами по результатам расчетов, показывает, что накопление повреждений, согласно критерию Бейли, возрастает пропорционально времени воздействия внешних факторов, а сама модель может быть использована для оценки состояния материала в процессе его эксплуатации при получении соответствующих замыкающих соотношений для разработанной модели.

Ключевые слова: моделирование, длительная прочность, композиционные материалы, напряжения, разрушение.

При разработке композиционных материалов, подвергающихся в процессе эксплуатации внешним температурно-влажностным и силовым воздействиям, всегда возникает огромный интерес к разработке методов прогнозирования длительной прочности. Во многих странах на композиционных материалах практикуются длительные испытания, сопоставимые по времени с их сроком службы или эксплуатации. Однако таких данных мало, поскольку такие эксперименты длительны, дороги и трудоемки. Ускоренные методы испытаний, экспериментальные или основанные на вычислительном эксперименте, позволяют за приемлемое время получить прогноз длительной прочности композиционных материалов.

Вычислительные методы, базирующиеся на математическом моделировании процессов переноса тепла и массы, деформирования и разрушения материала, наиболее подходят для этой цели. При длительной эксплуатации композиционные материалы испытывают периодические температурно-влажностные воздействия, связанные с из-

менениями суточной и годовой температуры, циклическими особенностями технологических режимов. При атмосферном воздействии изменение свойств материала инициируется нестационарными градиентными явлениями, связанными с переносом массы и энергии. Поскольку изменение температурного фак-

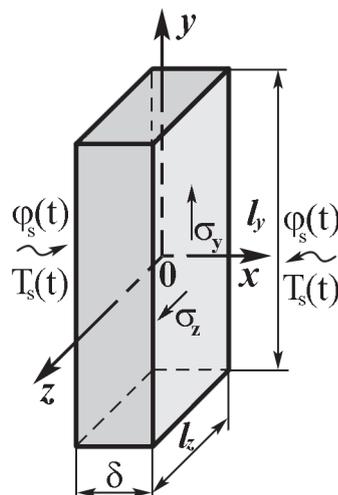


Рис. 1. Схема расчета длительной прочности ДСтП при циклическом внешнем атмосферном воздействии

Fig. 1. Schematic of calculating long-term strength under cyclic chipboard outdoor exposure

тора, связанного с суточной активностью, не превышает нескольких десятков градусов и в обычных условиях не приводит к изменению фазового состояния жидкой влаги, то для описания процесса переноса тепла и влаги в композиционном материале можно использовать математическую модель, основанную на теории Лыкова А.В. [1, 2].

В качестве объекта моделирования рассматривался образец ДСтП прямоугольного сечения с размерами 100×100×20 мм, расположенный вертикально при двустороннем внешнем циклическом воздействии температуры и влажности на широкие плоскости, рис. 1.

Внешнее температурное воздействие имитировало суточное атмосферное изменение температуры по гармоническому закону относительно средней температуры $T_n = 25^\circ\text{C}$, амплитуда колебаний составляла $\Delta T = 15^\circ\text{C}$

$$T_s(t) = T_n + \Delta T \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{\tau} t\right), \quad (1)$$

где $\tau = 24 \cdot 3600$ с.

Относительная влажность воздуха также менялась в соответствии с изменением температуры, при этом общее влагосодержание воздуха принималось неизменным. Средняя относительная влажность воздуха при температуре $T_n = 25^\circ\text{C}$ принималась $\varphi_0 = 30\%$. Использовалась зависимость давления насыщенного пара от температуры (2) [3] и закон Менделеева–Клапейрона для парциального давления паров, зависимость относительной влажности воздуха от температуры определялась из соотношения (3) [4]

$$p_s(T) = \exp\left(22,20911 - \frac{17517,24}{T^{1,25}}\right), \quad (2)$$

где T – температура, К

$$\varphi(T) = \varphi_0 \cdot \frac{T \cdot p_s(T_n)}{T_n \cdot p_s(T)}, \quad (3)$$

Математическая модель состоит из уравнения переноса тепла

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (4)$$

и уравнения переноса влаги

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_m \cdot \frac{\partial}{\partial x} (u + \delta_T \cdot T) \right). \quad (5)$$

Удельная теплоемкость ДСтП определялась по формуле аддитивности [5]

$$c(u, T) = c_u(T) \cdot u + c_g(T) \cdot (1 - u), \quad (6)$$

где $c_u(T) = 4208 - 1,589 \cdot T + 0,018 \cdot T^2$ Дж/(кг·К);

$$c_g(T) = 1114 + 6,68 \cdot T \text{ Дж/(кг·К)}.$$

Коэффициент теплопроводности определялся по формуле [6]

$$\lambda(T, \rho) = (1 + 0,0018 \cdot (T - 25)) \times (\rho^2 \cdot 10^{-7} + 0,062), \quad (7)$$

где T – температура, $^\circ\text{C}$;

$\rho = 800$ – плотность, кг/м³.

Коэффициент влагопроводности и термоградиентный коэффициент ДСтП определялись из следующих соотношений [7]

$$a_m(T) = \frac{1,93}{10^{10}} \cdot \left(1 + \frac{T}{273}\right)^{12,1} \cdot \left(\frac{580}{\rho}\right)^{3,1}; \quad (8)$$

$$\delta_T(u, T) = 7000 \cdot u^3 \cdot \exp\left(\frac{9000 \cdot u}{T - 150}\right). \quad (9)$$

На границе образца для тепло- и массообмена задавались граничные условия 3-го рода

$$-a_m \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=\pm \frac{\delta}{2}} = \beta \cdot \left(u \Big|_{x=\pm \frac{\delta}{2}} - u_p(T, \varphi) \right) + a_m \cdot \delta_T \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\pm \frac{\delta}{2}}; \quad (10)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\pm \frac{\delta}{2}} = \alpha \cdot \left(T \Big|_{x=\pm \frac{\delta}{2}} - T_s(t) \right) + a_m \cdot \rho \cdot r \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=\pm \frac{\delta}{2}}. \quad (11)$$

Коэффициент массообмена определялся по формуле [8]

$$\beta(T, \varphi) = 10^{-7} \cdot \left(1 - \left| \frac{\varphi - 0,45}{0,55} \right|^{1,5} \right) \times (18 - 0,6 \cdot T + 0,01 \cdot T^2). \quad (12)$$

Для оценки коэффициента теплообмена α использовалась критериальная зависимость для естественной конвекции у вертикальной стенки [9]

$$Nu = 0,677 \cdot \left(\frac{Gr}{Pr + 0,952} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (13)$$

где

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l_y}{\lambda_b} \text{ – число Нуссельта;}$$

$\lambda_b = 0,0259$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);

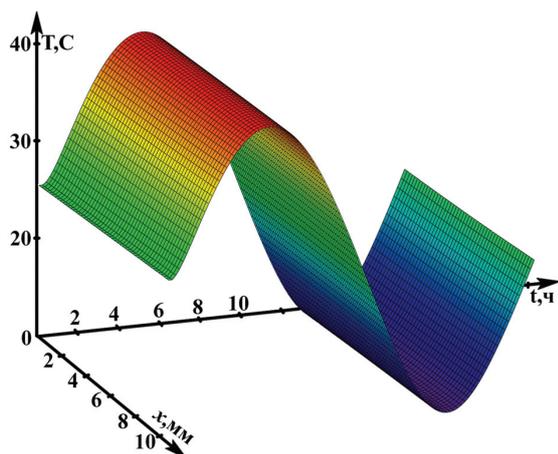


Рис. 2. Распределение температуры по толщине образца в зависимости от времени
Fig. 2. The temperature distribution through the thickness of the sample as a function of time

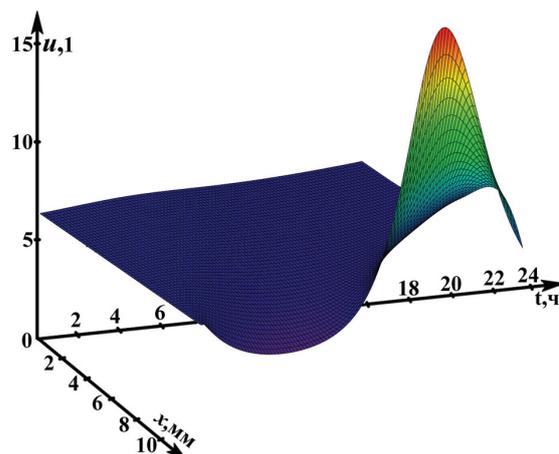


Рис. 3. Распределение влажности по толщине образца в зависимости от времени
Fig. 3. The distribution of moisture through the thickness of the sample as a function of time

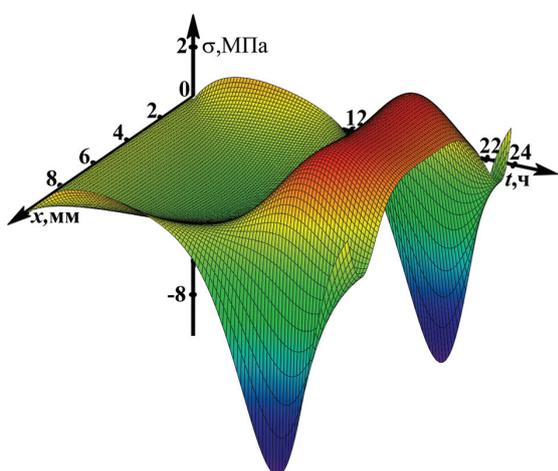


Рис. 4. Распределение влажностных напряжений по толщине образца в зависимости от времени
Fig. 4. Humidity stress distribution through the thickness of the sample as a function of time

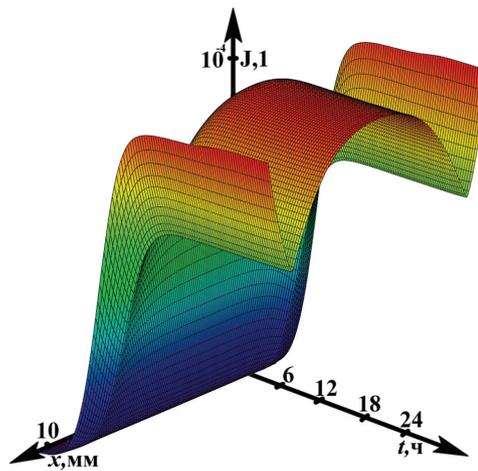


Рис. 5. Распределение критерия длительной прочности по толщине образца в зависимости от времени (1 сутки)
Fig. 5. Distribution of creep rupture test sample thickness versus time (1 day)

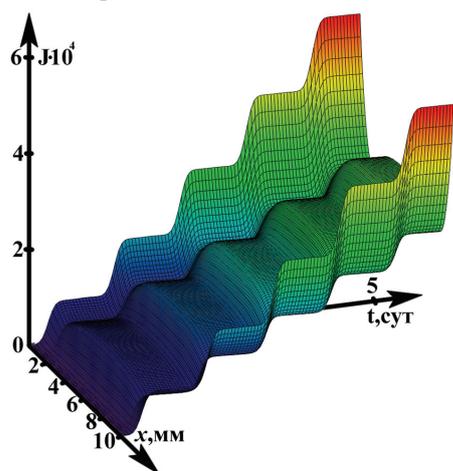


Рис. 6. Распределение критерия длительной прочности по толщине образца в зависимости от времени (5 суток)
Fig. 6. Distribution of creep rupture test sample thickness versus time (5 days)

$Pr = 0,7$ – число Прандтля для воздуха;

$$Gr = \frac{g \cdot \Delta T \cdot l_y^3}{(T_n + 273) \cdot \nu^2} - \text{число Грасгофа};$$

$\nu(T) = (1,31 + 0,01 \cdot T) \cdot 10^{-5}$ – кинематическая вязкость воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$.

Уравнения (1–13) позволяют определения распределение температуры и влажности в образце в любой момент времени. Для ее решения использовались методы вычислительной математики, в частности, решение уравнений переноса тепла и влаги осуществлялось методом конечных разностей по строго неявной схеме. При этом выбор шага по времени производился автоматически так, чтобы был параметр

$$\frac{\lambda \cdot \Delta t}{\Delta x^2} \leq 10, \quad (14)$$

где Δt – шаг по времени, с;

Δx – шаг по координате, м.

Результаты расчетов представлены на рис. 2 и 3.

В процессе нестационарного прогрева и увлажнения вследствие неравномерного разбухания и температурного расширения происходит нарастание напряжений. Эти напряжения носят знакопеременный характер. В результате таких воздействий происходит постепенное разрушение композиционного материала, которое проявляется на макро- и микроуровнях. По мере увеличения циклов эксплуатации в отдельных локальных областях напряжения могут достигнуть критических величин и даже превышать пределы прочности материала в силу развития усталостных процессов.

Температурное расширение по оценкам различных авторов [10] в древесине и древесно-полимерных композициях составляют доли процента и на порядок меньше влажностных деформаций. Поэтому для оценки неоднородных напряжений, возникающих в композиционных материалах, температурные деформации в ДСтП не учитывались. Древесно-полимерные плиты, такие как ДСтП, МДФ, ЦСП, имеют ярко выраженную анизотропию, поскольку в процессе их плоского горячего формования происходит ориентация древесных частиц и волокон в плоскости прессования. Поскольку в этой плоскости ориентация древесных частиц является произвольной, то все характеристики в ней оказываются изотропными. Перпендикулярно же плоскости прессования как физико-механические, так и теплофизические свойства материала отличаются. Такие материалы называются трансверсально-изотропными или транстропными.

При двустороннем воздействии на боковые плоскости свободного нестесненного образца одномерное распределение влажности и температуры создает одномерное же неоднородное напряженно-деформированное состояние, при котором стесненная деформация вдоль оси Ox отсутствует. Деформация в таком состоянии определяется двумерным

вектором перемещения $u = u(u_x, u_z)$ и описывается системой уравнений, которая включает:

– соотношения Коши

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y}; \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right); \quad (15)$$

– условие совместности деформаций

Сен-Венана

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_{zz}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_{yy}}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \varepsilon_{zy}}{\partial z \partial y}. \quad (16)$$

Кроме того, при отсутствии внешних механических воздействий должны выполняться условия равновесия внутри образца

$$\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} = 0; \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} = 0; \sigma_{zy} = \sigma_{yz} \quad (17)$$

и упругая связь между напряжениями и деформациями в виде закона Гука

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\sigma_{yy} - \nu_{yz} \cdot \sigma_{zz}}{E_y} + \alpha_y \cdot w; \quad (18)$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\sigma_{zz} - \nu_{zy} \cdot \sigma_{yy}}{E_z} + \alpha_z \cdot w; \quad \varepsilon_{yz} = \frac{\sigma_{yz}}{\mu}$$

и условие симметрии

$$E_z \nu_{yz} = E_y \nu_{zy}. \quad (19)$$

Для трансверсально-изотропных тел условие (19) выполняется всегда, кроме того, плоскостная изотропия свойств приводит к тому, что напряжения $\zeta = \zeta_{yy} = \zeta_{zz}$ и деформации $\varepsilon = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz}$ являются одинаковыми. Зная распределение влажности в узловых точках по решению задачи переноса тепла и влаги, используя представление производных в конечных разностях, получили распределения напряжений. Для расчета использовались следующие значения упругих характеристик [11]: $E = E_y = E_z = 2 \cdot 10^9$ МПа; $\nu = \nu_y = \nu_z = 0,2$; $\alpha = \alpha_y = \alpha_z = 0,03$. На рис. 4 представлены результаты расчетов распределения напряжения по толщине образца в течение времени. Анализ расчетов показал, что влажностные напряжения, возникающие в образце ДСтП, не превышают предельных значений прочности для данного материала. Максимальные сжимающие напряжения по расчетам составляют 6,45 МПа, а растягивающие – 2,076 МПа, в то время как предельные показатели прочности на сжатие – растяжение вдоль плоскости плиты ДСтП с плотностью порядка 800 кг/м³ составляют 18 ~ 23 МПа. Тем не менее в результате длительных циклических нагрузок может произойти потеря прочности ДСтП не только как

материала, но и как изделия. Например, может произойти резкое снижение прочности на изгиб из-за потери прочности в приповерхностных слоях ДСтП, в которых напряжения достигают максимальных значений.

Оценку накопления повреждений в композиционном материале можно осуществить исходя из принципа суперпозиции, в основе которого лежит кинетическая (термофлуктуационная) концепция эквивалентных повреждений. Разрушение в этом случае представляет собой необратимый кинетический процесс накопления повреждений, ускоряемых температурой и механической нагрузкой. Согласно кинетической концепции предполагается, что существует положительная, возрастающая во времени функция $J(t)$, называемая повреждением, приращение которой пропорционально времени пребывания материала под воздействием внешних факторов. Разрушение композиционного материала наступает, когда $J(t)$ достигает характерного для материала разрушающего значения $J_{кр}$. Для протекающих во времени процессов нами был использован критерий длительной прочности Бейли

$$J(t) = \int_0^t \frac{d\tau}{\tau_0 \cdot \exp\left(\frac{E - \gamma \cdot \sigma(z, \tau)}{R \cdot T(\tau)} \cdot \left(1 - \frac{T(\tau)}{T_m}\right)\right)} \quad (20)$$

Предельное время для разрушения материала наступает тогда, когда $J(t) = 1$. Параметры τ_0 , E , γ , T_m определяются для каждого материала экспериментально. Для ДСтП с плотностью $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ эти значения составляют [12]: $\tau_0 = 10^{-1,2} \sim 10^{-2,9} \text{ с}$, $E = 213 \sim 276 \text{ кДж/моль}$, $\gamma = 6,96 \sim 36,3 \text{ кДж/(моль} \cdot \text{МПа)}$, $T_m = 417 \sim 540 \text{ К}$. Разброс кинетических параметров небольшой, но их присутствие в показателе экспоненты критерия (20) приводит к изменению результата на порядки. Поэтому точность экспериментального определения основных параметров критерия (20) будет иметь решающее значение. Тем не менее на основании средних показателей кинетических параметров и распределения влажностных напряжений в образце ДСтП была сделана оценка критерия длительной прочности. Результаты расчета представлены на рис. 5 и 6.

Анализ результатов расчета показал, что накопление повреждений согласно критерию Бейли возрастает пропорционально времени воздействия внешних факторов. За 1 сутки и за 5 суток критерий Бейли возрастает незначительно: максимальное значение по образцу составляет $1,42 \cdot 10^{-4}$ и $7,1 \cdot 10^{-4}$ соответственно. Но за год при непрерывном циклическом воздействии с периодом 1 сутки значение критерия длительной прочности достигает 0,52, что говорит о возможном серьезном повреждении материала. Тем более что эти повреждения накапливаются во внешних слоях древесно-стружечной плиты и могут оказывать существенное влияние на ее работоспособность на изгиб.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Лыков, А.В. Теплообмен: (Справочник) / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
2. Лыков, А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: Академия наук БССР, 1959. – 332 с.
3. Столяров, Е.А. Расчет физико-химических свойств жидкостей. Справочник / Е.А. Столяров, Орлова Н.Г. – Л.: Химия, 1976. – 112 с.
4. Яворский, Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вуза / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. – М.: ОНИКС, 2006. – 1056 с.
5. Физические величины. Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
6. Обливин, А.Н. Теплообмен в производстве древесно-стружечных плит / А.Н. Обливин, А.К. Воскресенский, Ю.П. Семенов – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 192 с.
7. Левин, А.Б. Теплотехника: Справочное пособие для решения задач и выполнения расчетно-графических работ / А.Б. Левин, Ю.П. Семенов. – М.: МГУЛ, 1993. – 108 с.
8. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 336 с.
9. Брдлик, П.М. Теплотехника и теплоснабжение предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности: учебник для вузов / П. М. Брдлик, А. В. Морозов, Ю. П. Семенов. – Москва: Лесная пром-сть, 1988. – 456 с.
10. Уголев, Б.Н. Контроль напряжений при сушке древесины / Б.Н. Уголев, Ю.Г. Лапшин, Е.В. Кротов. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 208 с.
11. Лапшин, Ю.Г. Механика древесных плит / Ю.Г. Лапшин, О.Е. Поташев. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 203 с.
12. Ярцев, В.П. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации / В.П. Ярцев, О.А. Киселева. – Тамбов: Тамбовский ГТУ, 2009. – 124 с.

SIMULATION OF LONG-TERM STRENGTH OF COMPOSITE MATERIALS WITH WOOD FILLER

Oblivin A.N., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Sapozhnikov I.V.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Lopatnikov M.V.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)

prezident@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

Accelerated test methods, based on experimental or computational experiment, allow to predict the long-term strength of composite materials in a reasonable time. In this case, the problem concerned with the simulation modeling of the behavior of composite materials in the case of cyclical exposure to temperature and humidity is a significant scientific interest. A sample of the chipboard of rectangular section, vertically disposed during a bilateral external cyclical impact of the temperature and humidity to the wide plates was taken as an object of modeling. The mathematical model proposed by the authors allows to calculate the distribution of temperature and humidity in the sample at any time, to evaluate the stresses in the composite material and to assess the damage accumulation in connection with their exposure. Authors propose to use the Bailey criterion as a criterion for calculating the long-term strength, which allows to evaluate the strength of material during the processes. The analysis conducted by the authors on the results of the calculations shows that the accumulation of damage, according to the Bailey criterion increases proportionally to the time of the impact of external factors, and this model can be used to assess the state of the material during its exploitation in case of the finding the appropriate closing relations for the developed model.

Key words: simulation, long-term strength, composite materials, strain, damage

References

1. Lykov A.V. *Teplomassoobmen (Spravochnik)* [Heat and Mass Transfer (Handbook)]. Moscow, Publishing House of Energy, 1978, 480 p.
2. Lykov A.V., Mikhaylov Yu.A. *Teoriya perenosa energii i veshchestva* [Transport theory of energy and matter]. Minsk, Academy of Sciences of Belarus, 1959, 332 p.
3. Stolyarov E.A., Orlova N.G. *Raschet fiziko-khimicheskikh svoystv zhidkostey (Spravochnik)* [Calculation of physicochemical properties of liquids (Handbook)]. Leningrad, Khimiya, 1976, 112 p.
4. Yavorskiy B.M., Detlaf A.A., Lebedev A.K. *Spravochnik po fizike dlya inzhenerov i studentov vuza* [Handbook of physics for engineers and university students]. Moscow, Publishing LLC ONYX, 2006, 1056 p.
5. Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkovskiy A.M., ets. *Fizicheskie velichiny (Spravochnik)* [Physical quantities (Handbook)]. Moscow, Energoatomizdat, 1991, 1232 p.
6. Oblivin A.N., Voskresenskiy A.K., Semenov Yu.P. *Teplo i masso-perenos v proizvodstve drevesnostruzhechnykh plit* [Heat and mass transfer in the production of particleboard]. Moscow, Forest industry, 1978, 192 p.
7. Levin A.B., Semenov Yu.P. *Teplotekhnika: Spravochnoe posobie dlya resheniya zadach i vypolneniya raschetno-graficheskikh rabot* [Handbook to solve problems and perform calculation and graphic works]. Moscow, Moscow State Forest University, 1993, 108 p.
8. Shubin G.S. *Sushka i teplovaya obrabotka drevesiny* [Drying and heat treatment of wood]. Moscow, Forest Industry, 1990, 336 p.
9. Brdlik P.M., Morozov A. V., Semenov Yu. P. *Teplotekhnika i teplosnabzhenie predpriyatiy lesnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Heat engineering and heating of forest and wood industry]. Moscow, Forest Industry, 1988, 456 p.
10. Ugolev B.N., Lapshin Yu.G., Krotov E.V. *Kontrol' napryazheniy pri sushke drevesiny* [Strain control in drying]. Moscow, Forest Industry, 1980, 208 p.
11. Lapshin Yu.G., Potashev O.E. *Mekhanika drevesnykh plit* [Mechanic wallboard]. Moscow, Forest Industry, 1982, 203 p.
12. Yartsev V.P., Kiselyova O.A. *Prognozirovaniye povedeniya stroitel'nykh materialov pri neblagopriyatnykh usloviyakh ekspluatatsii* [Predicting the behavior of building materials at extreme conditions]. Tambov, Tambov Univ Thumb. Reg. tehn. University Press, 2009, 124 p.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДРЕВЕСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЯХ

А.Н. ОБЛИВИН, *проф. каф. процессов и аппаратов д/о производств МГУЛ, д-р техн. наук,*
 И.В. САПОЖНИКОВ, *доц. каф. процессов и аппаратов д/о производств МГУЛ,*
канд. техн. наук,
 М.В. ЛОПАТНИКОВ, *доц. каф. процессов и аппаратов д/о производств МГУЛ,*
канд. техн. наук

president@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
 141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Важнейшим фактором, влияющим на длительную прочность, является изменение температуры и влажности материала под воздействием окружающей среды, в которой находятся конструкции. Знакопеременные изменения влажности (увлажнение и сушка) и температуры (нагрев и охлаждение) вызывают влажностные и температурные деформации, что приводит к преждевременному разрушению материала. Авторы приводят зависимости термического сопротивления и внутренних напряжений, связанных непосредственно со структурой клеевого шва и адгезионной прочностью склеиваемого материала при определенных температурах отверждения, рассматривают влияние температуры и времени на степень отверждения карбамидного полимера, описывают влияние температуры среды на гидролитическую и термоокислительную устойчивость карбамидного полимера, рассматривают вопросы, связанные с прочностными характеристиками композиционных материалов на основе древесины, приводят значения теплофизических характеристик, а также зависимости деформаций древесно-стружечного пакета от времени. Приведенные в работе данные позволяют при экспериментальном получении недостающих замыкающих соотношений разработать математическую модель, описывающую изменение длительной прочности композиционных материалов на древесных наполнителях и оценить влияние внешних факторов на прочностные характеристики композита в процессе изготовления и эксплуатации.

Ключевые слова: композиционные материалы, древесный наполнитель, карбамидная смола, напряжения, длительная прочность.

Важнейшими факторами, влияющими на длительную прочность, являются изменение температуры и влажности материала под воздействием окружающей среды, в которой находятся конструкции из него. Знакопеременные изменения влажности (увлажнение и сушка) и температуры (нагрев и охлаждение) вызывают влажностные и температурные деформации, что приводит к преждевременному разрушению материала.

Композиционный материал структурно состоит из наполнителя, в нашем случае это древесная стружка разных размеров или древесная мука, и связующего. В качестве связующего чаще всего используют клеи на основе формальдегидных смол как наиболее дешевые. Исследованию различных характеристик композиционных материалов на основе древесины посвящено достаточно много работ [1–3] и др. Немало исследований выполнено по формированию древесно-стружечных плит в процессе плоского и экструзионного горячего прессования [4, 5]. Вместе с тем остается еще много вопросов по поведению отвержденного клеевого шва при цик-

лическом воздействии влажности и температуры, а также деформативности древесного наполнителя при циклическом воздействии увлажнения и усушки. Остается открытым вопрос взаимодействия связующего с поверхностью наполнителя. Также возникает необходимость в разработке расчетной модели для определения длительной прочности при длительных циклических воздействиях температуры и влажности в процессе эксплуатации композиционного материала.

Исследования, выполненные В.М. Поповым [6], установили зависимость термического сопротивления и внутренних напряжений, связанных непосредственно со структурой клеевого шва и адгезионной прочностью склеиваемого материала при определенных температурах отверждения. Если представить идеальную схему склеивания древесной стружки, то суммарное термическое сопротивление может быть записано в виде

$$R = R_k + R_1 + R_2, \quad (1)$$

где $R_k = \delta_k / \lambda_k$ – термическое сопротивление клеевого шва;

δ_k – толщина клеевого шва;

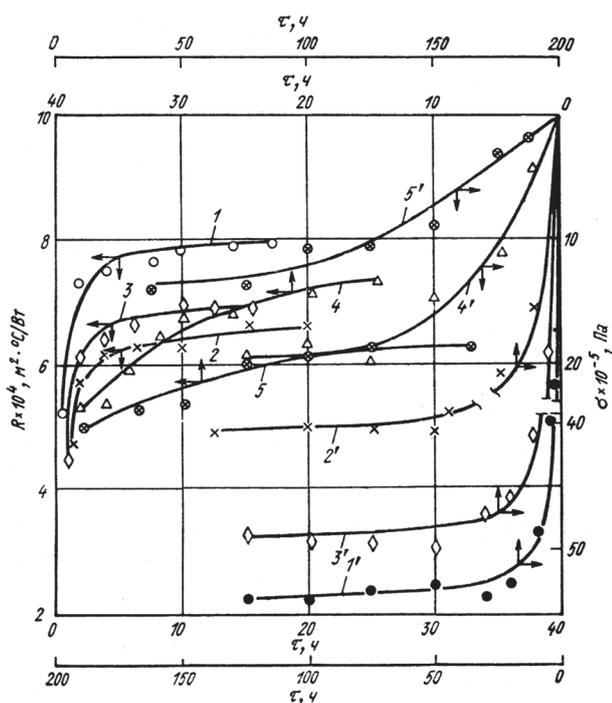


Рис. 1. Зависимость термического сопротивления (1–5) и внутренних напряжений (1'–5') от времени при формировании клеевых прослоек из различных композиций: 1, 1' и 4, 4' – ПН-1; 2, 2' и 5, 5' – КЛН-1; 3, 3' – ВС-10Т. Выносные шкалы времени для 4, 4' и 5, 5'

Fig. 1. The dependence of the thermal resistance (1-5) and the internal stress (1'-5') from the time when forming the adhesive layers of various compositions: 1, 1' and 4, 4' – ПН-1; 2, 2' and 5, 5' - КЛН-1; 3, 3' - ВС-10Т. Remote timeline 4, 4' and 5, 5'

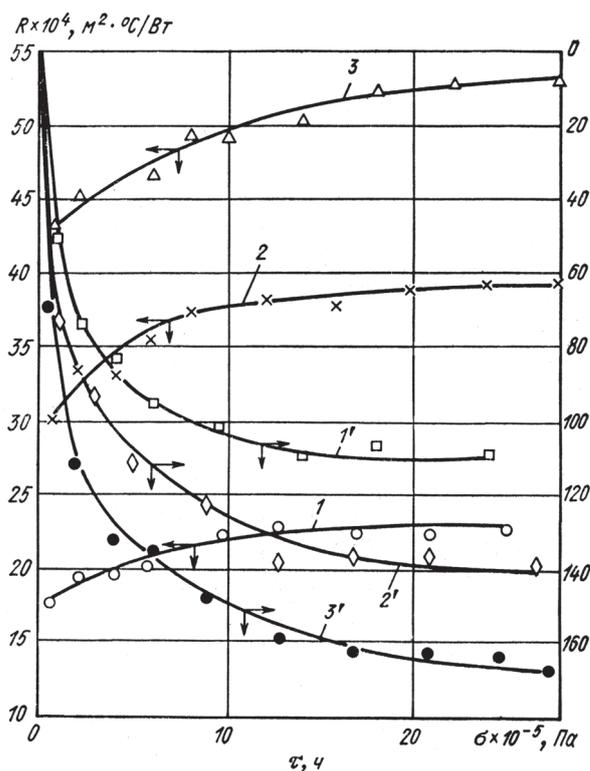


Рис. 2. Характер изменения термического сопротивления (1–3) и внутренних напряжений (1'–3') при формировании клеевых прослоек из ПН-1 различной толщины: 1, 1' – 0,3 мм; 2, 2' – 0,5 мм; 3, 3' – 0,7 мм

Fig. 2. The nature of the changes of thermal resistance (1-3) and the internal stress (1'-3') in the formation of adhesive interlayers of ПН-1 of different thicknesses: 1, 1' - 0,3 mm; 2, 2' - 0,5 mm; 3, 3' - 0,7 mm

λ_k – коэффициент теплопроводности отвержденной смолы;

R_1 и R_2 – соответственно термическое сопротивление древесной стружки,

$$R_1 = \delta_1/\lambda_1, R_2 = \delta_2/\lambda_2,$$

где δ_1 и δ_2 – толщина древесной стружки;

λ_1 и λ_2 – соответственно коэффициенты теплопроводности при известной влажности и температуре.

Можно полагать, что $R_1 = R_2$, тогда суммарное термическое сопротивление запишется в виде

$$R = R_k + 2R_{12}.$$

Нарастание и релаксация внутренних напряжений при отверждении клеевого шва будет зависеть от величины термического сопротивления клеевого шва и термических сопротивлений подложки R_k и R_{12} , что, безусловно, зависит от коэффициентов тепло-

проводности λ_k , λ_1 и λ_2 , а также от толщины δ_k , δ_1 и δ_2 .

Для качественного анализа зависимостей внутренних напряжений от термического сопротивления используем данные [6] при отверждении фенолоформальдегидного клея ВС-10Т. На рис. 1 приведены экспериментальные данные зависимостей термического сопротивления и внутренних напряжений от времени при формировании клеевых прослоек из различных композиций, в том числе и клея ВС-10Т. В качестве подложки использовался дюралюмин Д16Т при толщине клеевого шва 0,1 мм. По данным рис. 1 кривые $R = f(\tau)$ и $\sigma = f(\tau)$ имеют сходный характер изменения и отличаются количественно в зависимости от коэффициента теплопроводности клея.

На рис. 2 [6] представлены зависимости изменения термического сопротивления и

внутренних напряжений при формировании клеевых прослоек из ПН-1 различной толщины. Экспериментальные данные показывают, что при увеличении толщины клеевого шва возрастают предельные напряжения на границе клеевого шва и подложки, а изменение термического сопротивления в зависимости от толщины прослойки зависит, в основном, от степени взаимодействия структурных превращений на границе прослойка–подложка и в меньшей мере от химического состава клея. Значительное влияние на изменение терми-

ческого сопротивления и внутренних напряжений оказывает температура формирования клеевого шва (рис. 3.)

Таким образом, приведенные экспериментальные данные в работе [6] показывают, что механизм теплопереноса через клеевые прослойки на основе ненаполненных клеев определяют в основном структурные превращения на границе раздела клеевого шва и подложки, они же и формируют, по всей видимости, адгезионные связи, определяющие прочность композиционного материала.

Для более детального изучения изменений, происходящих с карбамидными смолами, были проведены исследования термоокислительной и гидролитической устойчивости отвержденной и термообработанной карбамидной смолы марки УКС в различных температурных условиях [7]. Ввиду того, что на физико-механические свойства, термическую и гидролитическую устойчивость терморезактивных смол, кроме прочих факторов (природы химических связей и функциональных групп, структуры и строения макромолекул и т.д.), большое влияние оказывает степень отверждения, перед исследованием была определена степень отверждения полимеров, термообработанных в различных условиях. Во всех опытах процесс отверждения смол проходил в тонком слое (толщина образца 1–2 мм) при присутствии 1 % NH_4Cl . Степень отверждения определяли методом экстракции различных образцов смол спиртоацетоновой смесью в аппарате Сокслета в течение 5 ч [4].

На рис. 4 видно, что наименьшее выделение количества экстрагируемых веществ, а значит и более полное отверждение происходит при повышенных температурах. Например, при 160 °С максимальная степень отверждения достигается через 4–5 мин. Абсолютная величина степени отверждения смол возрастает с увеличением температуры, т.е. для улучшения физико-механических свойств изделий на основе карбамидных смол повышение температуры термообработки до 150–160 °С – положительный фактор. Однако физико-механические свойства изделий из многокомпонентной системы часто зависят не

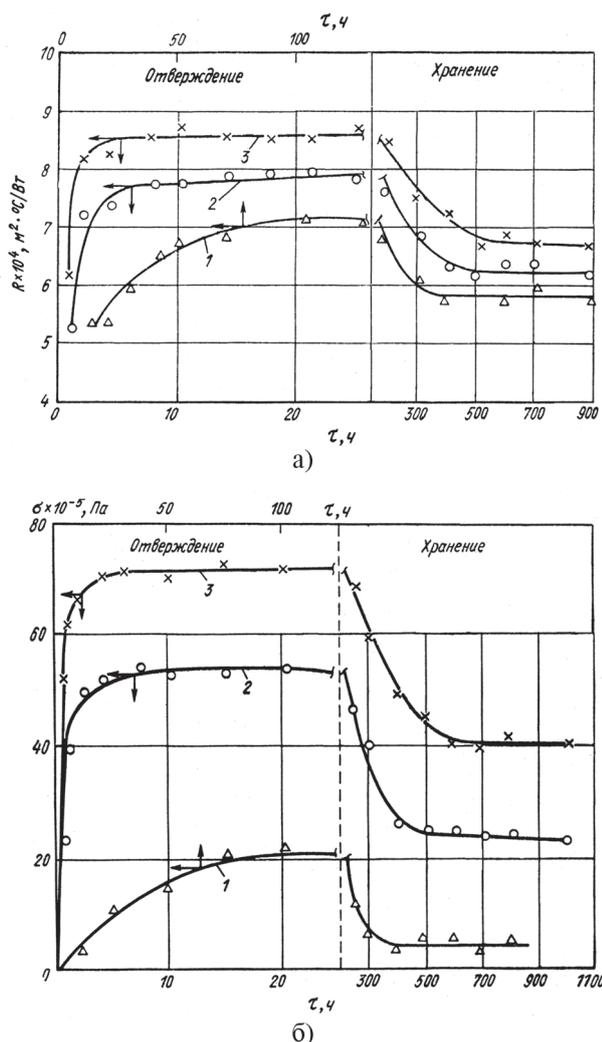


Рис. 3. Характер нарастания и релаксации термического сопротивления (а) и внутренних напряжений (б) для клеевых прослоек на основе ПН-1, сформированных при различной температуре: 1 – при 313 К; 2 – при 353 К; 3 – при 373 К

Fig. 3. Character of growth and relaxation of thermal resistance (a) and the internal stress (b) for the adhesive layers on the basis of PN-1, the molded at different temperatures: 1 - at 313 K; 2 - at 353 K; 3 - at 373 K

только от свойств отдельных составляющих композиций, но и от взаимодействия между собой входящих компонентов, поэтому часто свойства композиционных материалов рассматривают в целом на каком-то конкретном изделии.

Из данных термогравиметрических исследований видно, что образцы карбамидного полимера, термообработанные при 140 °С, наиболее устойчивы под действием высоких температур по сравнению с образцами, обработанными при других режимах (рис. 5).

Для изучения поведения отвержденных карбамидных смол в воздухе при повышенных температурах была исследована и определена их термоокислительная стабильность.

На рис. 6 и 7 видно, что при температуре до 160 °С отвержденный карбамидный полимер из смолы УКС устойчив к термоокислительной деструкции в воздухе и общая потеря массы образца при этом составляет 8–10 %. При температуре выше 180 °С происходит интенсивная деструкция полимера с изменением цвета образца от светло-желтого до коричневого и с выделением большого количества газообразных продуктов. При температуре выше 180 °С, по-видимому, происходит разрыв химических связей по амидным, метиленовым и метиленэфирным звеньям, а также гомолитическое расщепление метилольных групп с выделением CH_2O .

Были определены гидролитическая устойчивость отвержденных карбамидных олигомеров при температуре среды от 20 до 100 °С, а также влияние фактора термообработки на устойчивость смол к гидролизу [7]. На рис. 6, 7 видно, что карбамидные смолы малоустойчивы к гидролизу водой, особенно при температуре среды выше 70 °С. Наиболее гидролитически устойчивы термообработанные образцы.

Гидролитическая устойчивость карбамидного полимера к действию кипящей воды наблюдалась на образцах смолы, отвержденных при температуре 100 °С в течение 7 мин и термообработанных при 120, 140 и 160 °С в течение 2 ч. На рис. 8 видно, что независимо от условий термообработки карбамидные

смолы неустойчивы к кипячению в воде. Интенсивная потеря массы термообработанных образцов карбамидного полимера наблюдается

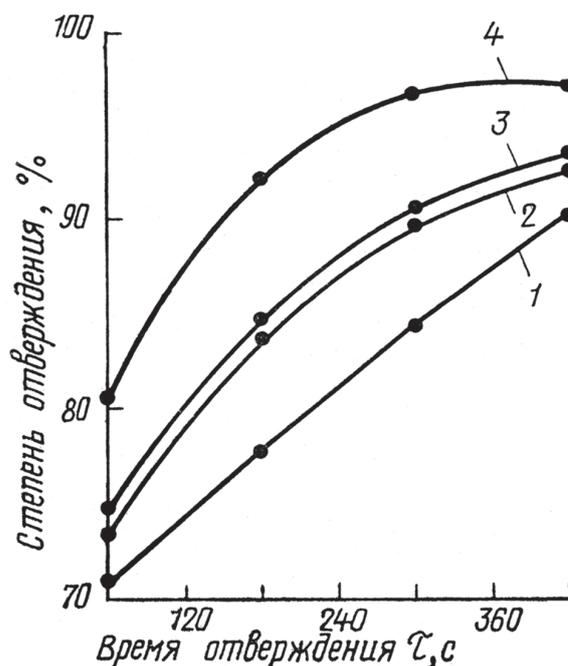


Рис. 4. Влияние температуры и времени на степень отверждения карбамидного полимера: 1 – при 100 °С; 2 – 120 °С; 3 – 140 °С; 4 – 160 °С. ● – результаты эксперимента

Fig. 4. Effect of time and temperature on the degree of polymer curing urea: 1 – 100 °С; 2 – 120 °С; 3 – 140 °С; 4 – 160 °С. ● - the results of the experiment

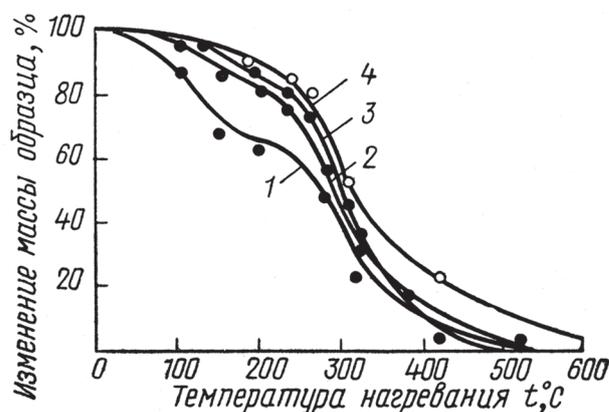


Рис. 5. Термогравиметрические кривые карбамидного полимера, отвержденного при температуре 100 °С в течение 7 мин при скорости нагрева 5 °С/мин: 1 – без термообработки; 2, 3, 4 – термообработка соответственно при 50, 100 и 140 °С. ○, ● – результаты эксперимента

Fig. 5. Thermogravimetric curves urea resin, cured at 100 °С for 7 minutes at a heating rate of 5 °С / min: 1 - no thermal treatment; 2, 3 and 4 - respectively heat treatment at 50, 100 and 140 °С. ○, ● - the results of the experiment

ся уже после 30 мин кипячения и составляет 27–34 % (первая цифра относится к образцу смолы, термообработанному при 160 °С, а вторая – при 120 °С). После 1 ч кипячения в воде отвержденных карбамидных смол потеря массы составляет 38–42 %, в дальнейшем, независимо от условий термообработки, потеря массы при продолжении кипячения практически не меняется и находится в пределах 40–43 %. Термический гидролиз карбамидных смол – большой недостаток таких

полимеров, и его необходимо учитывать при процессе акклиматизации и эксплуатации древесно-стружечных плит. Приведенные результаты дают возможность оценить изменение свойств связующего в тех или иных температурно-влажностных условиях, характеризующие прочностные характеристики композиционного материала.

За последние годы в качестве добавок для композитов стали использоваться наночастицы – это органоглины, графитовые хлопья, углеродные нанотрубки и ряд других материалов, если размер их частиц составляет порядка нанометров (тысячная доля микрона) или десятков нанометров.

В древесно-полимерных композитах нанодобавки стали применять сравнительно недавно. Как утверждает [3], наночастицы не повышают прочность композита при изгибе и растяжении, хотя полученные экспериментальные данные несколько противоречивы. В табл. 1 и 2 приведены данные по прочности на изгиб и модуль упругости композита на основе полипропилена и кленовой древесной муки, с добавлением наноглины.

Отмечено также, что наночастицы могут повысить водопоглощение древесно-полимерного композита. По данным [8], состав композита из 50 % полипропилена + наноглина, по массе 46 % кленовой древесной муки,

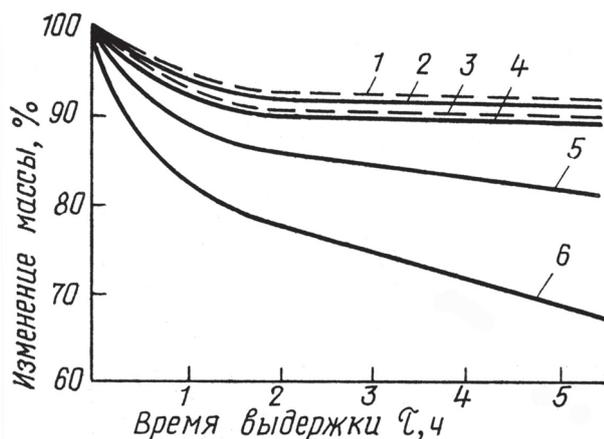


Рис. 6. Термоокислительная устойчивость карбамидного полимера в атмосфере воздуха: 1 – при 100 °С; 2 – 120 °С; 3 – 140 °С; 4 – 160 °С; 5 – 180 °С; 6 – 200 °С

Fig. 6. Thermooxidative stability urea polymer in air: 1 - 100 °С; 2 - 120 °С; 3 - 140 °С; 4 - 160 °С; 5 - 180 °С; 6 - 200 °С

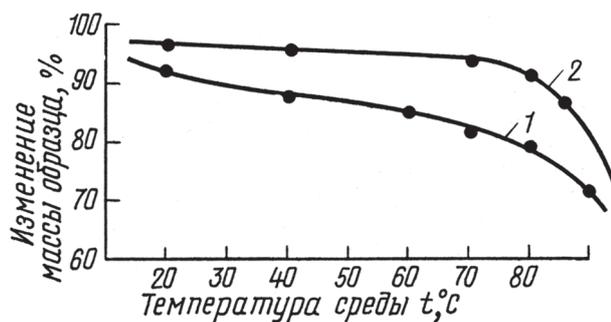


Рис. 7. Влияние температуры среды на гидролитическую устойчивость карбамидного полимера, в атмосфере воздуха, отвержденного при температуре 100 °С в течение 7 мин при скорости нагрева 5 °С/мин: 1 – без предварительной термообработки; 2 – с термообработкой в течение 2 ч при 140 °С

Fig. 7. Effect of temperature environment hydrolytic stability urea polymer in air, cured at 100 °С for 7 minutes at a heating rate of 5 °С / min 1 - without preliminary heat treatment; 2 - with heat treatment for 2 hours at 140 °С

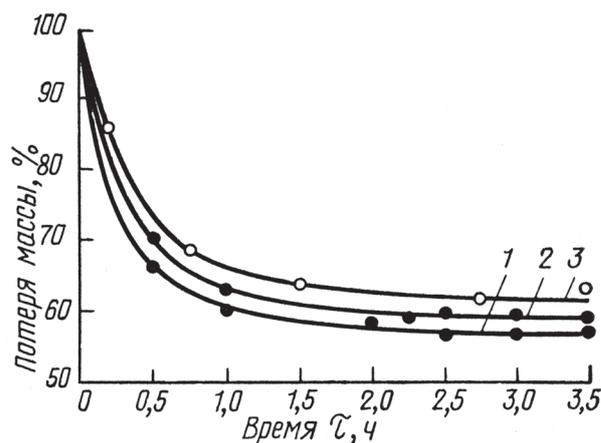


Рис. 8. Гидролитическая устойчивость в кипящей воде карбамидного полимера, термообработанного в течение 2 ч: 1 – при 120 °С; 2 – 140 °С; 3 – 160 °С

Fig. 8. Hydrolytic stability in boiling water, urea resin, heat-treated for 2 hours: 1 - at 120 °С; 2 - 140 °С; 3 - 160 °С

Т а б л и ц а 1

Влияние наноглины на прочность при изгибе и модуль упругости при изгибе ДПК на основе полипропилена, содержащего 50 % масс. кленовой древесной муки по данным [8] (аппрет не введен)

Effect nanoclay flexural strength and flexural modulus of the polypropylene-based WPC containing 50% by weight maple wood flour according to [8] (coupling agent is not entered)

Наноглина, % масс.	Прочность при изгибе, <i>psi</i>	Модуль упругости при изгибе, <i>psi</i>
0	5945	565500
2	5510	507500
4	5220	493000
10	4785	522000

Т а б л и ц а 2

Влияние наноглины на прочность при изгибе и модуль упругости при изгибе ДПК на основе полипропилена, содержащего 50 % масс. кленовой древесной муки по данным [8] (в присутствии 4 % аппрета, привитого на полипропилен малеинового ангидрида)

Effect nanoclay flexural strength and flexural modulus of the polypropylene-based WPC containing 50% by weight. maple wood flour according to [8] (the presence of 4% of a coupling agent for polypropylene graft maleic anhydride)

Наноглина, % масс.	Прочность при изгибе, <i>psi</i>	Модуль упругости при изгибе, <i>psi</i>
0	9860	536500
2	7250	436500
4	6815	609000
10	5800	638000
20	–	667000

Т а б л и ц а 3

Свойства плит, полученных с использованием наномодифицированной карбамидоформальдегидной смолы КФМТ-15

Properties of plates produced using nano-modified urea-formaldehyde resin КФМТ-15

Образец смолы	Наименование показателя				
	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Разбухание за 24 ч, %	Плотность, кг/м ³	Содержание формальдегида, %
Исходная смола	0,25	18,1	45	738	12,3
Модифицированная наночастицами	0,32	17,8	44	742	12,4

при выдержке в воде в течение одного месяца поглотил 2,9 % воды при 4 % наноглины. При 10 % наноглины – 4,4 %. Тот же композит без наноглины за тот же срок – всего 2,7 %.

В МГУЛ были проведены поисковые экспериментальные исследования по модификации карбамидоформальдегидных олигомеров углеродными нанотрубками [9]. Углеродные нанотрубки имели внешний диаметр 60–80 нм, внутренний диаметр 10 нм, длина составляла 5–7 мкм. В экспериментах использовали малотоксичную карбамидоформальдегидную смолу КФМТ-15 при мольном соотношении К:Ф=1:1,3. Расход наномоди-

фикатора – 1 % от массы товарной смолы. Методика подготовки наномодифицированной смолы изложена в [9].

В табл. 3 приведены данные по свойствам плит, изготовленных с использованием наномодифицированной смолы КФМТ-15. Как следует из анализа опытных данных, установлено повышение предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти в пределах 30 %. Водостойкость и токсичность плит осталась на прежнем уровне. Наномодифицированная смола КФМТ-15 была использована при склеивании образцов фанеры. В среднем предел прочности при скалывании

Экспериментальные значения теплофизических характеристик древесно-стружечного пакета по данным [10]

The experimental values of the thermophysical characteristics of wood chip package according to [10]

$W, \%$	$p, \text{МПа}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c, \text{кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$	$a\cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$	$\lambda, \text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$
25	0,1	218	2,00	1,80	0,0782
25	3,5	775	2,00	2,00	0,15
25	8,92	1100	2,00	1,04	0,23
20	0,9	215	1,85	2,17	0,0865
20	1,14	460	1,85	1,42	0,121
20	3,00	750	1,85	1,21	0,168
20	6,52	980	1,85	1,21	0,219
20	8,65	1050	1,85	1,22	0,233
11	3,5	630	1,68	1,09	0,115
11	5,0	730	1,68	1,05	0,129
11	8,64	940	1,68	1,1	0,175
6,2	0,1	207	1,30	2,71	0,073
6,2	1,0	330	1,30	2,18	0,0935
6,2	3,0	500	1,30	1,6	0,105
6,2	4,5	590	1,30	1,56	0,120
6,2	5,5	650	1,30	1,55	0,131
6,2	7,0	740	1,30	1,53	0,147
6,2	8,5	830	1,30	1,51	0,163

увеличился на 30 %, вместе с тем, использование углеродных частиц нанометрового размера и способ подготовки модификатора нуждаются в дополнительном исследовании.

Для оценки теплофизических и структурно-механических свойств композиционного материала необходимо знать физические характеристики наполнителя (в нашем случае наполнителем является древесная стружка различных фракций или древесное волокно) и самого композиционного материала в процессе изготовления и эксплуатации. Экспериментальные значения теплофизических характеристик стружечного пакета приведены в табл. 4.

Все теплофизические характеристики отнесены к плотности влажного материала. Зависимость удельной теплоемкости от влажности при температуре 27 °С можно описать уравнением [7]

$$c(W) = \frac{2,06 \cdot (W - 2)}{W(1 - 0,001 \cdot W)}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \quad (2)$$

Удельная теплоемкость древесно-стружечного пакета при соответствующих значениях температуры и влажности совпадает с удельной теплоемкостью древесно-

стружечных плит, а значения коэффициента теплопроводности пакета выше в 1,3–1,4 раза, чем у древесно-стружечных плит. Коэффициент теплопроводности зависит от плотности влажного материала. Эта зависимость описывается уравнением [7]

$$\lambda(\rho) = 0,08 + \frac{\rho^2}{7,6 \cdot 10^6}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad (3)$$

Зависимость коэффициента температуропроводности a от плотности ρ и влажности W можно описать уравнением [7]

$$a(W, \rho) = \frac{W \cdot (1 - 0,001 \cdot W)(0,64 \cdot \rho^2 + 3,9 \cdot 10^5)}{\rho \cdot (W - 2) \cdot 10^{10}}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \quad (4)$$

Однако при моделировании процессов горячего формования композиционных материалов с древесными наполнителями и исследовании влияния внешних факторов на длительную прочность композиционных материалов, помимо теплофизических характеристик, необходимо знать функциональную зависимость деформации от напряжений. Поскольку древесина является естественным природным полимером, а связующее – синтетическим полимером, то композиционному материалу на их основе присущи все три вида известных деформаций: упругая, на-

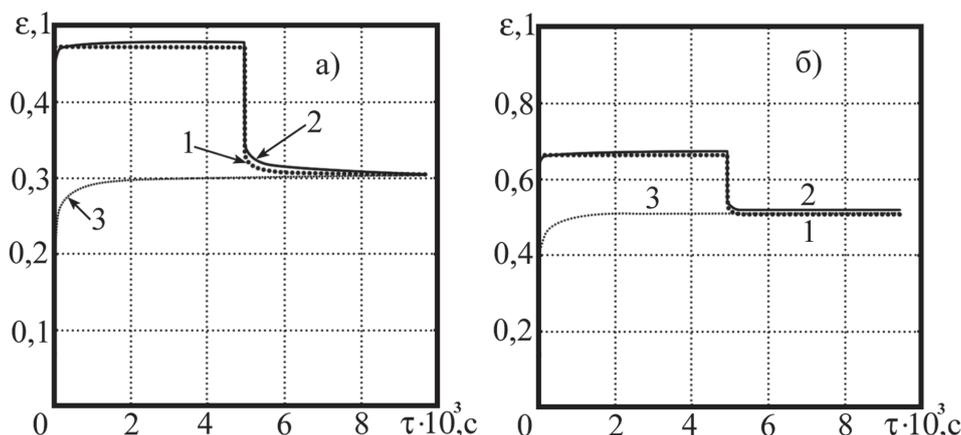


Рис. 9. Деформация древесно-стружечного пакета: а) влажность 3 %, температура 20 °С; б) влажность 3 %, температура 95 °С: 1 – экспериментальные данные, 2 – расчет полной деформации, 3 – пластическая деформация

Fig. 9. Deformation wood chip package: a) 3% humidity, temperature 20 °С; b) 3% humidity, 95 °С: 1 - experimental data 2 - calculation of the total deformation, 3 - plastic deformation

следственно упругая (вязкоупругая) и пластическая.

Древесно-полимерный пакет при переменном значении температуры ведет себя под нагрузкой как сложное деформируемое тело, подчиняющееся нелинейным законам наследственной упругости. Уравнение состояния древесно-полимерного пакета можно определить в виде интегральной зависимости

$$\left(\frac{\sigma(t)}{E(T)} - \varepsilon_p(t)\right)^n = \varepsilon(t) - \int_0^t R(T, t-\tau) \cdot \varepsilon(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Для проведения расчетов, коэффициенты в нелинейном соотношении (4) определялись по результатам обработки экспериментальных данных [11]. Ядро наследственной упругости задавалось в соответствии с [12] в виде трехпараметрической зависимости

$$R(\tau) = \frac{\gamma}{\theta} \cdot \left(\frac{\theta}{\tau}\right)^{1-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1, \quad (6)$$

где коэффициенты γ и θ отражают зависимость ядра от температуры по линейному закону

$$\gamma(T) = \gamma_0 + \gamma_T T, \quad (7)$$

$$\theta(T) = \theta_0 + \theta_T T. \quad (8)$$

Пластическая деформация ползучести при сжатии пакета определялась в соответствии с теорией упрочнения [12]

$$\frac{d\varepsilon_p}{dt} = \varphi\left(\frac{\sigma}{E(T, w)}\right) \cdot \varepsilon_p^{-m}; \quad \varphi(z) = z^n. \quad (9)$$

На рис. 9 представлены зависимости деформаций от времени, полученные по результатам обработки экспериментальных данных.

Анализ деформационных зависимостей показал, что с приемлемой точностью для аппроксимации уравнения состояния для древесных частиц можно использовать упрощенное нелинейное соотношение

$$E \cdot \varepsilon^\beta(x, t) = \sigma(x, t) + \int_0^t \frac{E \cdot \sigma(x, \tau) d\tau}{\gamma \cdot (\beta \cdot (t - \tau))^\alpha}, \quad (10)$$

где $\beta = 6,52$; $\gamma = 419$ МПа;

$$\alpha(T) = 0,847 - 0,03T;$$

$$E(T) = 21,32 - 0,18T, \text{ МПа.}$$

Приведенные в работе данные, основанные на результатах предыдущих исследований, и система уравнений (2–10) позволяют при экспериментальном получении недостающих замыкающих соотношений разработать математическую модель, описывающую изменение длительной прочности композиционных материалов на древесных наполнителях и оценить влияние внешних факторов на прочностные характеристики композита в процессе изготовления и эксплуатации.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Лапшин, Ю.Г. Деформативность и прочность древесины и древесно-стружечных плит в технологических процессах: дисс. ... д-ра техн. наук / Ю.Г. Лапшин. – М., 1981. – 328 с.

2. Хрулев, В.М. Зависимость оптимальной толщины клеевой прослойки от шероховатости соединяемых поверхностей и реологических свойств клея / В.М. Хрулев // *Механика полимеров*. – 1965. – № 6. – С. 103–107.
3. Клесов, А. Древесно-полимерные композиты / А. Клесов. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 756 с.
4. Обливин, А.Н., Тепло и массо- перенос в производстве древесно-стружечных плит / А.Н. Обливин, А.К. Воскресенский, Ю.П. Семенов. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 192 с.
5. Моделирование свойств и процессов прессования реактопластов: монография / под общ. ред. А.Н. Обливина. – М.: МГУЛ, 2005. – 283 с.
6. Попов, В.М. Теплообмен через соединения на клеях. – М.: Энергия, 1974. – 304 с.
7. Азаров, В.И. Исследование гидрометрической и термической устойчивости карбамидных смол в условиях прессования и термозакалки древесно-стружечных плит / В.И. Азаров, А.Н. Обливин, Ю.П. Семенов // *Лесной журнал*. – 1975. – № 4. – С. 104–107.
8. S.-K. Yeh, A. Al-Mulla, and R.K. Gupta. Influence of the coupling agent of polypropylene/clay nanocomposite-based wood-plastic composites. ANTEC, Society of Plastic Engineers, Brookfield, CT, 2005, pp. 1290–1294.
9. Обливин, А.Н. Модификация карбамидоформальдегидных олигомеров углеродными нанотрубками. / А.Н.Обливин, А.Ю.Семочкин, Ю.А.Семочкин, М.В. Лопатников // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*. 2012. – № 7(90). – С. 121–124.
10. Крылов, Б.А. Исследование теплофизических свойств стружечного пакета / Б.А. Крылов // *Сб. трудов МЛТИ*. – 1974. – № 64. – С. 154–155.
11. Ткаченко, М.А. Деформативность древесных частиц при прессовании : дис. ... канд. техн. наук / М.А. Ткаченко – М., 1993. – 226 с.
12. Ржаницын, А.Р. Теория ползучести / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1968. – 419 с.

INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON LONG-TERM STRENGTH OF COMPOSITE MATERIALS WITH WOOD FILLER

Oblivin A.N., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Sapozhnikov I.V.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Lopatnikov M.V.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)

prezident@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The most important factors affecting the long-term strength, are the changes in temperature and humidity of the material under the influence of the environment, in which the structures of the material are. The changes in the humidity (humidification and drying) and the temperature (cooling and heating) cause humidity and temperature strains, which leads to premature failure of the material. The authors show the dependence of the thermal resistance and stress related directly to the structure of the adhesive joint and adhesive strength of the material adherent under certain hardening temperatures, consider the effect of the temperature and time on the degree of carbamide resin strength, describe the effect of the ambient temperature on the thermal-oxidative and hydrolytic stability of the carbamide resin, consider the issues related to the strength properties of the composite materials based on wood, show their thermophysical characteristics, as well as the characteristics of wood chip packet strain depending on time. The data published let us to develop a mathematical model that describes the change in the long-term strength of composite materials on the wood filler and assess the impact of external factors on the strength characteristics of the composite during fabrication and exploitation by getting the missing the experimental closure relations.

Key words: composite materials, wood filler, urea resin, strain, long-term strength.

References

1. Lapshin Yu.G. *Deformativnost' i prochnost' drevesiny i drevesnostruzhechnykh plit v tekhnologicheskikh protsessakh*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Deformability and strength of wood and chipboard in technological processes. Dr. techn. sci. diss.]. Moscow, 1981, 328 p.
2. Khrulev V.M. *Zavisimost' optimal'noy tolshchiny kleevoy prosloyki ot sherokhovatosti soedinyayemykh poverkhnostey i reologicheskikh svoystv kleya* [Dependence of the optimal thickness of the adhesive layer on the roughness of the surfaces and the rheological properties of the adhesive]. *Mekhanika polimerov* [Mechanics of polymers], 1965, no. 6, pp. 103–107.
3. Klesov A. *Drevesno-polimernye kompozity* [Wood-polymer composites]. St. Petersburg, Fundamentals and Technologies, 2010, 756 p.
4. Oblivin A.N., Voskresenskiy A.K., Semenov Yu.P. *Tepl o masso-perenos v proizvodstve drevesnostruzhechnykh plit* [Heat and mass transfer in the production of particleboard]. Moscow, Forest industry, 1978, 192 p.
5. Oblivin A.N., et al. *Modelirovani e svoystv i protsessov pressovaniya reaktoplastov* [Modeling properties and compaction processes thermosets]. Moscow, Moscow State Forest University, 2005, 283 p.
6. Popov V.M. *Tepl oobmen cherez soedineniya na kleyakh* [Heat transfer through the connection on adhesives]. Moscow, Publishing House of Energy, 1974, 304 p.
7. Azarov V.I., Oblivin A.N., Semenov Yu.P. *Issledovanie gidrometricheskoy i termicheskoy ustoychivosti karbamidnykh smol v usloviyakh pressovaniya i termozakalki drevesnostruzhechnykh plit* [Investigation of the thermal stability and gauging urea resins under compression and thermalquenching chipboard]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 1975, no. 4, pp. 104–107.
8. S.-K. Yeh, A. Al-Mulla, and R.K. Gupta. Influence of the coupling agent of polypropylene/clay nanocomposite-based wood-plastic composites. ANTEC, Society of Plastic Engineers, Brookfield, CT, 2005, pp. 1290–1294.
9. Oblivin A.N., Semochkin A.Yu., Semochkin Yu.A., Lopatnikov M.V. *Modifikatsiya karbamidoformal'degidnykh oligomerov uglerodnymi nanotrubkami* [Modification of ureaformaldehyde oligomers carbon nanotubes]. Bulletin of the Moscow State University of Forestry – Forestry Bulletin, 2012, no. 7(90), pp. 121–124.
10. Krylov B.A. *Issledovanie teplofizicheskikh svoystv struzhechnogo paketa* [Thermophysical properties of chip packages]. *Trudy MLTI* [Proc. of the MSFI], 1974, no. 64, pp. 154–155.
11. Tkachenko M.A. *Deformativnost' drevesnykh chas tit pri pressovanii*. Diss. ... kand. tekhn. nauk [Deformability of wood particles during compaction. Cand. techn. sci. diss.]. Moscow, 1993, 328 p.
12. Rzhantsyn A.R. *Teoriya polzuchesti* [Creep theory]. Moscow, Stroyizdat, 1968, 419 p.

ЗАВИСИМОСТЬ УПРУГИХ ПОСТОЯННЫХ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО МАТЕРИАЛА ОТ ОБЪЕМНОГО СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ

В.И. ЗАПРУДНОВ, проф. каф. геодезии и строительного дела МГУЛ, д-р техн. наук

zaprudnov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

В статье приведены исследования зависимости эффективных упругих постоянных древесно-цементных композитных материалов от объемного содержания компонентов и проведено их сравнение с экспериментальными данными. Приведены зависимости прочности при сжатии, модулей упругости и модулей сдвига от объемного содержания частиц заполнителя и вяжущего в композите. Расчетная прочность, расчетный модуль упругости и расчетный модуль сдвига древесно-цементного материала исследованы в зависимости от объемного содержания древесного заполнителя $c_1 = 190 \text{ кг/м}^3$, $c_1 = 170 \text{ кг/м}^3$, $c_1 = 150 \text{ кг/м}^3$ и относительного расхода цемента c_2 , изменявшегося от 0,50 до 0,58 для марок цемента М400 и М500. Упругие постоянные компонентов древесно-цементного композита имели значения: трансверсально-изотропные частицы древесной дробленки $E_1 = 6,0 \text{ ГПа}$, $\nu_1 = 0,3$; изотропный цементный камень $E_2 = 40,0 \text{ ГПа}$, $\nu_2 = 0,25$ и $E_2 = 50,0 \text{ ГПа}$, $\nu_2 = 0,2$. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы: у древесно-цементных композитов значения прочности при сжатии, модулей упругости и модулей сдвига возрастают с увеличением объемного содержания частиц заполнителя и вяжущего; чем выше марка вяжущего, тем больше величина эффективных упругих постоянных древесно-цементных композитных материалов. Предложенный метод расчёта однонаправленных трансверсально-изотропных древесно-цементных композитов достаточно точен и обеспечивает достоверные результаты. Это позволяет использовать его при составлении алгоритмов и пакетов прикладных программ для расчёта свойств древесно-цементных композитов и выбора оптимальной структуры материала.

Ключевые слова: древесно-цементный материал, эффективные упругие постоянные.

С помощью полученных в работе [1] выражений (2.129), (2.134) для вычисления зависимости между средними напряжениями, деформациями и температурой в трансверсально-изотропном древесно-цементном материале были исследованы зависимости эффективных упругих постоянных древесно-цементных композитных материалов от объемного содержания компонентов и проведено их сравнение с экспериментальными данными.

$$\begin{aligned} \langle \sigma_{kl} \rangle &= \lambda_{12}^* \langle \varepsilon_{rr} \rangle \delta_{kl} + \lambda_{13}^* \langle \varepsilon_{33} \rangle \delta_{kl} + 2\lambda_{66}^* \langle \varepsilon_{kl} \rangle - \beta_1^* \theta \delta_{kl}; \\ \langle \sigma_{33} \rangle &= \lambda_{13}^* \langle \varepsilon_{rr} \rangle + \lambda_{33}^* \langle \varepsilon_{33} \rangle - \beta_3^* \theta; \\ \langle \sigma_{k3} \rangle &= 2\lambda_{44}^* \langle \varepsilon_{k3} \rangle; \quad (k, l, r = 1, 2). \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$\begin{aligned} \langle \sigma_{kl} \rangle &= (k^* - m^*) \langle \varepsilon_{rr} \rangle \delta_{kl} + 2m^* \langle \varepsilon_{kl} \rangle + 2k^* v'^* \langle \varepsilon_{33} \rangle \delta_{kl} - \beta_1^* \theta \delta_{kl}; \\ \langle \sigma_{33} \rangle &= 2k^* v'^* \langle \varepsilon_{rr} \rangle + (E'^* + 4k^* v'^*{}^2) \langle \varepsilon_{33} \rangle - \beta_3^* \theta; \\ \langle \sigma_{k3} \rangle &= 2\mu^* \langle \varepsilon_{k3} \rangle. \end{aligned} \quad (2)$$

Для проведения теоретических исследований необходимо задать значения $c_1, E_1, \nu_1, c_2, E_2, \nu_2, c_3$ – соответственно относительные объемные содержания, модули упругости, коэффициенты Пуассона частиц органического заполнителя, цементного вяжущего.

Для древесно-цементного материала, упрочненного частицами древесной дробленки хвойных пород, результаты теоретических исследований иллюстрируются графиками, представленными на рис. 1–4. Приведены зависимости прочности при сжатии, модулей упругости и модулей сдвига от объемного содержания частиц заполнителя c_1 и вяжущего c_2 в композите. Упругие постоянные компонентов древесно-цементного композита имели значения: трансверсально-изотроп-

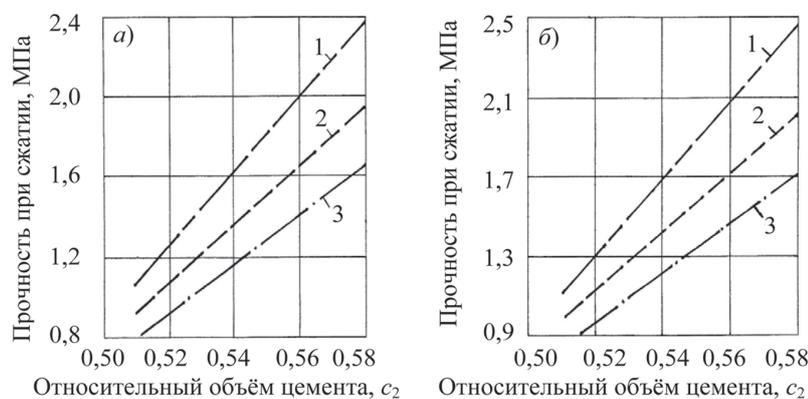


Рис. 1. Расчетная прочность древесно-цементного материала в зависимости от относительного объемного содержания компонентов для марок цемента а – М400; б – М500 при: 1 – $c_1 = 190 \text{ кг/м}^3$; 2 – $c_1 = 170 \text{ кг/м}^3$; 3 – $c_1 = 150 \text{ кг/м}^3$
 Fig. 1. The estimated strength of wood-cement material, depending on the relative volume of components for brands and cement - M400; b - M500 with 1 - $c_1 = 190 \text{ kg / m}^3$; 2 - $c_1 = 170 \text{ kg / m}^3$; 3 - $c_1 = 150 \text{ kg / m}^3$

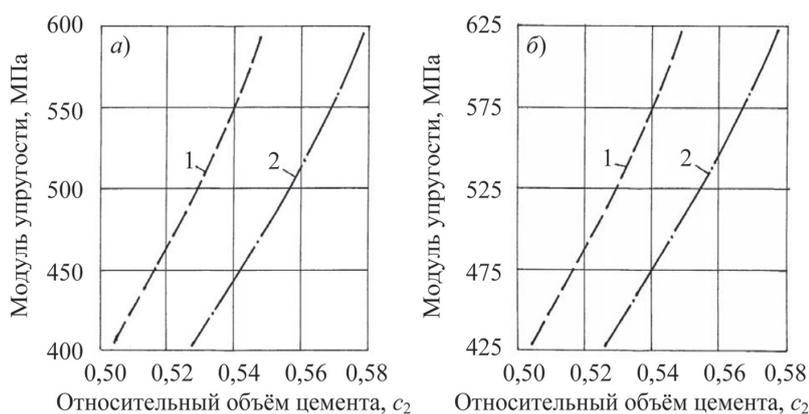


Рис. 2. Расчетный модуль упругости древесно-цементного материала в зависимости от относительного объемного содержания компонентов для марок цемента а – М400; б – М500 при: 1 – $c_1 = 170 \text{ кг/м}^3$; 2 – $c_1 = 150 \text{ кг/м}^3$

Fig. 2. Estimate the modulus of elasticity of wood-cement material, depending on the relative volume of components for brands and cement a - M400; b - M500 with: 1 - $c_1 = 170 \text{ kg/m}^3$; 2 - $c_1 = 150 \text{ kg/m}^3$

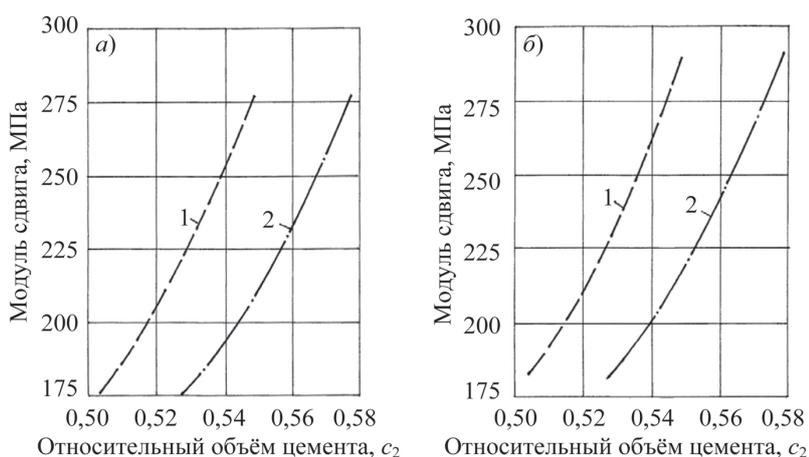


Рис. 3. Расчетный модуль сдвига древесно-цементного материала в зависимости от относительного объемного содержания компонентов для марок цемента а – М400; б – М500 при: 1 – $c_1 = 170 \text{ кг/м}^3$; 2 – $c_1 = 150 \text{ кг/м}^3$

Fig. 3. Estimate the shear modulus of wood-cement material, depending on the relative volume of components for brands and cement a - M400; b - M500 with: 1 - $c_1 = 170 \text{ kg/m}^3$; 2 - $c_1 = 150 \text{ kg/m}^3$

ные частицы древесной дробленки $E_1 = 6,0 \text{ ГПа}$, $\nu_1 = 0,3$; изотропный цементный камень $E_2 = 40,0 \text{ ГПа}$, $\nu_2 = 0,25$ и $E_2 = 50,0 \text{ ГПа}$, $\nu_2 = 0,2$.

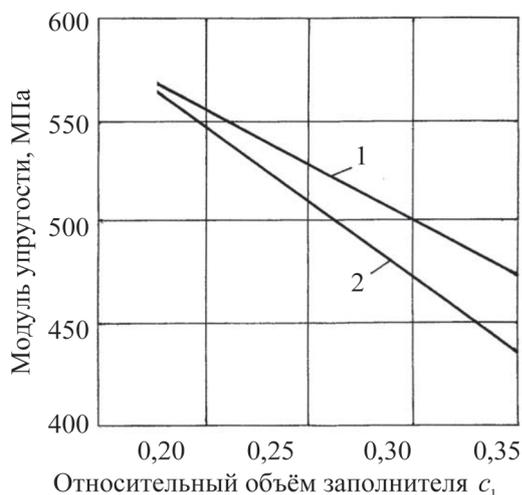


Рис. 4. Расчетный модуль упругости древесно-цементного материала в зависимости от относительного объемного содержания частиц органического заполнителя c_1 для марок цемента: 1 – М500; 2 – М400

Fig. 4. Estimate the modulus of elasticity of wood-cement material, depending on the relative volume content of organic filler particles c_1 to cement grades: 1 - M500; 2 - M400

Результаты теоретических исследований позволяют сделать следующие выводы. У древесно-цементных композитов значения прочности при сжатии, модулей упругости и модулей сдвига возрастают с увеличением c_1 и c_2 . Чем выше марка вяжущего, тем больше величина эффективных упругих постоянных древесно-цементных композитных материалов.

При увеличении относительного объема органического заполнителя c_1 уменьшаются значения модулей упругости (рис. 4). Предложенный метод расчета однонаправленных трансверсально-изотропных древесно-цементных композитов достаточно точен и обеспечивает достоверные результаты. Это позволяет использовать его при составлении алгоритмов и пакетов прикладных программ для расчета свойств древесно-цементных композитов и выбора оптимальной структуры материала.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Запруднов, В.И. Эффективные свойства древесно-цементных композитов В.И. / Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 5(97). – С. 203–205.
2. Запруднов, В.И. Напряженно-деформированное состояние трехслойных деревянных конструкций с материалом среднего слоя из фиброцементной массы / В.И. Запруднов, А.С. Щербаков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 4(87). – С. 99–103.
3. Запруднов, В.И. Методы расчета и прогнозирования прочности и деформации древесно-минерального композита / В.И. Запруднов, А.С. Щербаков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 4(87). – С. 97–99.
4. Запруднов, В.И. Принципы построения теории прочности и деформативности древесно-минерального композита / В.И. Запруднов, А.С. Щербаков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 3(86). – С. 130–132.
5. Запруднов, В.И. Трехслойные конструкции с древесно-цементными теплоизоляционными слоями / В.И. Запруднов. – М.: МГУЛ, 2006. – 322 с.
6. Санаев, В.Г. Описание деформаций и микроразрушений в условиях упруговязкопластической среды / В.Г. Санаев, Б.М. Рыбин, В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 3(86). – С. 92–96.
7. Щербаков, А.С. Прочность и деформации древесно-цементного композита / А.С. Щербаков, В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 5(97). – С. 200–203.
8. Хорошун, Л.П. Прогнозирование эффективных свойств пьезоактивных композитных материалов / Л.П. Хорошун, Б.П. Маслов, П.В. Лещенко. – Киев: Наукова думка, 1989. – 206 с.
9. Хорошун, Л.П. Вычисление упругих свойств арболита / Л.П. Хорошун, А.С. Щербаков // Сб. научн. тр. МЛТИ. – 1976. – Вып. 93. – С. 161–168.
10. Хорошун, Л.П. Прочность и деформативность арболита / Л.П. Хорошун, А.С. Щербаков. – Киев: Наукова думка, 1979. – 192 с.
11. Zaprudnov V.I. Predicting mechanical properties of wood-cemented materials. Wood Structure and Properties '10 187 edited by J. Kúdela & R. Lagaña, pp. 187–189 2010, Arbora Publishers, Zvolen, Slovakia

THE RELATIONSHIP BETWEEN ELASTIC CONSTANT OF SAWDUST CEMENT MATERIALS AND COMPONENT VOLUME CONTENT

Zaprudnov V.I., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)

zaprudnov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU) 1st Institutskaya St., 1, 141005, Mytischy, Moscow Region, Russia

The article shows the dependence of the effective elastic constant materials of sawdust cement on the volume content and compares it with the experimental data. The article exemplifies the dependance of compression strength, breaking strength factor and shear modulus of elasticity on volume content of the filling particles and power of cementation in a composite. The estimated values of strength, elasticity and shear modules were studied depending on wood filler rate ($C_2=190 \text{ kg/m}^3$, $C_1=170 \text{ kg/m}^3$, $C_1=150 \text{ kg/m}^3$) and on cement consumption ratio C_2 , varied from 0,50 to 0,58 for M400 and M500 cement marks. The values of sawdust cement composite's elastic constant were varied: for sawdust transverse isotropic particles they were $E_1=6,0 \text{ hPa}$, $\nu_1=0,3$; for isotropic cement stone – $E_1=40,0 \text{ hPa}$, $\nu_1=0,25$ and $E_1=50,0 \text{ hPa}$, $\nu_1=0,2$. The analysis made leads to the following conclusions: the compression strength, breaking strength factor and shear modulus of elasticity raise with the increase of volume content of filling particles and power of cementation; the higher the filling grade, the higher the effective elastic constant of sawdust cement composite materials is. The proposed technique for unidirectional transverse isotropic sawdust cement composites' calculation is precise enough to give the authentic results. It is to be used in algorithms and software applied for sawdust cement composites properties' calculations and optimal material structure choose.

Key words: sawdust cement material, effective elastic constant

References

1. Zaprudnov V.I. *Effektivnyye svoystva drevesno-tsementnykh kompozitov*. [Effective properties of wood-cement composites]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013. № 5 (97). pp. 203-205.
2. Zaprudnov V.I., Shcherbakov A.S. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyaniye trekhsloynnykh derevyannykh konstrukttsii s materialom srednego sloya iz fibrotsementnoi massy* [The stress-strain state of the three-layer wooden structures with the material of the middle layer of fiber cement mass]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012. № 4 (87). pp. 99-103.
3. Zaprudnov V.I., Shcherbakov A.S. *Metody rascheta i prognozirovaniya prochnosti i deformatsii drevesno-mineral'nogo kompozita* [Methods of calculation and prediction of strength and deformation of wood and mineral composite]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012. № 4 (87). pp. 97-99.
4. Zaprudnov V.I., Shcherbakov A.S. *Printsipy postroeniya teorii prochnosti i deformativnosti drevesno-mineral'nogo kompozita* [Principles of construction of the theory of strength and deformability of wood and mineral composite]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik 2012. № 3 (86). pp. 130-132.
5. Zaprudnov V.I. *Trekhsloynnye konstrukttsii s drevesno-tsementnymi teploizolyatsionnymi sloyami* [Three-layer construction with wood-cement thermal insulation layers]. Moscow: MSFU, 2006. 322 p.
6. Sanaev V.G., Rybin B.M., Zaprudnov V.I. *Opisanie deformatsii i mikrorazrushenii v usloviyakh uprugoviyazkoplasticheskoi sredy* [Description of deformations and microfracture under elastoviscoplastic environment]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012. № 3 (86). pp. 92-96.
7. Shcherbakov A.S., Zaprudnov V.I. *Prochnost' i deformatsii drevesno-tsementnogo kompozita* [Strength and deformation of wood-cement composite]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik 2013. № 5 (97). pp. 200-203.
8. Khoroshun L.P., Maslov B.P., Leshchenko P.V. *Prognozirovaniye effektivnykh svoystv p'ezoaktivnykh kompozitnykh materialov* [Prediction of the effective properties of composite materials piezoactive]. Kiev: Science. Dumka, 1989. 206 p.
9. Khoroshun L.P., Shcherbakov A.S. *Vychisleniye uprugikh svoystv arbolita* [The calculation of the elastic properties of arbolita] Proc. Scien. tr. Mosk. Forestry Inst. 1976. Vol. 93. pp. 161-168.
10. Khoroshun L.P., Shcherbakov A.S. *Prochnost' i deformativnost' arbolita* [Strength and deformability arbolita]. Kiev, Naukova Dumka, 1979. 192 p.
11. Zaprudnov V.I. Predicting mechanical properties of wood-cemented materials. Wood Structure and Properties '10 187 edited by J. Kúdela & R. Lagaña, pp. 187–189 2010, Arbora Publishers, Zvolen, Slovakia

ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕМЕНТНО-ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Б.Д. РУДЕНКО, доц. каф. технологии композиционных материалов и древесиноведения
СибГТУ, канд. техн. наук

bor.rudenko@yandex.ru

Сибирский государственный технологический университет
660049, Красноярск, Мира 82

Принципом получения композиционного материала конгломератного типа оптимальной структуры является организация необходимого взаимодействия между компонентами. Принцип необходимости и достаточности условий создания оптимальной структуры рассматриваемого материала сформулирован таким образом, чтобы полно характеризовать нужные условия для такого создания. «Создание среды получения композита конгломератного типа» является этим принципом, потому что для формирования структурных связей данного конгломерата требуется именно комплекс условий, подразумеваемый под термином «среда». Условие оптимальности должно выражаться некоторым значением или понятием, т.е. взаимосвязь или количественное соотношение используемых структурных элементов должно быть в некоторых пределах. Эти пределы количественного соотношения используемых структурных элементов обеспечат оптимальность структуры, т.е. комплекс наилучших показателей свойств композиционного материала с конгломератным типом структуры. Основным показателем, характеризующим эффективность использования компонентов, является некоторая характеристика потребительских свойств. Для характеристики «прочность» определяющим является адгезионное взаимодействие. Для разных видов композиционных материалов разное значение соответствующей прочности, потому что совокупность компонентов структуры будет различаться. Приведены значения коэффициента пропорциональности для структурных элементов композиционных древесно-цементных материалов. Данные соотношения характеризуют принцип достаточности требуемых характеристик структурного элемента. Пользуясь полученными результатами, можно видеть количественную оценку использования различных компонентов при изменении характеристик данных композиционных материалов. Для детального рассмотрения этого вопроса и систематизации данных применительно к разным цементно-древесным материалам (арболит, ЦСП и т.п.), требуются дополнительные экспериментальные исследования.

Ключевые слова: принципы, цементно-древесный материал, соотношение, структура, компоненты, элементы, количественные соотношения

Цементно-древесный композиционный материал получается путем совмещения и взаимодействия структурных элементов соответствующих компонентов. Характеристики образующегося композита будут зависеть от того, каким образом происходит адгезионное взаимодействие, какие возникают граничные или переходные слои между структурными элементами, какие происходят межфазные явления, и, конечно, от характеристик самих структурных элементов. На процесс создания структурных связей определяющее влияние будут оказывать также пространственное расположение элементов и технологические факторы изготовления.

Условием получения композиционного материала конгломератного типа оптимальной структуры является организация необходимого взаимодействия между компонентами. Нужное взаимодействие будет происходить при выполнении (соблюдении) некоторого принципа.

Сформулируем принцип необходимости и достаточности условий создания

оптимальной структуры рассматриваемого материала таким образом, чтобы полно характеризовать нужные условия для такого создания. «Создание среды получения композита конгломератного типа» будет являться таким принципом. Потому что для формирования структурных связей данного конгломерата требуется именно комплекс условий, подразумеваемый под термином «среда». На рисунке приведена схема этого описания.

Рассмотрим структурные элементы, входящие в понятие «Создание среды получения композита конгломератного типа»:

- наполнитель (или комбинация наполнителей), З. Элемент формирования структуры, который определяет свойства материала;
- вяжущее (например, клинкерные вяжущие), В. Элемент, который ответственен за процедуры получения композита;
- активатор твердения вяжущего (если клинкерного), А. Элемент, который позволяет совместить рассматриваемые компоненты, в качестве которого могут выступать: химические добавки, пограничный слой наполнителя,

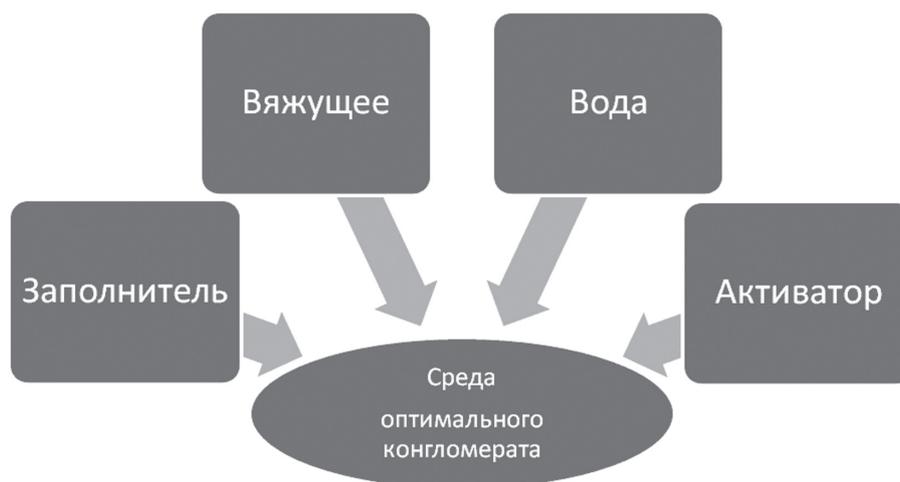


Рисунок. Схема структурных элементов цементно-древесного композиционного материала оптимального состава

Figure. The scheme of the structural elements of cement-wood composite material optimum composition

структурное изменение древесины, нейтрализация цементных ядов;

– вода (жидкость затворения), Ж. Элемент, необходимый для создания и протекания процесса формирования связей в композиционном материале конгломератного типа.

Количество компонентов может быть любым, однако конкретные представители компонентов выбираются при выполнении некоторых условий, т.е. требуется иметь «среду получения композита конгломератного типа».

Формирование среды – сложный процесс, который, в общем виде, можно выразить зависимостью

среда получения = f (компоненты, состояние компонентов, взаимное расположение компонентов, соотношение компонентов, пространственная укладка компонентов, технологические условия).

Данная среда не является единственной, однако при выборе среды следует учитывать возможность выполнения условий оптимальности создаваемой структуры.

Имеются разные методы для описания связи механических показателей и состава цементно-древесных композитов. В основу теории прогнозирования физико-механических свойств арболита положена модель механической смеси или композитного материала [1]. Щербаков А.С. предлагает использовать для этих целей основные уравнения теории упру-

гости. Рыбьев И.А. [2] предложил оригинальный метод для описания общих закономерностей формирования структуры и свойств различных строительных конгломератов, в том числе и цементно-древесных композиционных материалов. В развитие этого метода, для цементно-стружечных плит из древесины лиственницы, предложено [3] описание их прочности. Современная детализация рассматриваемой зависимости приведена в [4]. С учетом ряда специфических особенностей древесного заполнителя Наназашвили И.Х. [5] предлагает эмпирическое выражение, которое связывает прочность арболита оптимальной структуры с элементами этой структуры. Зависимость между прочностью бетона и характеристиками его компонентов описана Сулименко Л.М. [6]. Баженов Ю.М. [7] рассматривает прочность бетона как функцию пропорциональности от его плотности. Петроченков И.Г. [8] развивает идеи многокритериальности подхода для разработки теории прочности композитов, в которых рассматривается также и ограничения данного подхода.

Следует отметить подход авторов [9] для математического описания свойств композитов, где рассматривается моделирование физико-механических и теплофизических свойств композиционных материалов. В развитие такого выбора описания авторы [10] привели модели получения композиционных

**Коэффициенты пропорциональности для структурных элементов
цементно-древесных композиционных материалов**
Proportionality coefficients for the structural elements of wood-cement composites

Вид структурного элемента	Б (коэффициент пропорциональности)	С (характеристика элемента)
Заполнитель	20–50	Характеристика свойств заполнителя (форма)
Вяжущее	0,5–1	Активность вяжущего (Марка)
Вода	20–30	Удельная поверхность заполнителя
Активатор	1–10 (в зависимости от природы активатора)	Количество выделяющихся активных веществ заполнителя

материалов на основе отходов окорки и термoplastов в процессе прессования.

Однако во всех перечисленных описаниях отсутствует детализация главного компонента, ответственного за формирование свойств цементно-древесных композиционных материалов. Этим элементом является пограничный слой древесного заполнителя, или вопросы отравления цемента экстрактивными веществами древесного заполнителя.

Условие оптимальности должно выражаться некоторым значением, или понятием, т.е. взаимосвязь или количественное соотношение используемых структурных элементов должно быть в некоторых пределах. Эти пределы количественного соотношения используемых структурных элементов будут обеспечивать оптимальность структуры, т.е. комплекс наилучших показателей свойств композиционного материала с конгломератным типом структуры. Обозначим эту взаимосвязь через некоторые равенства. Тогда принципами оптимальности получения композиционного материала будут выбранные соотношения используемых компонентов в зависимости от принятых ограничений. В общем виде такая взаимосвязь выразится как $y = bx$.

Для количества используемого активатора

$$A = B \cdot C,$$

где А – количество активатора (% от массы вяжущего);

В – коэффициент, зависящий от характеристик активатора (для условий арболита, при использовании хлористого кальция, 1);

С – количество активных веществ, которые древесина выделяет в единицу времени (% от массы древесины).

Для количества заполнителя

$$Z = B \cdot C,$$

где Z – заполнитель (кг/м³);

В – коэффициент, зависящий от характеристик получаемого материала (для условий арболита, 25–50);

С – характеристика свойств заполнителя (для древесного заполнителя в арболите, коэффициент формы 5–8).

Аналогично и для других используемых компонентов структуры цементно-древесного композиционного материала с конгломератным типом структуры.

Основным показателем, характеризующим эффективность использования компонентов, будет являться некоторая характеристика потребительских свойств. Для характеристики «прочность» определяющим будет адгезионное взаимодействие. Для разных видов композиционных материалов будет разное значение соответствующей прочности, потому что совокупность компонентов структуры будет различаться. В таблице приведены значения коэффициента пропорциональности для структурных элементов композиционных древесно-цементных материалов.

Данные соотношения характеризуют принцип достаточности требуемых характеристик структурного элемента.

Пользуясь полученными результатами, можно видеть количественную оценку использования различных компонентов при изменении характеристик данных композиционных материалов. Для детального рассмотрения этого вопроса и систематизации данных, применительно для разных цементно-древесных материалов (арболит, ЦСП

и т.п.), требуются дополнительные экспериментальные исследования.

Работа выполнена в рамках госзадания по НИР 1.9/2 СибГТУ 2014.

Библиографический список

1. Щербаков, А.С. Арболит. Повышение качества и долговечности / А.С. Щербаков, Л.П. Хорошун, В.С. Подчуфаров. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 160 с.
2. Рыбьев, И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты) / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 1978. – 309 с.
3. Руденко, Б. Д. Исследование процесса и разработка технологии цементно-стружечных плит из древесины лиственницы : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05: защищена 17.10.80 / Б.Д. Руденко. – Красноярск, 1980. – 152 с.
4. Руденко, Б.Д. Описание механических свойств цементно-древесного композита / Б.Д. Руденко // Лесной и

химический комплексы – проблемы и решения: сб. ст. – Красноярск, 2010. – С. 100–104.

5. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
6. Сулименко, Л.М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе / Л.М. Сулименко. – М.: Высшая школа, 2005. – 334 с.
7. Баженов, Ю.М. Технология бетона. Учебник / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2011. – 528 с.
8. Композиты на минеральных вяжущих. Том 2. Проектирование составов строительных композитов / Р.Г. Петроченков и др. – М.: МГГУ, 2005. – 349 с.
9. Моделирование свойств и процессов прессования реактопластов: монография / под общ. ред. А.Н. Обливина. – М.: МГУЛ, 2005. – 284 с.
10. Rudenko, B.D. Platten aus Rindenpartikeln und Thermoplasten / B. D. Rudenko, S. M. Plotnikov, Peter Neimz // Holz-Zentralblatt. – Stuttgart, 2013. – № 2 – p. 68–70.

PRINCIPLES PRODUCING CEMENT-WOOD COMPOSITE MATERIAL

Rudenko B.D., Assoc. Prof. SibGTU, Ph.D (Tech.)

bor.rudenko@yandex.ru

Siberian State Technological University, 660049, Krasnoyarsk, Mira 82

The principle of getting a conglomerate composite material of optimal structure is the organization of the interaction needed between the components. We formulate the principle of necessary and sufficient conditions to create the optimal structure of the material in such a way as to fully characterize the necessary conditions for such a creation. «Creating an environment for forming a composite conglomerate» would be such a principle, as the formation of the structural connections of the conglomerate requires a set of conditions implied by the term «environment». The optimality condition must be expressed by a certain value, or a notion, which means that the interrelationship or the proportion of the structural elements used must be within certain limits. These limits of the proportion of the structural elements provide the optimal structure, i.e., the set of the best indicators of the properties of the composite material with a conglomerate structure type. The main indicator of the efficiency of the components usage will be some characteristics of the consumer properties. The main parameter to characterize the «strength» is the adhesive interaction. Different types of composite materials will have different values of adequate strength, as the set of the components of the structure will be different. The article presents the values of the coefficient of proportionality for the structural elements of the sawdust cement composite materials. These ratios characterize the principle of sufficiency of the required characteristics of a structural element. With the results obtained, various components usage when changing data characteristics of composite materials can be quantified. For a detailed consideration of this issue and systematization of the data in relation to the different sawdust cement materials (wood concrete, chipboard, etc.), additional experimental studies are needed.

Keywords: Principles, sawdust cement material, ratio, structure, components, elements, the quantitative ratios.

References

1. Shcherbakov A.S., Horoshun L.P., Podchufarov V.S. *Arbolit. Povyshenie kachestva i dolgovечnosti* [Arbolit.Improving the quality and durability] Shcherbakov A.S., Horoshun L.P., Podchufarov V.S. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1979. 160 p.
2. *Stroitel'nye materialy na osnove vyazhushchikh veshchestv (iskusstvennye stroitel'nye konglomeraty)* [Building materials based binders (artificial construction conglomerates)]. Moscow: Vysshaya shkola, 1978. 309 p.
3. Rudenko B.D. *Issledovanie protsessov i razrabotka tekhnologii tsementno-struzhechnykh plit iz drevesiny listvennitsy*: [Investigation of the process and development of technology of cement-bonded boards of larch wood]: *dis. ... kand. tehn. nauk*: 05.21.05. Krasnojarsk, 1980. 152 p.
4. Rudenko B.D. *Opisanie mekhanicheskikh svoystv tsementno-drevesnogo kompozita* [Description of the mechanical properties of the cement-wood composite]. *Lesnoi i khimicheskii kompleksoy-problemy i resheniya*. Krasnoyarsk, 2010. pp. 100-104.
5. Nanazashvili I.H. *Stroitel'nye materialy iz drevesno-tsementnoi kompozitsii* [Building materials made of wood-cement composition]. Leningrad: Stroiizdat, 1990. 415p.
6. Sulimenko L.M. *Tekhnologiya mineral'nykh vyazhushchikh materialov i izdelii na ikh osnove* [Technology of mineral binding materials and products based on them]. Moscow: Vysshaya shkola, 2005. 334 p.
7. Bazhenov, Ju.M. *Tekhnologiya betona* [The technology of concrete. Textbook]. Moscow: ASV, 2011. 528 p.
8. Petrochenkov R.G. [i dr.] *Kompozity na mineral'nykh vyazhushchikh Tom 2*. [Composites on mineral binders. Volume 2]: *Proektirovanie sostavov stroitel'nykh kompozitov*. Moscow: MGGU, 2005. 349p.
9. *Modelirovanie svoystv i protsessov pressovaniya reaktoplastov: monografiya* [Modeling properties and processes pressing thermosetting: Monograph]. Moscow: MGUL, 2005. 284 p.
10. Rudenko B.D., Plotnikov S.M. *Platten aus Rindenpartikeln und Thermoplasten* [Slabs of bark particles and thermoplastics]. Peter Neimz Holz-Zentralblatt. Stuttgart, 2013. № 2. pp.68-70.

ПРОЧНОСТЬ ПРИ ЧИСТОМ СДВИГЕ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.В. ТУЛУЗАКОВ, доц. каф. технической механики МГУЛ, канд. техн. наук,
Ю.Г. ЛАПШИН, проф. каф. технической механики МГУЛ, д-р техн. наук,
А.С. АРХИПОВ, инженер ООО «Метрополис»

tuluzakov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ
ООО «Метрополис», 129085, Россия, Москва, ул. Годовикова, д. 9, стр. 2

Приведены результаты численного эксперимента по исследованию напряженного состояния анизотропного материала при испытаниях на чистый сдвиг. В качестве анизотропного материала были выбраны древесно-стружечные плиты. Древесно-стружечные плиты – композиционный неоднородный ортотропный материал, поэтому использование его в качестве конструкционного материала (мебельные конструкции, строительный материал) требует проведения прочностных расчетов в условиях сложного напряженного состояния и использования соответствующих критериев прочности. С целью определения прочности древесины при чистом сдвиге ранее была разработана методика испытаний, включающая образец сложной формы и приспособление для нагружения этого образца. Для оценки напряжений в рабочей части образца были проведены исследования на модели из оптически активного изотропного материала, которые дали положительный результат. При оценке влияния анизотропии на распределение напряжений в анизотропной среде целесообразно использовать аналитическое решение данной задачи методом конечных элементов. Расчеты были выполнены в программе Autodesk Inventor 2010 Beta. Выполненные ранее экспериментальные исследования напряженного состояния при чистом сдвиге проведены поляризационно-оптическим методом на модели из оптически активного анизотропного материала, что не позволяет оценить влияние анизотропии на равномерность распределения напряжений в зоне разрушения. Проведенные расчеты показали, что в случае большой разницы напряжений вдоль и поперек волокон образца необходимо использовать резиновую прокладку толщиной 3–5 мм, при этом неравномерность величины напряжения получится в пределах 5 %. Из анализа полученных результатов также следует, что при снижении жесткости образца в направлении продольной оси в рабочей части образца напряженное состояние приближается к чистому сдвигу.

Ключевые слова: чистый сдвиг, анизотропия, прочность, механические испытания, численный эксперимент.

В качестве анизотропного материала были выбраны древесно-стружечные плиты – композиционный неоднородный ортотропный материал. Использование его в качестве конструкционного материала (мебельные конструкции, строительный материал) требует проведения прочностных расчетов в условиях сложного напряженного состояния и использования соответствующих критериев прочности [1–3].

В настоящее время для таких расчетов используют критерии прочности Е.К. Ашкенази [4], Гольденבלата–Копнова [5], для чего необходимо знать показатели прочности при растяжении–сжатии и сдвиге в главных направлениях анизотропии и прочность при сдвиге под углом 45° к главным направлениям анизотропии (чистый сдвиг).

Для определения прочности древесины при чистом сдвиге В.В. Тулузаковым [6] была разработана методика испытаний, включающая образец сложной формы и приспособление для нагружения образцов в испытательной машине.

На рис. 1 представлена схема модернизированного приспособления [7] для ис-

пытания древесных композитов в условиях чистого сдвига.

В данных испытаниях распределенная нагрузка на образец q и касательные напряжения при чистом сдвиге τ (в Па) определяются по формуле

$$\tau = q = P/2bR\sin\alpha, \quad (1)$$

где P – усилие нагружения, Н;

b – толщина образца, м;

R – радиус кривизны образца, м;

α – угол, представленный на рис. 1.

Для оценки напряжений в рабочей части образца на первом этапе были проведены исследования поляризационно-оптическим методом на модели из оптически активного изотропного материала, которые дали положительный результат.

Для оценки влияния анизотропии на распределение напряжений в анизотропной среде целесообразно использовать решение данной задачи методом конечных элементов [7]. Расчет был выполнен с использованием программы Autodesk Inventor 2010 Beta [8, 9, 10].

Результаты расчетов, выполненных для различных случаев анизотропии, приведе-

Результаты численного эксперимента
The results of the numerical experiment

Номер испытания	Параметры жесткости, МПа	Главные нормальные напряжения в центральном сечении, МПа
1	$E_x = 4000$ $E_y = 1000$	$\zeta_{xc} = 0,89$ $\zeta_{xn} = 1,4$ $\zeta_y = 1$
2	$E_x = 2000$ $E_y = 1000$	$\zeta_{xc} = 0,92$ $\zeta_{xn} = 1,2$ $\zeta_y = 1$
3	$E_x = 1000$ $E_y = 2000$	$\zeta_{xc} = 0,97$ $\zeta_{xn} = 1,06$ $\zeta_y = 1$
4	$E_x = E_y = 1000$ изотропный материал	$\zeta_{xc} = 0,91$ $\zeta_{xn} = 1,15$ $\zeta_y = 1$
5	$E_x = 4000$ $E_y = 1000$ Нагрузка на образец передается через резиновую прокладку толщиной 3 мм ($E_{рез} = 2$ МПа)	$\zeta_{xc} = 0,95$ $\zeta_{xn} = 1,1$ $\zeta_y = 1$

ζ_{xc} – нормальное напряжение в среднем слое образца, а ζ_{xn} – у поверхности

ны в табл. 1. Расчетная нагрузка q составляла 1 МПа. В таблице E_x , E_y – модули упругости материала в главных направлениях анизотропии. На рис. 2 и рис. 3 показаны результаты расчетов 1 и 3 испытаний соответственно.

Из рисунков видно, что анизотропия существенно влияет на распределение напряжений в рабочей зоне образца, поэтому для повышения точности испытаний в установке было предложено использовать демпфирующий элемент в виде резиновой прокладки. Результаты расчетов с использованием резиновой прокладки приведены в строке 5 таблицы.

Из анализа полученных результатов следует, что при снижении жесткости образца в направлении оси X , как следует из данных таблицы и рисунков, в рабочей части напряженное состояние приближается к чистому сдвигу.

Снижение жесткости за счет резиновых прокладок позволяет приблизить напряженное состояние в рабочей части образца к условиям чистого сдвига.

При условиях чистого сдвига в нашем расчетном случае все значения нормальных напряжений в столбце 3 таблицы должны равняться 1 МПа. Отклонение значений нормальных напряжений от 1 МПа характеризуют точность метода.

Таким образом, без применения резиновой прокладки данный метод не дает необходимой точности в случае сильно выраженной анизотропии материала.

Следует отметить, что первый расчетный случай соответствует плитам стро-

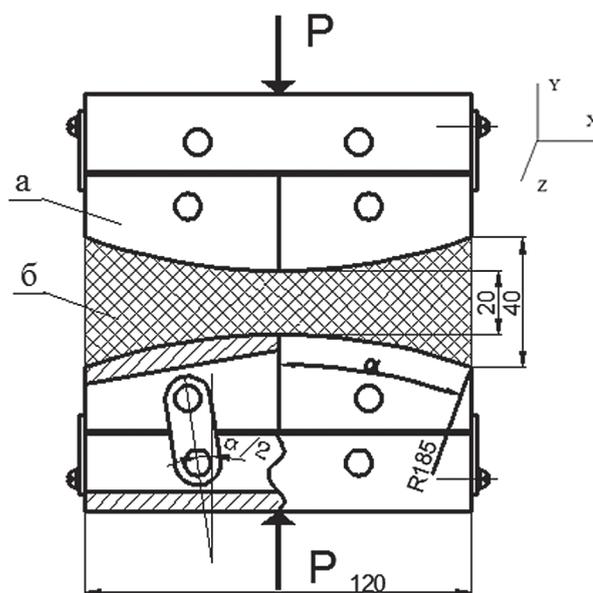


Рис. 1. Приспособление для испытания древесных композиционных материалов на чистый сдвиг: а) – нагружающее устройство; б) – образец

Fig. 1. Device for testing of wood composites on pure shear: a) – loading device; b) – a sample

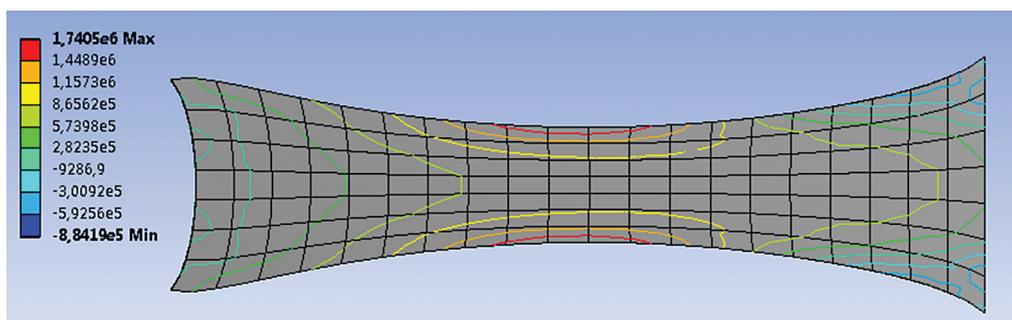


Рис. 2. Результат расчета для первого испытания
Fig. 2. The result of the calculation for the first test

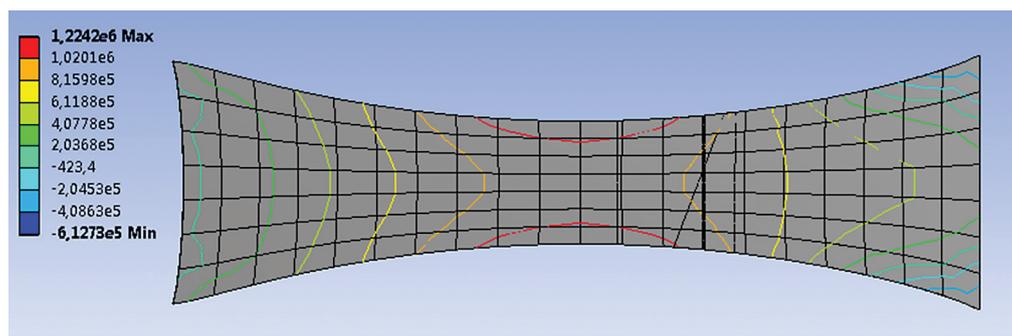


Рис. 3. Результаты расчетов для третьего испытания
Fig. 3. The calculation results for the third Test

ительного назначения с ориентировано расположенными частицами, а испытания 2 и 3 – мебельным плитам.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Поташов, О.Е. Древесно-стружечные плиты в конструкциях мебели / О.Е. Поташов, Ю.Г. Лапшин, А.Ф. Абельсон. – М., 1978. – 85 с.
2. Поташов, О.Е. Механика древесных плит / О.Е. Поташов, Ю.Г. Лапшин. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 112 с.
3. Архипов, А.С. Прочность древесно-стружечных плит в мебельных конструкциях / А.С. Архипов, Ю.Г. Лапшин, Д.В. Тулузаков // Лесной журнал, 2012. – № 4. – С. 106–108.
4. Ашкенази, Е.К. Анизотропия конструкционных материалов / Е.К. Ашкенази. – Л.: Машиностроение, 1980. – 248 с.
5. Гольденблат, И.И. Критерии прочности анизотропных стеклопластиков / И.И. Гольденблат, В.А. Копнов // Строительная механика и расчет сооружений, № 5, 1965.
6. Тулузаков, В.В. Исследование чистого сдвига древесин / В.В. Тулузаков. – М, 1969.
7. Архипов, А.С. Определение прочности ДСтП при чистом сдвиге // А.С. Архипов, Ю.Г. Лапшин // Весник МГУЛ – Лесной весник. – 2011. – № 5. – С. 87–90.
8. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация. Пер. с англ. / Зенкевич О., Морган К. – М.: Мир, 1986.
9. Присекин, В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел / В.Л. Присекин, Г.И. Рассторгуев. – Новосибирск: НГТУ, 2010. – 238 с.
10. Шимкович, Д.Г. Основы оптимального проектирования элементов конструкций лесных машин. Учебное пособие / Д.Г. Шимкович. – М.: МГУЛ, 1990. – 68 с.

IN PURE SHEAR STRENGTH OF ANISOTROPIC MATERIALS

Tuluzakov D.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.), **Lapshin G.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.), **Arkhipov A.**, engineer of «Metropolis»

tuluzakov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia, Metropolis, Bld. 9/2, Godovikova St., Business center «Kalibr», Moscow, Russia, 129085

The main subject of the article are the results of a numerical study of a tensioned state of anisotropic material at the tests for pure shift. Wood chipboards were chosen as the anisotropic material. Wood chipboard is a composite non-uniform orthotropic material, and thus its usage as a constructional material (furniture designs, structural material) demands carrying out certain strength calculations in the conditions of combined stress and the corresponding criteria of strength. Earlier the strength of wood at pure shift was calculated with the methodology for tests including a sample of a difficult form and the device for loading of this sample. Some research for the models made of optically active isotropic material which yielded positive result has been conducted to assess the tension in the test portion of a sample. To assess the influence of anisotropy on the stress distribution in the anisotropic environment it is expedient to use the analytical solution of this task by the method of final

elements. The calculations were executed by the Autodesk Inventor 2010 Beta program. The pilot studies of the stress condition at pure shift executed earlier were conducted by a polarization and optical method on a model made of optically active anisotropic material, which detains estimating the influence of anisotropy on the evenness of tension in the destruction zone. The calculations having been carried-out showed that in case of big difference of tensions along-the-grain and cross-grain it is necessary to use rubber cushion 3–5 mm thick, thus unevenness of tension will be in a limit of 5 %. The analysis of the received results also shows that a decrease in the rigidity of a sample in the direction of the axial axis, the tension in the test portion of a sample comes nearer to a pure shift.

Key words: pure shift, anisotropy, strength, mechanical tests, numerical experiment.

References

1. Potashov O.E., Lapshin U.G., Abelson A.F. *Drevesnostruzhechnye plity v konstruktivnykh mebeli* [Wood chipboards in furniture designs]. Moscow: 1978. 85 p.
2. Potashov O.E., Lapshin U.G. *Mekhanika drevesnykh plit* [Mechanics of wood boards]. Moscow: Forest industry, 1982. – 112 p.
3. Arkhipov A.S., Lapshin U.G., Tuluzakov D.V. *Prochnost' drevesno-struzhechnykh plit v mebel'nykh konstruktivnykh* [The strength of wood chipboard in furniture designs. Journal of forest] 2012. No. 4, p. 106–108.
4. Ashkenazi E.K. *Anizotropiya konstruktivnykh materialov* [Anisotropy of Structural Materials], 2edition, 1980, 248 p.
5. Goldenblat I.I., Kopnov V.A. *Kriterii prochnosti anizotropnykh stekloplastikov* [Criteria of strength of anisotropic fibreglasses] Moscow, Construction mechanics and calculation of constructions No. 5, 1965.
6. Tuluzakov V.V. *Issledovanie chistogo sdviga drevesin* [Research of pure shift of wood] Moscow, thesis Cand.Tech.Sci., 1969.
7. Arkhipov A.S., Lapshin U.G. *Opredelenie prochnosti DStP pri chistom sdvige* [Determination of strength of DSTP at pure shift]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik. 2011. No. 5. p. 87–90.
8. Zenkevich O., Morgan K. *Konechnye elementy i aproksimatsiya* [Final elements and approximation]. Moscow: Mir, 1986.
9. Prisekin V.L., Rastorguyev G.I. *Osnovy metoda konechnykh elementov v mekhanike deformiruemyykh tel* [Bases of a method of final elements in mechanics of deformable bodys]. Novosibirsk: NGTU, 2010. 238 p.
10. Shimkovich D.G. *Osnovy optimal'nogo proektirovaniya elementov konstruktivnykh mashin* [Bases of optimum design of elements of designs of forest machines]. Tutotial. Moscow: MGUL, 1990. 68 p.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДСТП НА ЭТАПЕ ПРЕССОВАНИЯ

Д.В. ТУЛУЗАКОВ, доц. каф. технической механики МГУЛ, канд. техн. наук,

Б.Л. СПИРИН, ст. преп. каф. технической механики МГУЛ

tuluzakov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Целью проводимых исследований является управление структурно-механическими характеристиками древесно-стружечного брикета и параметрами режима прессования для получения плит с заданными характеристиками прочности и жесткости, оптимизация стоимости изделия. Основная задача, которая решается в представленной работе, состоит в методике определения реологического уравнения для описания деформационного поведения древесно-стружечных плит на основе экспериментальных данных и теоретических расчетов. Для решения этой задачи необходимо определить деформационные характеристики стружечного брикета в процессе горячего прессования и получение графика распределения плотности по толщине материала, зависимости силового сопротивления стружечного брикета внешнему сжимающему давлению со стороны плит пресса во время прессования древесно-стружечных плит, а также величины распрессовки древесно-стружечной плиты после снятия внешнего давления со стороны плит пресса. Моделируемый объект рассматривается как пластина, наружные грани которой перемещаются в пространстве по вертикальной координате, а по времени – в соответствии с циклом, определяемым диаграммой прессования (сжатием и выдержкой материала в прессе). Предполагается, что в любой момент времени общая деформация является суммой четырех составляющих – упругой, вязкой или упруго запаздывающей, остаточной и температурно-влажностной. В работе приводится система уравнений, решение которой позволяет количественно описать реологические свойства древесного композита. Представлена экспериментальная установка на базе разрывной машины RZ-10/90, а также методика определения коэффициентов реологической модели древесно-стружечной плиты на этапе прессования, которая прошла апробацию. Приводятся графики давления со стороны плит пресса на древесно-стружечный брикет, графики распределения плотности по толщине материала, а также динамика изменения каждого из видов деформаций в процессе прессования. С учетом всех полученных экспериментальных данных были произведены расчеты коэффициентов реологической модели, доказывающие работоспособность описанной методики.

Ключевые слова: древесно-стружечные плиты, прочность, жесткость, плотность, давление.

Целью проводимых исследований является управление структурно-механическими характеристиками древесно-стружечного брикета и параметрами режима прессования для получения плит с заданными характеристиками

прочности и жесткости, оптимизация стоимости изделия.

Основная задача, которая решается в представленной работе, состоит в методике определения реологического уравнения для

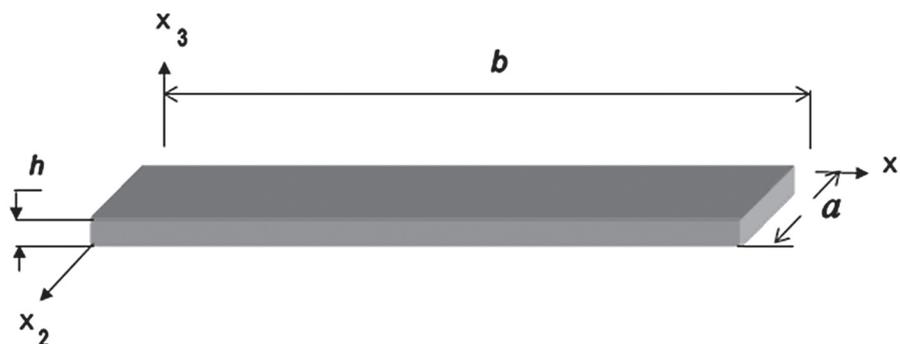


Рис. 1. Модель объекта исследований
Fig. 1. Object Model Research

описания деформационного поведения ДСтП на основе экспериментальных данных и теоретических расчетов.

Для решения этой задачи нам необходимо определить:

- деформационные характеристики стружечного брикета в процессе горячего прессования и получение графика распределения плотности по толщине материала. От распределения плотности по толщине материала зависят как послойные, так и интегральные конечные физико-механические характеристики материала [1, 2]. Повышенная плотность в поверхностных слоях позволит нам иметь увеличенные характеристики прочности при изгибе, что хорошо для мебельных полок. Повышенная плотность в середине плиты увеличит способность держать крепежные элементы, что очень важно для стоек мебельных гарнитуров [3, 4];

- зависимости силового сопротивления стружечного брикета внешнему сжимающему давлению со стороны плит пресса во время прессования ДСтП [5];

- величины распрессовки древесно-стружечной плиты после снятия внешнего давления со стороны плит пресса.

Моделируемый объект рассматривается как пластина (рис. 1), наружные грани которой перемещаются в пространстве по вертикальной координате X_3 , а по времени – в соответствии с циклом, определяемым диаграммой прессования (сжатием и выдержкой материала в прессе).

Перемещение внутренних слоев связано как со сближением плит пресса, так и с реологическими и структурными характерис-

тиками внутренних слоев, что и обуславливает в конечном итоге неравномерность распределения плотности по толщине плиты.

Ранее отмечалось [6], что в обобщенном виде среда, обладающая реологическими свойствами, описывается дифференциальным уравнением

$$(a_0 + a_1 \frac{d}{d\tau} + \dots + a_n \frac{d^n}{d\tau^n})\sigma = (b_0 + b_1 \frac{d}{d\tau} + \dots + b_m \frac{d^m}{d\tau^m})\varepsilon. \quad (1)$$

Следует отметить, что уравнение (1) с соответствующими начальными условиями может быть сформулировано для любой области реологии и является фундаментальным. Коэффициенты $a_0, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m$ характеризуют свойства материала и в случае его нестационарного поведения будут зависеть от времени.

При расчете общей деформации мы исходим из следующего предположения – для материалов, в состав которых входят древесные частицы, в любой момент времени общая деформация является суммой четырех составляющих: упругой $\varepsilon_e(x)$, вязкой или упруго запаздывающей $\varepsilon_v(x)$, остаточной $\varepsilon_p(x)$ и температурно-влажностной $\varepsilon_w(x)$, т.е.

$$\varepsilon(x) = \varepsilon_e(x) + \varepsilon_v(x) + \varepsilon_p(x) + \varepsilon_w(x). \quad (2)$$

При выдерживании под нагрузкой упругая деформация со временем убывает. Предполагается, что длительный модуль упругости растет по мере роста остаточной деформации, т.е. происходит упрочение материала.

При снятии нагрузки мгновенно восстанавливается упругая часть деформации

$$\varepsilon_e(x) = 1/H \cdot \sigma_\tau(x), \quad (3)$$

а затем в течение бесконечного времени происходит возврат вязкоупругой деформации $\varepsilon_v(x)$. Дальнейшего роста остаточной деформации не происходит, т.е.

$$\frac{\partial \varepsilon_p(x)}{\partial \tau} = 0, \text{ если } \sigma_\tau = 0. \quad (4)$$

Остаточная деформация имеет ограниченный рост, определяемый фракционным составом, температурой и влажностью композита, степенью осмоления брикета, и составляет некоторую часть от общей деформации $\varepsilon(x)$

$$\varepsilon_p(x) = \xi \cdot \varepsilon(x), \quad (5)$$

где ξ – поправочная функция, зависящая от перечисленных выше факторов.

Таким образом, количественная характеристика реологических свойств композита может быть получена из решения следующей системы уравнений

$$\varepsilon(x) = 1/H(\sigma_\tau(x)) + \varepsilon_v(x) + \varepsilon_p(x) + \varepsilon_w(x). \quad (6)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_v(x)}{\partial \tau} = \begin{cases} K_1 \cdot \sigma_\tau - \mu \cdot \varepsilon_v(x), & \varepsilon_v < \frac{K_1 \cdot \sigma_\tau}{\mu}, \\ 0, & \varepsilon_v = \frac{K_1 \cdot \sigma_\tau}{\mu}, \end{cases} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_p(x)}{\partial \tau} = \begin{cases} K_2 \cdot \sigma_\tau [\xi \cdot \varepsilon(x) - \varepsilon_p(x)], & \varepsilon_p < \xi \cdot \varepsilon(x), \\ 0, & \varepsilon_p = \xi \cdot \varepsilon(x), \end{cases} \quad (8)$$

$$H = H_0 + \gamma \cdot \varepsilon_p(x), \quad (9)$$

где $K_1, K_2, \mu, \xi, \gamma$ – коэффициенты, значения которых являются функциями напряжения, влажности, температуры и которые подлежат определению на основе расчетов по экспериментальным данным.

При конкретных начальных условиях система уравнений (6–9) может быть решена, если задан закон деформирования $\varepsilon(x, \tau) = \varepsilon(\tau)$ или закон нагружения материала $\sigma = \sigma(\tau)$.

Для решения поставленных задач мы воспользовались экспериментальной установкой на базе разрывной машины RZ-10/90, которую ранее использовали для определения динамики прочностных характеристик плиты в процессе прессования [7, 8]. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. С целью получения записи силового сопротивления стружечного брикета (4) внешнему сжимающему давлению со стороны плит пресса во время прессования ДСтП к датчику силоизмерителя (11) разрывной машины было подключено АЦП (12), данные с которого записывались в соответствующей

программе на компьютере (14). Выходное напряжение датчика силоизмерителя изменялось по синусоидальному закону, амплитуда которого пропорциональна значению усилия. Поэтому перед АЦП был подключен выпрямитель для переменного тока. Коэффициент преобразования в программе компьютера определялся по образцовому силоизмерителю.

В качестве измерителей деформации использовались датчики линейных перемещений (9) ДПЛ-60 (индуктивные преобразователи линейного перемещения). В состав датчика входят катушки индуктивности, внутри которых перемещается металлический стержень, являющийся подвижным штоком датчика. При перемещении штока, связанного с объектом измерения внутри катушки, происходит изменение индуктивности последней, которое отслеживается согласующим устройством (13), соединенным с датчиком. Согласующее устройство определяет изменение индуктивности и формирует выходной сигнал с напряжением, пропорциональным величине линейного перемещения штока.

Поскольку изменение индуктивности катушки в зависимости от перемещения штока является нелинейной величиной, то для правильного преобразования изменения индуктивности в выходной сигнал датчик с согласующим устройством сначала калибровался, после чего в согласующее устройство записывалась градуировочная характеристика. Это производилось на специальном стенде, где перемещения штока задавались высокоточным микрометром и записывались соответствующие им значения индуктивности. Далее по найденным точкам определялась соответствующая аппроксимирующая зависимость, наиболее точно отражающая характер перемещений. В процессе измерений выходной сигнал подается на вход АЦП, преобразуется в цифровой код и в программе переводится в соответствующее ему значение перемещения, записываемого в соответствующей программе на компьютере (14).

На экспериментальной установке датчики перемещений крепятся винтами в отверстиях с двух сторон по оси встроенной балки (6), проходящей через центр нижней нагрева-

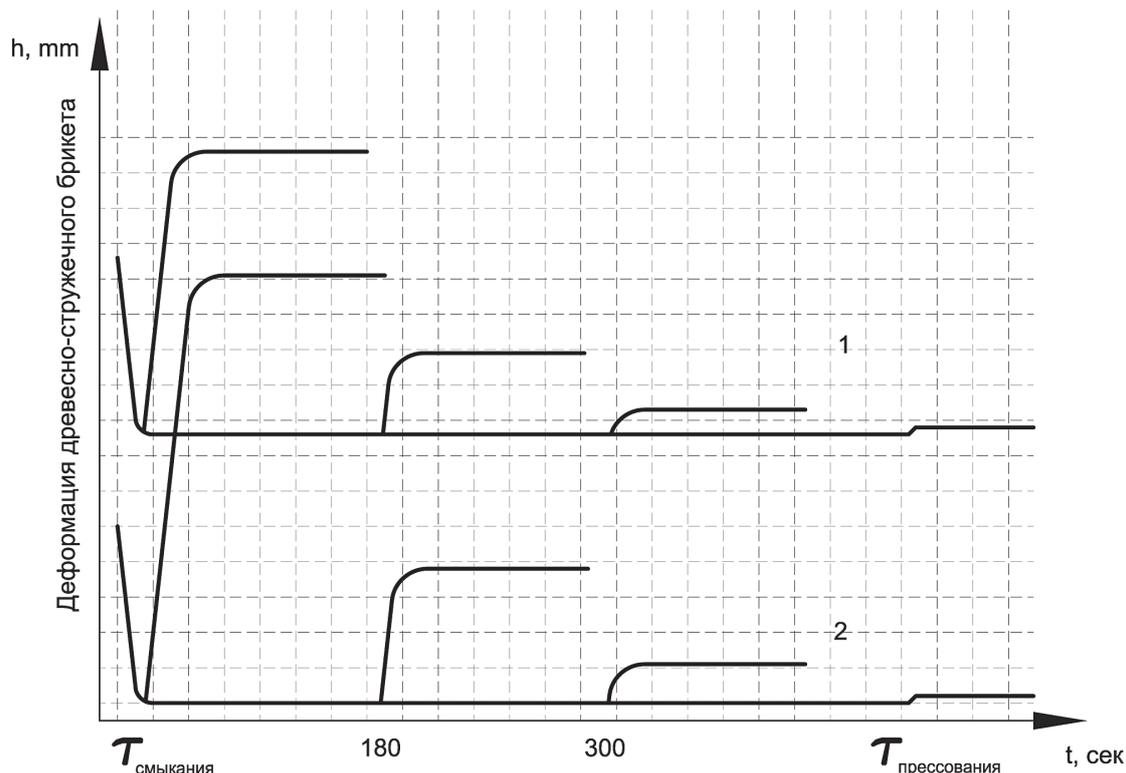


Рис. 3. Типовые графики измерения деформаций древесно-стружечной плиты в процессе прессования
 Fig. 3. Typical graphics strain measurement of particle board during pressing

ки КФ-МТ с отвердителем 20 % водным раствором хлористого аммония. Смешивание смолы с древесными стружками осуществлялось на лабораторном смесителе.

При проведении экспериментов сформированный поддон с древесно-стружечным брикетом и помещенной на него сверху деталью с консолями устанавливался на нижнюю нагревательную плиту. При этом датчики перемещений заранее устанавливались в отверстиях встроенной балки (6) таким образом, чтобы их измерительные штоки упирались в консоли верхней пластины в форме диска (3). Одновременно включались силовой двигатель испытательной машины, АЦП (12) и компьютер (14) для записи измерения усилий и деформаций сжимаемого образца. Прессование осуществлялось без дистанционных прокладок, а ограничение толщины брикета производилось посредством конечного выключателя, включенного в цепь силового двигателя испытательной машины.

По истечении заранее установленного времени склеивания древесных частиц включался реверс силового двигателя испытатель-

ной машины, верхняя нагревательная плита отводилась вверх, усилия со стороны нагревательных плит на древесно-стружечный брикет становились равными нулю, поэтому запись системы измерения усилий при этом прекращалась (деформация материала при этом продолжала регистрироваться).

В момент подъема верхней нагревательной плиты определялась мгновенная упругая деформация $\epsilon_e(x)$, затем в течение нескольких минут (пока наблюдался некоторый рост распрессовки склеенных частиц) продолжалась запись вязкой или упруго запаздывающей $\epsilon_v(x)$ деформации образца, находящегося на нижней плите испытательной машины. Через несколько минут после снятия внешней нагрузки вязкая деформация практически переставала увеличиваться и, чтобы избежать некоторой усушки частиц от нагрева нижней нагревательной плиты, образец извлекался из установки. На образце в четырех точках микрометром продолжался замер толщины ДСтП во времени (до момента полной стабилизации размера) для окончательного установления упруго запаздывающей $\epsilon_v(x)$ и остаточной $\epsilon_p(x)$ деформаций образца.

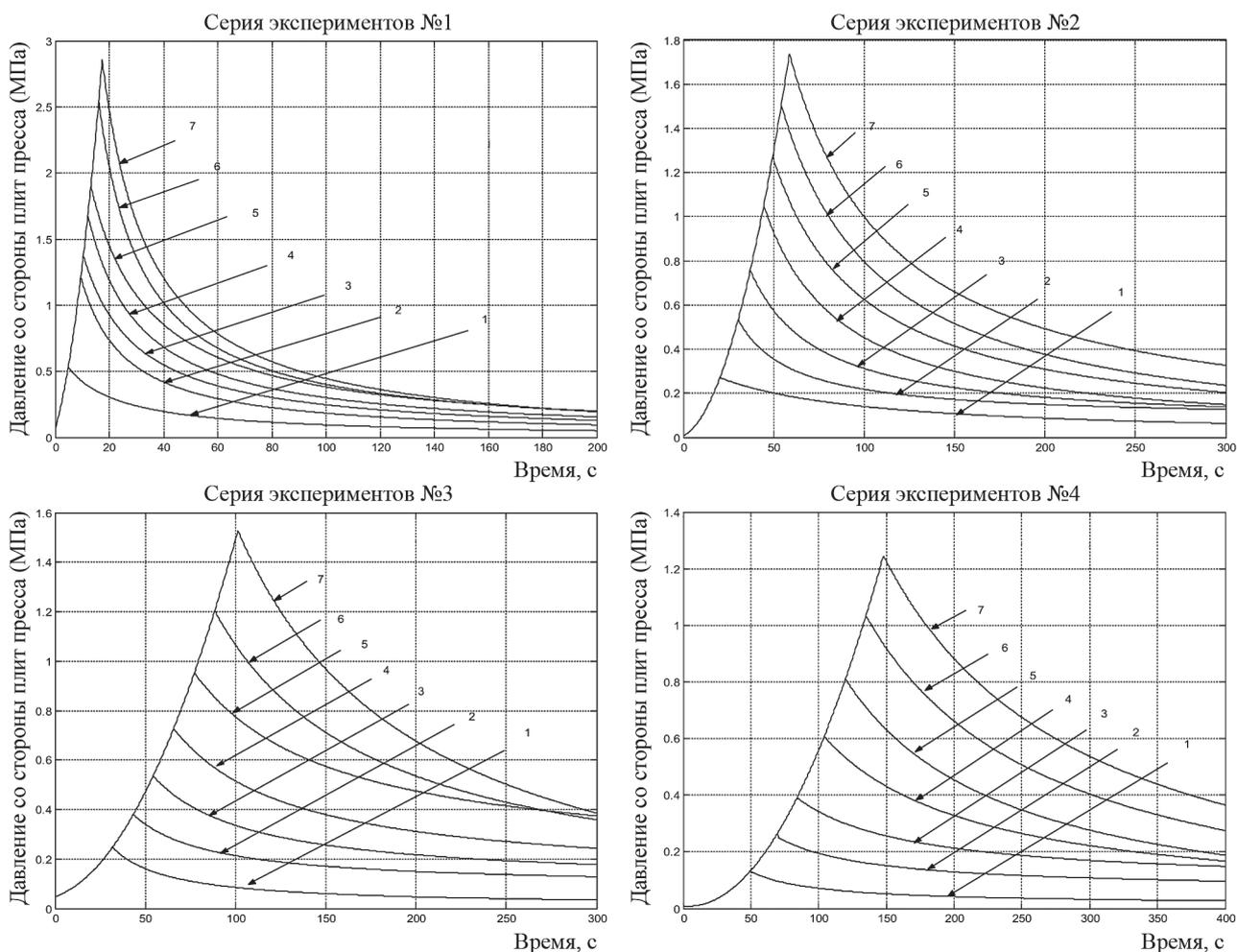


Рис. 4. Давление со стороны плит пресса на древесно-стружечный брикет: а) Серия экспериментов № 1. Время смыкания нагревательных плит до толщины 16 мм – 18 секунд; б) Серия экспериментов № 2. Время смыкания нагревательных плит до толщины 16 мм – 60 секунд; в) Серия экспериментов № 3. Время смыкания нагревательных плит до толщины 16 мм – 100 секунд; г) Серия экспериментов № 4. Время смыкания нагревательных плит до толщины 16 мм – 150 секунд

Fig. 4. Pressure from the press platens at drevesnostruzhechnyh briquette: а) A series of experiments № 1. Time clamping heating plates to a thickness of 16 mm – 18 seconds; б) A series of experiments № 2. Time clamping heating plates to a thickness of 16 mm – 60 seconds; в) A series of experiments № 3. Time clamping heating plates to a thickness of 16 mm – 100 seconds; д) A series of experiments № 4. time clamping heating plates to a thickness of 16 mm – 150 seconds

Температурно-влажностная деформация древесно-стружечных плит $\epsilon_w(x)$ определялась ранее, и основные результаты представлены в работе [9].

Для определения изменения во времени составляющих общей деформации ДСтП (упругой $\epsilon_e(x)$, вязкой $\epsilon_v(x)$ и остаточной $\epsilon_p(x)$) снятие внешней нагрузки с древесно-стружечного брикета осуществлялось в различные моменты времени прессования, как это показано на рис. 3. Промежуточный подъем верхней нагревательной плиты осуществлялся сразу после момента смыкания плит, затем через 180 и 300 сек. после

начала сжатия (прогрева) брикета. Время полного пребывания брикета между нагревательными плитами в испытательной машине до полного склеивания частиц рассчитывалось исходя из толщины древесно-стружечного брикета.

Для апробации методики были выбраны образцы с конечной интегральной плотностью древесно-стружечной плиты 700 кг/м^3 при их толщине 16 мм. С целью изучения динамики формирования распределения плотности по толщине материала (далее профиля плотности ДСтП) склеивание частиц в опытах осуществлялось до отдельных про-

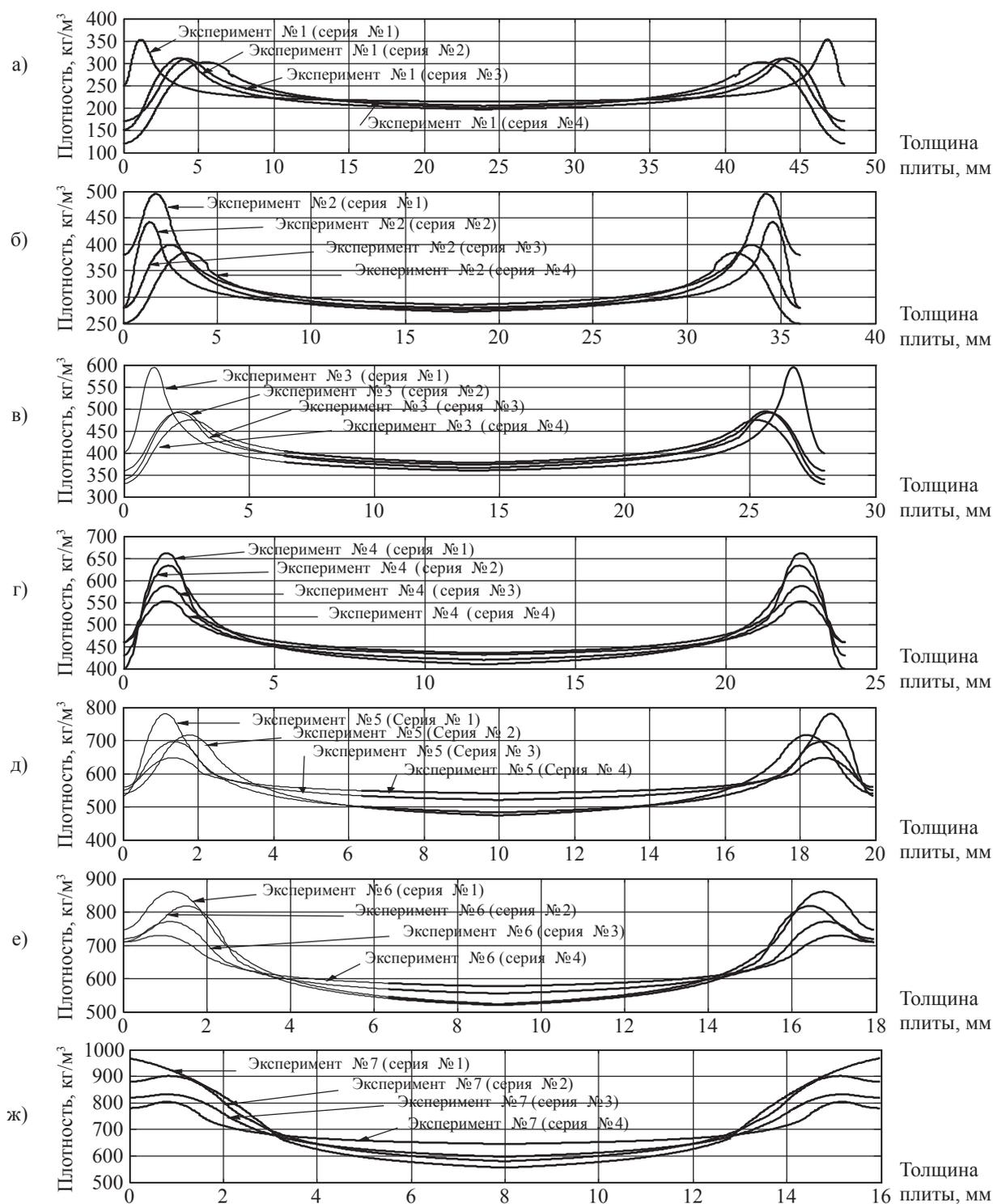


Рис. 5. Распределение плотности по толщине материала (профили плотности) опытных запрессовок: а) толщина $\delta_1=48$ мм (интегральная плотность $\rho_1=233$ кг/м³); б) толщина $\delta_2=36$ мм (интегральная плотность $\rho_2=311$ кг/м³); в) толщина $\delta_3=28$ мм (интегральная плотность $\rho_3=400$ кг/м³); г) толщина $\delta_4=24$ мм (интегральная плотность $\rho_4=467$ кг/м³); д) толщина $\delta_5=20$ мм (интегральная плотность $\rho_5=560$ кг/м³); е) толщина $\delta_6=18$ мм (интегральная плотность $\rho_6=622$ кг/м³); ж) толщина $\delta_7=16$ мм (интегральная плотность $\rho_7=700$ кг/м³)

Fig. 5. The density distribution across the thickness of the material (density profiles) and experienced press cycles) thickness $\delta_1=48$ mm (integrated density $\rho_1=233$ kg / m³); б) the thickness $\delta_2=36$ mm (integrated density $\rho_2=311$ kg / m³); с) the thickness $\delta_3=28$ mm (integrated density $\rho_3=400$ kg / m³); г) thickness $\delta_4=24$ mm (integrated density $\rho_4=467$ kg / m³); д) the thickness $\delta_5=20$ mm (integrated density $\rho_5=560$ kg / m³); е) thickness $\delta_6=18$ mm (integrated density $\rho_6=622$ kg / m³); г) $\delta_7=$ thickness of 16 mm (cumulative density $\rho_7=700$ kg / m³)

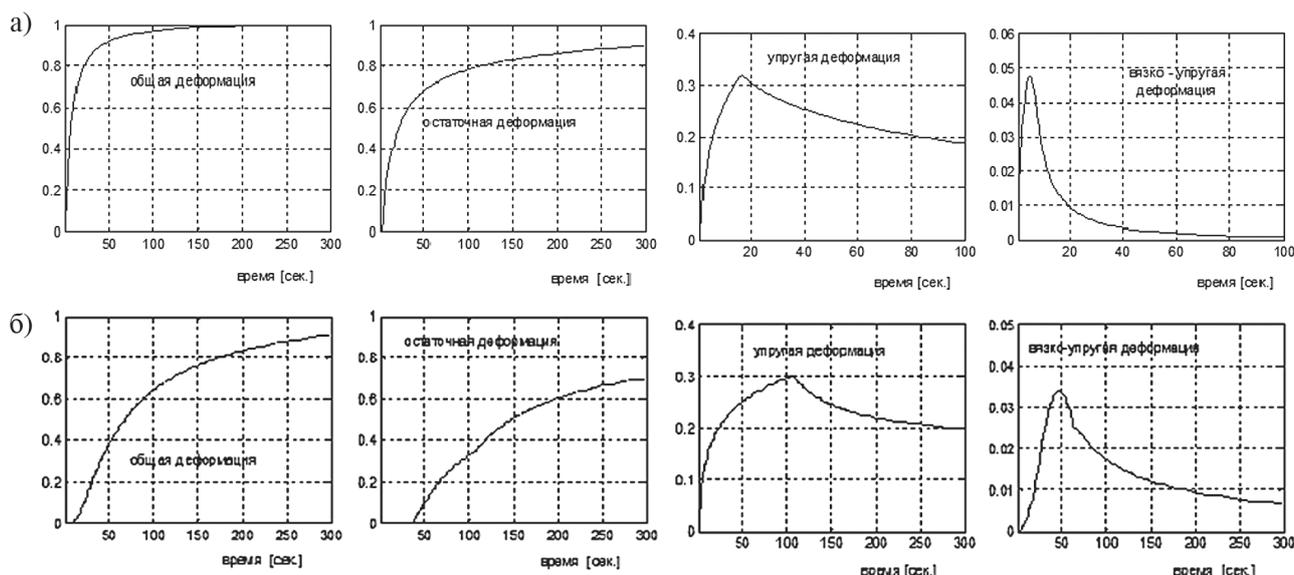


Рис. 6. Динамика изменения видов деформаций в процессе прессования (в долях от общей деформации): а) Серия экспериментов № 1; б) Серия экспериментов № 4

Fig. 6. Dynamics of species deformations during pressing (as a fraction of the total strain): а) A series of experiments number 1; б) A series of experiments number 4

межуточных значений толщин брикета, соответственно и интегральные плотности запрессовок получались различными.

Были выбраны следующие значения толщин запрессовок: $\delta_1 = 48$ мм ($\rho_1 = 233$ кг/м³), $\delta_2 = 36$ мм ($\rho_2 = 311$ кг/м³), $\delta_3 = 28$ мм ($\rho_3 = 400$ кг/м³), $\delta_4 = 24$ мм ($\rho_4 = 467$ кг/м³), $\delta_5 = 20$ мм ($\rho_5 = 560$ кг/м³), $\delta_6 = 18$ мм ($\rho_6 = 622$ кг/м³) и $\delta_7 = 16$ мм ($\rho_7 = 700$ кг/м³).

Распределение плотности по толщине материала в опытных запрессовках определялись различными методами. При значениях плотности материала от 500 кг/м³ и выше – на лабораторной рентгеновской установке измерения объемного профиля плотности GreCon DA-X в заводской лаборатории Сергиево-Посадского завода древесно-стружечных плит.

При меньших значениях интегральной плотности запрессовок профиль плотности частично определялся на рентгеновской установке ДРОН-3 (МГУЛ) и, частично, методом сошлифовывания крайнего слоя ДСтП и взвешивания оставшейся части образца. Это связано с тем, что настройки рентгеновских установок не позволяли производить измерения при невысоких значениях плотности ДСтП.

Серия графиков на каждом рисунке (рис. 4) – это достижение во время смыкания плит

пресса разных толщин прессуемого материала. Чем быстрее смыкались нагревательные плиты, тем большие значения принимали максимальные давления на прессуемый материал в момент достижения заданной толщины плиты (пик диаграммы) и тем быстрее происходило снижение давления на ДСтП со стороны нагревательных плит после ограничения заданной толщины древесно-стружечной плиты. Максимальные пики диаграмм на графиках достигают значений – в первой серии экспериментов 2,8 МПа, во второй – 1,7 МПа, в третьей – 1,5 МПа, и в четвертой – 1,25 МПа (разница между максимумом и минимумом более чем в два раза).

На рис. 5 представлены графики распределения плотности по толщине материала. Конечная интегральная плотность всех плит (при толщине 16 мм) не изменялась и оставалась равной 700 кг/м³. Но для того, чтобы проследить, как в процессе прессования формируется профиль плотности, мы поэтапно склеивали частицы до отдельных промежуточных значений толщин брикета, соответственно как интегральные плотности запрессовок, так и графики профилей плотностей получались различными.

При коротком времени смыкания нагревательных плит поверхностные слои материала получают наиболее плотными за счет

снижения плотности внутренних слоев. Это увеличивает механические характеристики материала при изгибе, а это является хорошим показателем для мебельных полок [1]. Если время смыкания нагревательных плит увеличивать, то плотность наружных слоев снижается, максимум плотности несколько смещается к центру плиты, плотность внутренних слоев возрастает. Показатели прочности при изгибе ДСтП при этом уменьшаются, а предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты растет. Более плотная центральная часть материала позволяет лучше удерживать крепежные элементы, что важно для стопок мебельных гарнитуров [4].

Динамика изменения каждого из видов деформаций в процессе прессования для серий экспериментов 1 и 4 представлена на рис. 6. По мере склеивания древесных частиц наибольший удельный вес вносит остаточная деформация, затем упругая и совсем незначительный – вязко-упругая деформации. Чем быстрее смыкаются нагревательные плиты при одинаковой толщине и плотности древесно-стружечных плит, тем быстрее снижаются как упругая, так и вязко-упругая деформация (мгновенный модуль упругости принимает более низкое значение) при сравнении с более медленным сжатием материала. Как мгновенная, так и упруго запаздывающая деформации уменьшаются по мере склеивания древесных частиц.

С учетом всех представленных экспериментальных данных были произведены расчеты коэффициентов реологической модели (6–9).

Серия экспериментов № 1
 $K_1 = 0,987, K_2 = 0,177, \mu = 12,508,$
 $\xi = 0,4178, \gamma = 21,762.$

Серия экспериментов № 2
 $K_1 = 0,902, K_2 = 0,205, \mu = 12,229,$
 $\xi = 0,4223, \gamma = 14,291.$

Серия экспериментов № 3
 $K_1 = 0,850, K_2 = 0,242, \mu = 12,049,$
 $\xi = 0,4507, \gamma = 7,75.$

Серия экспериментов № 4
 $K_1 = 0,805, K_2 = 0,265, \mu = 11,972,$
 $\xi = 0,4705, \gamma = 4,816$

Сегодня, в зависимости от значений и видов действующих нагрузок, мы можем просчитать (предъявить) требования к прочностным характеристикам тех или иных мебельных деталей [10, 11]. Полка, стойка или деталь фасада – понятно, что их прочностные характеристики должны быть различными. Поэтому дальнейшее направление нашей работы – это решение оптимизационной задачи, в которой в зависимости от требований к плитам различного назначения можно будет подобрать оптимальный состав и режимные характеристики при изготовлении материала.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Тулузаков, Д.В. Прочностные показатели древесно-стружечной плиты при изгибе в зависимости от ее профиля плотности / Д.В. Тулузаков // сб. научных трудов МЛТИ, Вып. 215, 1989. – С. 36–42.
2. Тулузаков, Д.В. Влияние распределения плотности и расхода связующего по толщине ДСтД на показатели прочности древесно-стружечной плиты / Д.В. Тулузаков, М.И. Васильев, В.Н. Осипова // сб. трудов МГУЛ, Вып. 290, 1998 – С. 44–46.
3. Лапшин, Ю.Г. Напряжения в элементах структуры древесно-стружечных плит / Ю.Г. Лапшин, Д.В. Тулузаков, А.С. Архипов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2009. – № 2 (65). – С. 133–135.
4. Лапшин, Ю.Г. Прочность угловых соединений деталей корпусной мебели из древесно-стружечных плит / Ю.Г. Лапшин, Д.В. Тулузаков, А.С. Архипов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. – № 6 (75). – С. 148–151.
5. Тулузаков, Д.В. Расчет динамики набора прочности ДСтП в процессе прессования / Д.В. Тулузаков, Ю.Г. Лапшин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. –1998 – № 1
6. Тулузаков, Д.В. Реологическая модель ДСтП на этапе прессования / Д.В. Тулузаков, Б.Л. Спириин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2006. – № 6 (48). – С. 122–127.
7. Тулузаков, Д.В. Экспериментальная установка для исследования прочности клевого шва в процессе склеивания / Д.В. Тулузаков // сб. научных трудов МЛТИ, 1986. – Вып. 179. – С. 20–22.
8. Тулузаков, Д.В. Изменение прочности древесно-стружечной плиты в процессе прессования / Д.В. Тулузаков, А.К. Воскресенский // сб. научных трудов МЛТИ, 1990. – Вып. 230. – С. 34–43.
9. Тулузаков, Д.В. Деформирование древесно-стружечных плит при изменении их влагосодержания / Д.В. Тулузаков, Б.Л. Спириин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2009. – № 2 (65). – С. 136–139.
10. Тулузаков Д.В. Определение оптимальных параметров древесно-стружечных плит в мебельных конструкциях / Д.В. Тулузаков, Ю.Г. Лапшин, А.И. Родионов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2009. – № 3(66). – С. 80–81.
11. Архипов, А.С. Прочность древесно-стружечных плит в мебельных конструкциях / А.С. Архипов, Ю.Г. Лапшин, Д.В. Тулузаков // Лесной журнал, 2012. – № 4. – С. 106–108.

METHOD FOR DETERMINING FACTOR RHEOLOGICAL MODELS CHIPBOARD DURING PRESS

Tuluzakov D.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); Spirin B.L., Senior Lecturer MSFU

tuluzakov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The purpose of the research conducted is the management of structural and mechanical characteristics of a wood chipboard and pressing mode parameters for receiving plates with the set characteristics of strength and rigidity, optimization of the cost of a product. The main problem solved in this work is a technique of definition of the rheological equation for the description of deformation behavior of wood chipboards on the basis of experimental data and theoretical calculations. For the solution of this task it is necessary to determine the deformation characteristics of a wood chipboard during hot pressing and obtaining the schedule of density distribution by thickness of material, dependence of power resistance of a wood chipboard to the external squeezing pressure of press plates during pressing of wood chipboards, and the size of a breakup of a wood chipboard after removal of external pressure from press plates. The simulated object is considered as a plate with external sides moving in space along the vertical coordinate, and in time according to the cycle determined by a chart of pressing (compression and endurance of material in the press). It is supposed that at any moment the general deformation is the sum of four components – elastic, viscous or is elastic late, residual and temperature and moist. The system of the equations shown in the article allows to quantitatively describe the rheological properties of a wood composite. An experimental installation on the basis of the explosive RZ-10/90 testing machine and a technique of determination of coefficients of rheological model of a wood chipboard at a pressing stage presented passed the approbation. Schedules of pressure from press plates on a wood chipboard are provided, schedules of distribution of density on material by its thickness, and dynamics of change of each type of deformations during pressing. Taking into account all the experimental data the coefficients of a rheological model calculations proving the efficiency of the described technique were produced.

Keywords: chipboard, strength, hardness, density, pressure

References

1. Tuluzakov D.V. *Prochnostnye pokazateli drevesnostruzhechnoy plity pri izgibe v zavisimosti ot ee profilya plotnosti* [Strength indicators of a wood chipboard at a bend depending on its profile of density] Collection of scientific works MLTI, № 215. Moscow, 1989, p. 36-42.
2. Tuluzakov D.V., Vasilyev M.I., Osipova V.N. *Vliyaniye raspredeleniya plotnosti i rashkoda svyazuyushchego po tolshchine DStD na pokazateli prochnosti drevesnostruzhechnoy plity* [Influence of distribution of density and an expense binding on DSTD thickness on indicators of durability of a wood chipboard]. Collection of scientific works, MGUL, № 290. Moscow, 1998. p. 44-46.
3. Lapshin U.G., Tuluzakov D.V., Arkhipov A.S. *Napryazheniya v elementakh struktury drevesnostruzhechnykh plit* [The stresses in the elements of the structure of chipboard]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik. 2009. № 2 (65). p. 133–135.
4. Lapshin U.G., Tuluzakov D.V., Arkhipov A.S. *Prochnost' uglovykh soedineniy detaley korpusnoy mebeli iz drevesnostruzhechnykh plit* [The strength of the corner joints of parts of furniture from chipboard]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik. 2010. № 6 (75). p. 148-151.
5. Tuluzakov D.V., Lapshin U.G. *Raschet dinamiki nabora prochnosti DStP v protsesse pressovaniya* [Calculation of the dynamics of curing particleboard during pressing]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik. 1998. № 1.
6. Tuluzakov D.V., Spirin B.L. *Reologicheskaya model' DStP na etape pressovaniya* [Rheological model of particle board on stage compression]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik. 2006. № 6(48). p. 122–127.
7. Tuluzakov D.V. *Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya prochnosti kleevogo shva v protsesse skleivaniya* [Experimental setup for the study of the strength of the adhesive joint in the gluing process]. Collection of scientific works MLTI, № 179. Moscow, 1986. p. 20-22.
8. Tuluzakov D.V., Voskresensky A.K. *Izmeneniye prochnosti drevesnostruzhechnoy plity v protsesse pressovaniya* [Changing the strength of particle board during compaction], Collection of scientific works MLTI. № 230. Moscow, 1990, p. 34-43.
9. Tuluzakov D.V., Spirin B.L. *Deformirovaniye drevesnostruzhechnykh plit pri izmenenii ikh vlagosoderzhaniya* [Deformation of wood chipboards at change of their moisture content]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik, 2009, № 2 (65), p. 136 – 139.
10. Tuluzakov D.V., Lapshin U.G., Rodionov A.I. *Opreделение optimal'nykh parametrov drevesnostruzhechnykh plit v mebel'nykh konstruksiyakh* [Determination of optimum parameters of particleboard in furniture designs] Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik, 2009. No. 3(66). p. 80 – 81
11. Arkhipov A.S., Lapshin U.G., Tuluzakov D.V. *Prochnost' drevesno-struzhechnykh plit v mebel'nykh konstruksiyakh* [The strength of particleboard in furniture designs]. Journal of forest, 2012. № 4. p. 106–108.

НАНОМИКРОКОМПОЗИЦИОННЫЕ РАНЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КОЛЛАГЕНА И КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

А.Н. ИВАНКИН, проф. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, д-р хим. наук,
В.И. ПАНФЕРОВ, доц. каф. электроэнергетики лесных комплексов МГУЛ, канд. техн. наук,
Х.А. ФАХРЕТДИНОВ, декан факультета МХТД, канд. техн. наук,
Н.Л. ВОСТРИКОВА, зав. лаб. ВНИИМП им. В.М. Горбатова, канд. техн. наук,
А.В. КУЛИКОВСКИЙ, зам. зав. лаб. ВНИИМП им. В.М. Горбатова, канд. техн. наук,
П.М. ГОЛОВАНОВА, ст. научн. сотрудник ВНИИМП, канд. техн. наук

aivankin@mgul.ac.ru, panferov@mgul.ac.ru, wood@mgul.ac.ru, nvostrikova@list.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова»

109316, Москва, ул. Талалихина, 26

Разработка эффективных перевязочных средств для медицины является актуальной проблемой. Важнейшие характеристики таких материалов – хорошая биосовместимость и обеспечение асептики открытых ран различной сложности. Традиционные перевязочные средства требуют многократной замены в процессе лечения, не обладают достаточной гидрофильностью к биологическим жидкостям и не являются активными материалами, способствующими интенсивному заживлению. Исследования последних лет показали, что в качестве основы современных тканевых покрытий целесообразно использовать природные биополимеры, в первую очередь белки и полисахариды, а также их модифицированные формы. Использование в качестве основы для медицинских покрытий синтетических полимерных материалов ограничено высокой гидрофобностью и наличием остатков токсичных мономеров, из которых обычно получают синтетические полимеры. Целью данной работы являлось создание биологически активного покрытия на основе коллагена и добавок, влияющих на интенсификацию заживления ран. В качестве материалов-носителей использовали животный коллаген и карбоксиметилцеллюлозу. Описан процесс получения губчатых пленочных покрытий медицинского назначения на основе интерполимерного совмещения коллагена и карбоксиметилцеллюлозы с включениями бактериостатиков на основе наночастиц серебра, хлоргексидина и глутарового диальдегида. Показано, что защитный композит, представляющий собой тонкую стерильную микропористую губку толщиной до 5 мм, при нанесении на открытые раны способствует регенерации ткани в условиях, обеспечивающих интенсивное заживление. Испытания показали, что покрытие на основе коллагена, карбоксиметилцеллюлозы, хлоргексидина и наносеребра обладает поглотительной способностью влаги – 46,0 г/г, высокой скоростью смачиваемости 42 с, антимикробной активностью по стафилококку 4 мм, с оптимальным сроком заживления раны – 10 сут. Губчатое раневое покрытие на основе индивидуального коллагена с антисептиком хлоргексидином обладало поглотительной способностью к физиологическим жидкостям на уровне 38 г/г, скоростью смачивания 300 с, активной резистентностью к стафилококку 1 мм и средним сроком заживления раны около двух недель.

Ключевые слова: раневые покрытия, медицинские наномикрокомпозиции, коллаген, карбоксиметилцеллюлоза, наносеребро.

Разработка эффективных перевязочных средств для медицины является актуальной проблемой. Важнейшие характеристики таких материалов – хорошая биосовместимость и обеспечение асептики в условиях защиты открытых ран различной сложности.

Традиционные перевязочные средства на основе хлопковых материалов требуют, как правило, многократной замены в процессе лечения, не обладают достаточной гидрофильностью к биологическим жидкостям и не являются активными материалами, способствующими интенсивному заживлению.

Исследования последних лет показали, что в качестве основы современных биологически активных раневых покрытий целесообразно использовать природные биополимеры, в качестве которых лучше всего применять природные белки [1], полисахариды [2], а также их модифицированные формы. Использование в качестве основы для медицинских покрытий синтетических полимерных материалов, как правило, ограничено высокой гидрофобностью полимеров, их плохой набухаемостью, а также наличием остатков, как правило токсичных мономеров, из которых обычно получают синтетические полимеры.

Разработки последних лет показывают, что включение в композиции на основе природных биополимеров физиологически активных веществ, способствующих интенсивной регенерации ткани, а также обладающих высокой бактериостатической активностью, позволяет создавать высокоэффективные перевязочные материалы для быстрого заживления поврежденных тканей человека [3–5].

Целью данной работы являлось создание биологически активного покрытия на основе коллагена и активных растительных добавок, влияющих на интенсификацию заживления ран.

В качестве основных материалов-носителей использовали природный коллаген животного происхождения, а также модифицированный древесный компонент – карбоксиметилцеллюлозу, являющуюся продуктом карбоксилирования древесной целлюлозы [5].

Коллаген для покрытий получали следующим образом. Гольевый спилок шкур крупного рогатого скота промывали проточной водой, измельчали на куски 5×5 см. Затем проводили щелочно-солевую обработку коллагена для удаления низкомолекулярных белков и пептидов. Обработку осуществляли раствором, содержащим 5 % NaOH и 10 % NaCl в течение 48 ч при постоянном перемешивании, гидромодуль 3. После обработки щелочно-солевую смесь сливали, а сырье промывали проточной водой до pH 8,0±0,5. Промытое сырье подвергали обработке 24 ч 1М раствором уксусной кислоты с гидромодулем 2, затем отмывали водой до pH 3,5±0,5. Далее сырье диспергировали на волокна в воде с одновременным осаждением при pH 5,5. Диспергирование осуществляли на измельчителе тканей РТ-2 с числом оборотов 1000 об/мин в емкости 1 л в течение 1 ч. Осаждение волокон коллагена осуществляли путем подачи сжатого газа в нижнюю часть емкости с разволокненной массой, доводили pH до 5,5 добавлением 40 %-ного раствора едкого натра. Массу коллагена отжимали до влажности 93 %. Готовили 3 % дисперсию коллагена в

0,5 %-ном растворе NaOH. Систему гомогенизировали при перемешивании в емкости, добавляли 1М раствор уксусной кислоты до pH 4,3, затем добавляли 1 % к массе пасты 10 %-ного водного раствора глутарового диальдегида, 0,5 % водного 10 %-ного раствора карбоксиметилцеллюлозы и/или без добавления 0,1–1,5 % к массе смеси 1 %-го водного раствора нитрата серебра и 0,1 % хлоргексидина. Полученную дисперсию заливали в емкость с толщиной слоя в 1 см, замораживали при температуре –20 °С и лиофилизировали 8 ч. Продукт промывали в проточной воде, отжимали до влажности 45±0,5 % и высушивали естественным образом на воздухе при комнатной температуре. Мягкая, мелкопористая губка от светло-желтого до черного цвета имела прочность 0,06 МПа при относительном удлинении при разрыве 16 %, влагопоглощение 60 мл/г, паропроницаемость 22 мг/см²·ч.

Образующиеся в процессе взаимодействия глутарового диальдегида и нитрата серебра наночастицы Ag анализировали методом светорассеивания по Рэлею [6–8].

Размер частиц коллагеновой матрицы оценивали при помощи оптического микроскопа «SK14» PZO (Польша) – объектив ×40, с использованием видеокomпьютерной системы анализа изображения «ВидеоТест-Морфология 4,0», позволяющих наблюдать объекты с минимальным размером частиц >100 нм (0,1 мкм).

Бактериальный анализ выполняли стандартными микробиологическими методами [9, 10].

Полученную мелкопористую пленку упаковывали в пакеты из полиэтиленовой пленки и подвергали газовой стерилизации оксидом этилена.

В работе использовали гольевой спилок шкур крупного рогатого скота (ТУ 17-06-89-83) а также натрия гидроксид (ГОСТ 4228-77), натрия хлорид (ГОСТ 4233-77), уксусную кислоту (ГОСТ 1814-74), глутаровый диальдегид 50 % водн. раствор (W512303 Fluka), нитрат серебра (ГОСТ 1277-75), карбоксиметилцеллюлозу (C5678 Sigma), хлоргексидин (C1510000 Fluka).

Свойства покрытий на основе коллагена и карбоксиметилцеллюлозы
Properties of coatings based on collagen and carboxymethylcellulose

Наименование	Характеристики			
	Поглотительная способность, г/г	Скорость смазываемости, с	Антимикробная активность по стафилококку, мм	Сроки заживления раны, сутки
Покрытие на основе коллагена, карбоксиметилцеллюлозы, хлоргексидина и наносеребра	46,0	42	4	10
Раневое покрытие губчатое на основе коллагена с хлоргексидином	38,0	300	1	14

Перспективными средствами для лечения ран на кожных покровах являются рассасывающиеся адсорбирующие покрытия, имеющие в своем составе лекарственные средства. Это дает возможность целенаправленно влиять на протекание заживления ран.

Известно, что наличие наночастиц металлов переменной валентности придает системам биопротекторные свойства [8, 9]. Представлялось интересным оценить результат образования наночастиц серебра в коллагеновой матрице в присутствии глутарового альдегида. Моделирование смеси нитрата серебра с альдегидом в использованных соотношениях позволило оценить размеры образующихся частиц Ag.

Для оценки нанодисперсности компонентов использовали известный подход, основанный на изменении оптических свойств

дисперсной системы при поглощении электромагнитного излучения, описываемый по методу Рэлея. Для суспензии со сферическими частицами уравнение Рэлея можно написать в виде

$$I_p/I_o = 24\pi^3/\lambda^4 \cdot [(n_1^2 - n_2^2)/(n_1^2 + n_2^2)]^2 C_{об} V,$$
где I_p – полная интенсивность света, рассеянного 1 см³ системы в 1 сек;

λ – длина волны света, см;

n_1 – показатель преломления дисперсной фазы, который равен 1,333;

n_2 – показатель преломления дисперсионной фазы (принимали равным как среднее значение из выборки 1,3 – 1,7, $n_D^{20} = 1,5$);

$C_{об}$ – объемная доля дисперсной фазы;

V – объем частицы, см³.

Учитывая, что мутность $\tau = I_p/I_o$ численно равна световой энергии, рассеиваемой



Рисунок. Ранозаживляющее покрытие на основе коллагена
Figure. Wound-healing coating based on collagen

1 см³ раствора во всех направлениях, а также то, что уравнение Рэлея выполняется для очень разбавленных систем, $[\tau] = \lim (\tau/C_{06})$, $C_{06} \rightarrow 0$ в работе использовали дополнительное разбавление дисперсии 1:2000...1:10000 при $\lambda = 620$ нм для построения зависимостей соотношений τ/C_{06} от C_{06} . В данных координатах экстраполяцией при $C_{06} \rightarrow 0$ устанавливали τ/C_{06} и далее вычисляли приблизительный диаметр изучаемых частиц так, как это описано в работах [6, 11].

Результаты модельных испытаний показали, что в коллагеновой матрице при смешении раствора AgNO₃ с глутаровым диальдегидом химической формулы ОНС(CH₂)₃СНО образуются наночастицы Ag с условным диаметром 30–50 нм.

Микроскопирование готового покрытия показало, что в смешанной интерполимерной матрице животного коллагена с карбоксиметилцеллюлозой содержатся волоконные образования diam. 0,5–70 мкм и условно линейными размерами до 2 мм.

Важнейшими свойствами раневых покрытий является их бактерицидность. Проведенные биологические испытания показали, что при добавлении 0,1 % нитрата серебра, радиус чистой зоны колонии в бактериальном анализе составлял менее 1 мм, а при добавлении 1,5 % AgNO₃ и 0,1 % антисептика хлоргексидина бактерицидность, оцениваемая по радиусу чистой зоны, оказывалась равной 5–6 мм.

Важнейшие биомедицинские характеристики полученных твердых раневых покрытий представлены в таблице. Видно, что покрытия обладают достаточно высоким влагопоглощением с сохранением приемлемой асептики.

На рисунке представлен образец раневого губчатого покрытия на основе коллагена и карбоксиметилцеллюлозы с добавлением 0,1 % нитрата серебра.

Таким образом, в результате исследований удалось получить гомогенизированный наномикрокомпозит с включенными в интерполимерный каркас коллагена и карбоксиметилцеллюлозы наночастицами серебра. Проведенные исследования позволили разработать

ранозаживляющий материал, который достаточно эффективно способствует восстановлению поврежденного кожного покрова и может быть использован в медицинских целях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Neklyudov A.D. Properties and uses of protein hydrolysates / A.D. Neklyudov, A.N. Ivankin, A.V. Berdutina // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2000. – V. 36. – № 5. – P. 452–459.
2. Иванкин, А.Н., Васюков С.Е., Панов В.П. Получение, свойства и применение хондроитинсульфатов / А.Н.Иванкин, С.Е.Васюков, В.П.Панов // Хим. фарм. ж. – 1985. – № 3. – С. 192–202.
3. Пат. 2104038 Российская Федерация, МПК7 А61L15/20. Средство для лечения ран / А.А. Адамян, П.М. Голованова; патентообладатель Институт хирургии им. А.В.Вишневского РАМН. – № 95112784/14; заявл. 26.07.95; опубл. 10.02.98, Бюл. 2002, № 22.
4. Пат. 2020933 Российская Федерация, МПК7 А61К31/14. Стимулятор репаративной регенерации тканей / С.А. Силаева, Б.Я. Хацернова, В.А. Голенченко, А.В. Гаврильчак, М.Я. Розкин, В.С.Ефимов, П.М. Голованова, А.С. Иванова; патентообладатель Силаева С.А. – № 5044859/14; заявл. 29.05.92; опубл. 15.10.94. Бюл. 2000, № 27.
5. Пат. 2071788 Российская Федерация, МПК7 А61L15/32. Средство для лечения ран / А.А. Адамян, С.В. Добыш, Г.В. Полихакина, И.А. Аргуновский, П.М. Голованова, Л.Р. Макарова, Н.Н. Тузова; патентообладатель ООО НТЦ Риза. – 95113977/14; заявл. 21.08.95; опубл. 20.01.97. Бюл. 2002, № 15.
6. Лиханова, Л.М. Определение размера наночастиц композиционных материалов методом корреляционной спектроскопии / Л.М. Лиханова, Беляков В.А., Семенов Ю.П., Иванкин А.Н. // Технология и оборудов. для переработки древесины: сб. науч. тр. – Вып. 358. – М.: МГУЛ, 2012. – С. 162–170.
7. Пат. 96372 U1 Российская Федерация, МПК7 C12N11/12. Устройство для определения размера наночастиц в жидкости / А.Н. Иванкин, Г.Л. Олиференко; патентообладатель МГУЛ – № 2010107353/22; заявл. 01.03.10; опубл. 27.07.10. Бюл. 2010, № 21.
8. Ivankin A. N. Nano, micro transformations of termo degraded products of wood and their influence on the safety of food / A. N. Ivankin, A.V. Kulikovskiy, N.L. Vostrikova, I.M. Chernucha, O.L. Figovsky, V.A. Belaykov, L.M. Lihanova. // *Journal Scientific Israel – Technological Advantages*. – 2013. – V. 15. – № 2. – P. 56–62.
9. Серов, А.В. Антимикробный препарат на основе наносеребра // Мясная индустрия. – 2010. – № 2. – С. 29–32.
10. 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.
11. Иванкин, А.Н. Гидролиз нанобиомакромолекулярных систем / А.Н. Иванкин. А.А. Красноштанова. – М.: МГУЛ, 2010. – 396 с.

NANO MICRO COMPOSITE WOUND COVERINGS ON THE BASIS OF COLLAGEN AND CARBOXYMETHYLCELLULOSE

Ivankin A.N., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Panferov V.I.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Fahretidinov H.A.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Vostrikova N.L.**, Assoc. Prof., Chief of The V.M. Gorbatov VNIIMP lab., Ph.D (Tech.); **Kulikovskii A.V.**, Assoc. Prof., Chief of The V.M. Gorbatov VNIIMP lab., Ph.D (Tech.); **Golovanova P.M.**, Senior researcher of The V.M. Gorbatov VNIIMP lab., Ph.D (Tech.)

aivankin@mgul.ac.ru, panferov@mgul.ac.ru, wood@mgul.ac.ru, nvostrikova@list.ru
 Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institut'skaya st., 1, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia,
 The Gorbatov's All-Russian Meat Research Institute (VNIIMP) 26, Talalikhina str., 109316, Moscow

The development of the effective dressing materials for medicine is an actual problem. The major characteristics of such materials are the good biocompatibility and provision of the aseptic properties of the open wounds of various complexity. Traditional dressing means demand repeated replacement during treatment, do not possess the sufficient hydrophilicity to biological liquids and are not active materials promoting intensive healing. Recent research has shown, that it is expedient to use natural biopolymers, primarily fibers and polysaccharides, and their modified forms as a basis of modern fabric coverings. Usage of synthetic polymeric materials as a basis for medical coverings is limited by high water repellency and the presence of the vestiges of toxic monomers from which synthetic polymers are usually synthesized. The aim of this work was the creation of biologically active collagen-based coatings and additives influencing the intensification of wound healing. Animal collagen and carboxymethyl cellulose were used as a carrier material. The process of obtaining porous film coverings of medical purpose based on the interpolymeric combination of collagen and carboxymethylcellulose with inclusions of bacteriostatics on the basis of silver nano particles, chlorhexidine and glutaraldehyde is described. The article shows that the protective composite representing a thin, sterile, microporous sponge up to 5 mm thick, at drawing on the open wounds promotes regeneration of fabric in the conditions providing intensive healing. Tests have shown, that collagen-based covering with carboxymethylcellulose, chlorhexidine and nano silver possesses absorbing ability of a moisture of 46.0 g/g, high speed of wettability of 42 sec, antimicrobial activity on aureus of 4 mm, with optimum for healing of a wound of 10 days. The covering spongy collagen on the basis of individual collagen with an antiseptic chlorhexidine possessed the absorbing ability to physiological liquids at a level of 38 g/g, speed of wetting of 300 sec, active resistency to aureus of 1 mm and an average for healing of a wound of about two weeks.

Keywords. Wound Dressings, Medical Nano Micro Composite, Collagen, Carboxymethyl Cellulose, Nano Silver.

References

1. Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Properties and uses of protein hydrolysates. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, vol. 36, no 5, pp. 452–459.
2. Ivankin A.N., Vasyukov S.E., Panov V.P. *Poluchenie, svoystva i primeneniye khondroitinsul'fatov* [Producing, property and application of hondroitin sulphates]. *Chem. Pharm. J. (Rus)*, 1985, no. 3, pp. 192–202.
3. Adamyan A.A. et al. *Pat. 2104038 Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A61L15/20. Sredstvo dlya lecheniya ran* [Means for treatment of wounds]. Patent RF no. 2104038, 1995.
4. Silaeva S.A. et al. *Pat. 2020933 Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A61K31/14. Stimulyator reparativnoy regeneratsii tkaney* [The stimulator for regenerations of fabrics]. Patent RF no. 2020933, 1992.
5. Adamyan A.A. et al. *Pat. 2071788 Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A61L15/32. Sredstvo dlya lecheniya ran* [Means for treatment of wounds]. Patent RF no. 2071788, 1995.
6. Lihanova L.M., Beliakov V.A., Semenov Yu.P., Ivankin A.N. *Opredeleniye razmera nanochastits kompozitsionnykh materialov metodom korrelyatsionnoy spektroskopii* [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).
7. Ivankin A.N., Oliferenko G.L. *Pat. 96372 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 C12N11/12. Ustroystvo dlya opredeleniya razmera nanochastits v zhidkosti* [The device for definition of the size of nano particles in a liquid]. Patent RF no. 96372 U1, 1995.
8. Ivankin A.N., Kulikovskii A.V., Vostrikova N.L., Chernucha I.M., Figovsky O.L., Belaykov V.A., Lihanova L.M. Nano, micro transformations of termo degraded products of wood and their influence on the safety of food. *Journal Scientific Israel – Technological Advantages*, 2013, vol. 15, no. 2, pp. 56–62.
9. Serov A.V. *Antimikrobnii preparat na osnove cerebra* [Antimicrobial preparation on the basis of nano Ag]. *Myasnaya Industriya* [Meat Industry], 2010, no.2, pp. 29–32.
10. 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.
11. Ivankin A.N., Krasnoshtanova A.A. *Gidroliz nanobiomakromolekulyarnykh sistem* [The hydrolysis of nano bio macro molecular systems]. Moscow, MGUL Publ., 2010. 396 p.

ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ЗАПАХА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОСНЫ И БЕРЕЗЫ

А.Н. ИВАНКИН, *проф. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, д-р хим. наук,*
 В.И. ПАНФЕРОВ, *доц. каф. электроэнергетики лесных комплексов МГУЛ, канд. техн. наук,*
 Х.А. ФАХРЕТДИНОВ, *декан факультета МХТД, канд. техн. наук,*
 Н.Л. ВОСТРИКОВА, *зав. лаб. ВНИИМП им. В.М. Горбатова, канд. техн. наук,*
 А.В. КУЛИКОВСКИЙ, *зам. зав. лаб. ВНИИМП им. В.М. Горбатова, канд. техн. наук*

aivankin@mgul.ac.ru, panferov@mgul.ac.ru, wood@mgul.ac.ru, nvostrikova@list.ru
 ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова»
 109316, Москва, ул. Талалихина, 26

Методом хромато-масс спектрометрии изучен полный химический состав компонентов запаха березы и показано, что он включает основные вещества: 1-(1-этоксизетокси)бутан; бензальдегид; 1,1'-[этилиденбис(окси)]бис]2-метилпропан; 4-гидрокси-3-гексанон; 1,1-диэтоксидибутан; сукциновой кислоты бутилоктиловый эфир; 1,1-дибутоксидибутан; 1,1-диметилпропил-2-этилгексаноат; 1-бутоксиди-1-изобутоксидибутан; (бутилтио)уксусной кислоты трет-бутиловый эфир; 1,1'-[этилиденбис(окси)]бис-2-метил-ди-сек-бутилацеталь; бицикло[2.2.1]гептан-1-карбонила хлорид; 4-гидрокси-3-гексанон; 1,1-диметоксидибутан; 1,1-дибутоксидибутан; 1,1-бутоксиди-2-пропанон; циклопентадекан; 7,9-диметилгексан; ундеканонила хлорид; нонадекан; тетрадеканаль; Е-2-октадекадец-1-ол; тетратриаконтан; ди-н-октилфталат; генэйкозан; 1-гексадеканола ацетат; 1,19-эйкозадиен; ди-н-октилфталат; тетратриаконтан; 1,2-бензенидикарбоксикислоты дифениловый эфир; октадеканаль; 1,2-бензенидикарбоксикислоты децилоктиловый эфир; октадеканаль; 2-тетрадеканол; 1,19-эйкозадиен; фталевой кислоты гексилтридециловый эфир; 1-метил-3-пирролидон; 3-карен. В качестве основных компонентов запаха сосны представлены химические соединения: бета-пинен; 1-метил-4-(1-метилэтилиден)циклогексан; 4,6,6-триметил-бицикло[3.1.1]гепт-3-ен-2-ол; борнеол; 3-циклогексан-1-метанол; (+)-4-карен; 1-метил-4-(5-метил)циклогексан; копаен; 4-изопропенил-6-метил-2-оксо-6-гептановой кислоты этиловый эфир; альфа-бисаболол; 7-этилен-1,2,3,4,4а,4b,5,6,7,8,10,10а-додекагидро-1,1,4а,7-тетраметилфенантрен; 7-(1-метилэтилиден)-бицикло[4.1.0]гептан; 9-октадециеновой кислоты метиловый эфир; октадекановой кислоты метиловый эфир; 2-метил-3-(3-метил-бут-2-енил)-2-(4-метил-пент-3-енил)-оксэтан; диазопрогестерон; 1-фенантренкарбоксальдегид; 7-метил-2,4,4-триметил-2-винил-бицикло[4.3.0]нонан; 5,6-диметил-5-декадиеновой кислоты диметиловый эфир; 1-о-толилпроп-2-ен-1-он; 1-(метиламино)антрахинон; этилциклодокозан; 9-метилбицикло[3.3.1]нонан; 1,2-бензенидикарбоксикислоты дигеттиловый эфир; 1,2-бензенидикарбоксикислоты децилоктиловый эфир.

Ключевые слова: состав компонентов запаха березы и сосны

Запах и аромат представляет собой реакцию человека на комплекс летучих веществ, содержащихся в воздушной зоне вокруг объекта в окружающей среде. Сложность изучения аромата состоит в том, что он формируется большим количеством различных по химической природе веществ. При этом вещества находятся в продукте в минимальных концентрациях, но благодаря очень низкому порогу чувствительности рецепторов человека они ощущаются и оказывают значительное влияние на органолептическую оценку в целом.

Формирование запаха и аромата природных растительных объектов происходит в процессе роста растений и определяется их породой, возрастом, анатомическим месторасположением (корни, ветки, листва, плоды), а также температурой и влажностью окружающей среды. Эти параметры способствуют усилению выделения летучих веществ

и во многом обуславливают привычный запах растений [1, 2].

Среди описанных в литературе веществ, наиболее часто встречающихся в спектре аромата хвойных и лиственных пород, а также многих растительных специй, применяемых в пищевой индустрии, упоминаются альфа-пинен, производные карена, альдегидов, фуранов, терпенов и гексаналя [3].

Древесина традиционно используется при копчении продуктов питания в пищевой промышленности. В качестве аромата и запаха применяют также специи растительного происхождения. Известно, что основную роль в специфике аромата древесных растений играют фенольные и карбонильные вещества, а так же β-лактоны. Ключевыми в аромате копильного дыма растительных объектов являются вещества: циклотен, вератрол, p-этилфенол, гваякол, 4-метилгваякол, 4-про-

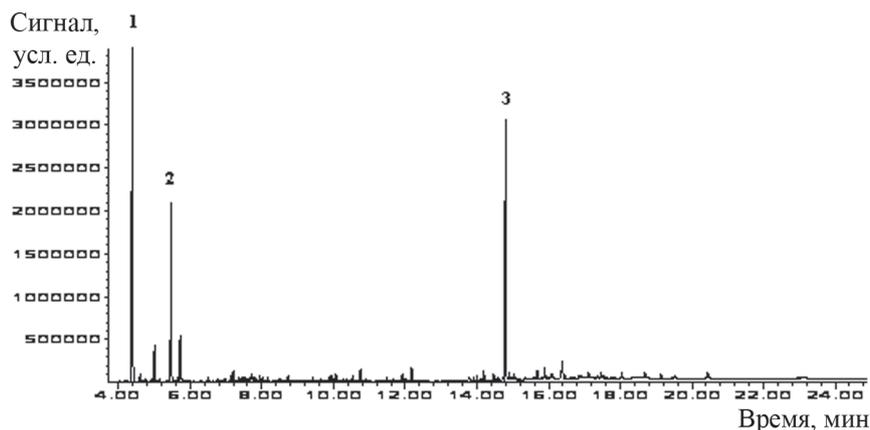


Рис. 1. Хроматограмма летучих веществ запаха сосны. Указаны наиболее значимые: 1 – альфа-пинен; 2 – бета-пинен и 3 – карен; 3 – 7-(1-метилэтилиден)-бициклопентан

Fig. 1. The chromatogram of volatiles smell of pine. Presents the most important: 1 – alpha-pinene; 2 – beta-pinene and 3 – carene; 3 – 7 – (1-methylethylidene) – bitsiklogeptan

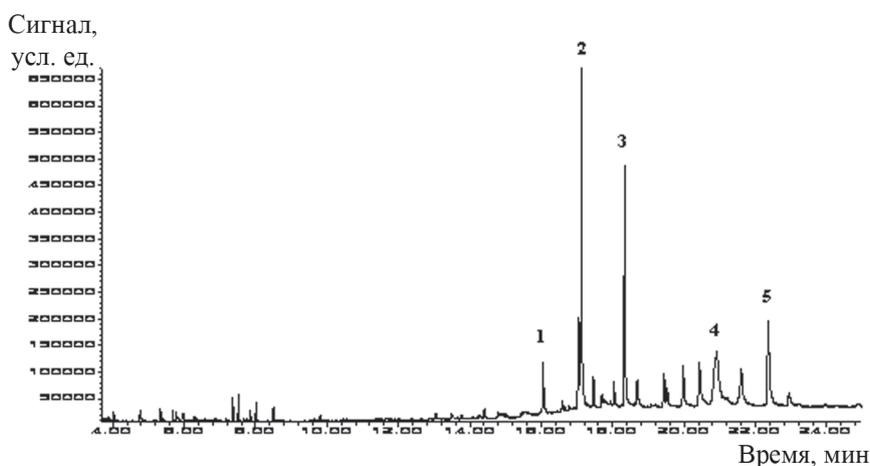


Рис. 2. Хроматограмма летучих веществ запаха березы. Указаны наиболее значимые компоненты: 1 – 2-(2,2-диметилпропаноил)циклогексанон; 2 – 9,12-октадекадиеновая кислота; 3 – гептадекан; 4 – гептакозан и тридецилоксиран; 5 – генэйкозан

Fig. 2. The chromatogram of volatiles smell of birch. Presents the most important components: 1 – 2-(2,2-dimethylpropanoyl) cyclohexanone; 2 – 9,12-octadecadienoic acid; 3 – heptadecane; 4 – heptakozan and tridetsiloksiran; 5 – geneykozan

пилгваякол, метилсирингол. Помимо вышеперечисленных веществ, обнаруживаются в значительных количествах терпеновые спирты – 0,01... 0,1 % (фитол, изофитол и др.), карбоновые кислоты – 0,01...0,05 % (фталевая кислота и др.), фенольные вещества – 0,05...0,2 % (фенол, дифенилметан, 3,3'-диметилбифенил, 2,2',3,3'-тетраметилбифенил и др.) и эфиры – 0,1...0,3 % (дибутилфталат), образующие вкусоароматические свойства мясных продуктов [5], а также токсичные вещества, такие как ароматические амины в количестве 0,01...0,05 % (анилин), ациклические углеводороды 0,02...0,1 % (генэйкозан), ароматические углеводороды 0,02...0,05 %

(нафталин) и полиароматические углеводороды (ПАУ) в количествах 5...50 мкг/кг [4–11].

Во многом, аромат растительных объектов формируется за счет наличия в них белков, липидов и углеводов и их деградации [12,13]. Биохимические процессы, протекающие в растительных объектах, содержащих данные вещества, приводят к образованию смеси органических соединений разнообразной химической структуры, которые в сумме и образуют запах и аромат объекта [14–16].

Цель работы – сравнительное изучение базовых химических веществ, входящих в состав объектов растительного происхождения.

В качестве изучаемых образцов использовали смесь коры и почек однолетних хвойных деревьев семейства сосновых (*Pinus sylvestris*) и листопадных деревьев семейства березовых (*Betula pendula*).

Анализ состава летучих компонентов запаха осуществляли на газовом хроматографе 7890А с масс-селективным детектором 5975С VLMSD Agilent Technologies (USA). Использовали экстракты (1:3) этилацетатом и экстракты хлороформ-метанолом по Фолчу с последующим метилированием раствором ацетилхлорида в метаноле [17] для проявления липидов. Использовали этилацетатные экстракты березы и сосны с концентрацией 3 мг/мл и 5 мг/мл соответственно. В раствор экстрагировалось 3 и 5 % веществ массы образца. На анализ вводили 1 мкл экстракта. Расчет содержания компонентов, названия которых даны в соответствии с международной номенклатурой IUPAC, с массовым содержанием в ароматической смеси веществ более 0,01 % проводили с использованием автоматической базы поиска и идентификации данных по масс-спектрам NIST08 MS Library с вероятностью соотношения пиков более 65 %.

На рис. 1 и 2 представлены хроматограммы экстрактов летучих веществ сосны и березы, которые формируют их соответствующий характерный запах. Дифференциальное содержание компонентов хвойных и лиственных пород существенно различаются как по количеству, так и по составу.

На рис. 1 и 2 показано относительное содержание основных веществ запаха растений. В реальности веществ, формирующих запах, в составе значительно больше. Полный химический состав компонентов запаха березы может быть, в соответствии с номенклатурой названий IUPAC, представлен (% от суммы): ethylbenzene 0.04; 1,1-diethoxy-propane 0.20; 1-(1-ethoxyethoxy)-butane 0.43; bis(ethoxythiocarbonyl)sulfide 0.01; alpha-pinene 0.02; 2-methylene-cyclopropanecarboxylic acid, methyl ester 0.01; guanidine, monothiocyanate 0.06; 1-(cyclohexylmethyl)-2-methyl-cyclohexane 0.04; benzaldehyde 0.65; tetrahydro-thiazole 0.04; 1-nonanol 0.07; 1,5-anhydro-3-O-acetyl-2,4,6-tri-O-methyl-D-galactitol 0.04; 1,1'-[ethylidenebis(o

xy)]bis[2-methyl-di-sec-butyl acetal-acetaldehyde 0.57; bicyclo[2.2.1]heptane-1-carbonyl chloride 0.02; 4-hydroxy-3-hexanone 0.37; 1,1-diethoxybutane 0.55; 2,4-dimethylpent-3-yl isobutyl ester succinic acid 0.48; 4-nitro-benzoic acid, anhydride 0.03; 5,8,11,14-eicosatetraenoic acid 0.04; 1,1'-[(1-methylethylidene)bis(oxy)]bis-butane 0.14; methyl 2-bromo-isobutyrate 0.05; dl-threonine 0.06; 1,3-Dioxane-2-acetylhydrazide 0.04; 4-dimethyloxypentadecane 0.05; bicyclo[3.1.0]hexan-3-ol 0.07; tert-butyl ethyl malonate 0.17; trans-androsterone 0.05; 1,1'-oxybis[2,2-dimethoxy-2-t-butyl-5-hydroxymethyl-5-methyl-[1,3]di-oxolan-4-one 0.09; 1-acetoxynonadecane 0.04; 1,1-dibutoxy-butane 0.63; 1,1-dimethylpropyl-2-ethylhexanoat 0.82; 7-tetradecene 0.09; 1-tetradecyl acetate 0.09; 1,1-dibutoxy-butane 0.33; 2,3,7-trimethyl-octane 0.58; 1-(3-aminopyridin-4-yl)-benzotriazole 0.02; 8,10-dioxaheptadecane 0.07; N(5)-(aminocarbonyl)-L-ornithine 0.01; 1,1-dibutoxy-2-propanone 0.39; N-(4-nitrocinnamylidene)-o-toluidine 0.02; 1-nitro-2-(p-methylphenoxy)-4-fluoro-benzene 0.01; 7-isopropylidene-5-methyl-2,3-diazabicyclo[2.2.1]hept-5-ene-2,3-dicarboxylic acid 0.02; 2(1H)-pyridinone 0.02; butyl ester dibutoxyacetic acid 0.09; [1,2,4]triazolo[4,3-b]cinnolin-10-ol 0.01; 1-acrylonitril-3,3-dimethyldiaziridine 0.05; 4-amino-3-phenyl-2-thioxo-2,3-dihydro-thiazole-5-carboxylic acid hydrazide 0.03; tetradecyl ester methoxyacetic acid 0.02; 1,3-dioxolane 0.14; 4-heptafluorobutyryloxyhexadecane 0.12; 2-methyl-1-penten-3-yne 0.03; 2H-indeno[1,2-b]furan-2-one 0.26; furazan-3-carbohydrazide 0.01; tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane 0.05; alpha-farnesene 0.05; 3-methylselenomethylfuran 0.03; 4-nitro-pyridine 0.01; 1-cyclohexene-1-carboxaldehyde 0.02; 4,4-dimethylcyclohexadienone 0.10; 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl-benzene 0.14; spiro[2.4]-heptane 0.11; tricyclo[5.2.1.0(2,5)]dec-5(6)-ene 0.04; 1H-pyrrolo[3,4-d]pyrimidine-2,5-dione 0.03; 2-furanmethanol 0.01; methanephine 0.05; 9-oxabicyclo[6.1.0]nonan-4-one 0.01; propanedinitrile 0.03; 4'-methylpropiophenone 0.15; diethyl methylphosphonite 0.12; 3-octyne 0.06; 2-benzylsulfonyl-benzoic acid 0.09; N-[4-bromo-2-(2-chlorobenzoyl)phenyl]-m-tolamide 0.13; 9-methyl-9-borabicyclo[3.3.1]nonane 0.04; 3,3'-dihydroxyazoxybenzene 0.03; 6,6-dichloro-7-oxobicyclo[3.2.0]hept-2-ene-2-car-

boxaldehyde 0.01; perhydrophenanthrene 0.04; 9-oxonona-noic acid, methyl ester 0.12; 2-[O-carbamylphenoxy]-5-nitrothiazole 0.06; 2-carboxamidine 0.08; (1H-pyrrol-3-yl)acetic acid 0.01; 4-acetylphenyl-beta-D-2,3,4,6-tetracetylglucopyranoside 0.22; hexadecanal 0.54; cis-2,3-epoxyoctane 0.03; 2-methyl-hexadecanal 0.10; octadec-9-enoic acid 0.05; cyclopentadecane 0.46; 2-nonadecanone 0.10; hexadecanoic acid, methyl ester 0.27; bicyclo[3.2.1]octane-4,4,5-tricarbonitrile 0.07; N,N-di-2-propynyl-2-propyn-1-amine 0.02; phthalic acid, but-3-yn-2-yl 2-pentyl ester 0.06; benzenesulfonamide 0.01; 2-hydroxycyclopentadecanone 0.36; hexadecyl-oxirane 0.50; 3-phenyl-N-styrylpropiolamide 0.05; 2-heptenal 0.01; 1-eicosanol 0.41; 2-thiophenethiol 0.09; 7-hexadecenoic acid, methyl ester 0.22; phytol 0.13; 15-methyl-hexadecanoic acid, methyl ester 0.14; 2-n-butylthiolane 0.03; tricyclo[4.2.0.0(2,4)]octan-5-one 0.06; 7,9-dimethyl-hexadecane 0.38; [(dodecyloxy)methyl]-oxirane 0.12; fumaric acid, cyclohexylmethyl dodecyl ester 0.05; N-[(2,4-dichlorophenoxy) acetyl]-L-valine 0.16; 7,12-dihydro-benzo[k]fluoranthene 0.05; undecanoyl chloride 3.12; hexanoic acid, 2,7-dimethyloct-7-en-5-yn-4-yl ester 0.05; 1-hydroxymethyl-2-nitroimidazole 0.03; cyclobarbital 0.22; nonadecane 0.42; n-nonadecanol-1 0.20; tetradecanal 0.36; 1,2-benzisothiazole-3-acetic acid, methyl ester 0.16; E-2-octadecadecen-1-ol 4.40; tetratriacontane 15.40; di-n-octyl phthalate 1.55; heneicosane 0.89; 1-hexadecanol, acetate 1.11; 1,19-eicosadiene 0.63; di-n-octyl phthalate 1.78; tetratriacontane 11.69; 1,2-benzenedicarboxylic acid, diheptyl ester 2.04; cyclohexa-2,5-diene-1,4-dione 0.03; 7,9-dimethyl-hexadecane 0.24; 1-pentadecanol acetate 0.23; octadecanal 2.07; 1,2-benzenedicarboxylic acid, decyl octyl ester 1.24; 4,7,7-trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-one-O-allyloxime 0.07; 4-[(trimethylsilyloxy)-benzoic acid 0.06; 1,2-cinnolinedicarboxylic acid 0.04; 2-bromo dodecane 3.18; 2-(2-hydroxyethoxy)-acetamide 0.12; 2-anilino-4-chloroquinoline 0.02; 1,2-benzene-dicarboxylic acid, decyloctyl ester 4.86; octadecanal 11.41; 2-tetradecanol 0.73; 1,19-eicosadiene 4.69; 1,22-dibromo-docosane 0.11; 7-chlorocinchonic acid 0.09; N-[2-[3,5-bis[(tri-methyl)oxy]phenyl]-2-[(trimethyl)oxy]ethyl]-2,2,2-trifluoro-N-(1-methylethyl)-acetamide 0.03; spiro-3-(2-butyl-

2,4-diazabicyclo[3.3.0]octan-1-one)-cyclohexane 0.06; bendazol 0.03; octadecane 8.27; (benzyl)(1-bicyclo[2.2.1]hept-5-en-2-ylmethylpiperidin-4-yl)(ethyl)amine 0.32; phthalic acid, hexyl tridecyl ester 1.57; 4,5,6,7-tetrahydro-benzo[c]thiophene 0.07; p-toluthioamide 0.30; 1,2,3,6-tetrahydro-1-methyl-4-[4-chlorophenyl]-pyridine 0.03; 2-chloroaniline-5-sulfonic acid 0.08; 1-benzazirene-1-carboxylic acid 0.03; cyclooctane 0.19; o-(isobutylsulfinyl)-phenol 0.17; 2-propyl-phenol 0.02; 1-methyl-4-(1-methylethyl)-cyclohexanol 0.33; 2-acetyl-2,5,9-trimethyl-4,8-decadienoic acid, ethyl ester 0.03; 5,5-diallyl-1-(methylthiomethyl)-2,4,6-pyrimidinetrione 0.04; 1-(4-bromophenyl)-2-(1-naphthylamino)-ethanone 0.28; 4-fluoro-2-trifluoromethylbenzoic acid, dodecyl ester 0.10; pyrimido[4,5-d]pyrimidine-2,4(1H,3H)-dione 0.04; 2-ethyl-quinoline 0.01; ethyl 2-((diethoxyphosphoryl)oxy)-3,3,3-trifluoropropanoate 0.02; 2-[3-(4-tert-butyl-phenoxy)-2-hydroxy-propylsulfanyl]-4,6-dimethyl-nicotinonitrile 0.04.

Хроматомасс-спектрометрическое изучение экстрактов сосны показало, что в составе компонентов соснового запаха содержатся вещества (% от суммы): bicyclo[2.2.1]heptane 0.01; 2,2-diethoxy-propane 0.09; camphenol 0.07; tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane 0.06; 1,4-methano-1H-cyclopropa[d]pyridazine 0.09; alpha-pinene 22.21; camphene 0.52; 3-thujen-2-ol 0.10; benzaldehyde 0.22; 4-methyl-1-(1-methylethyl)-bicyclo[3.1.0]hex-2-ene 0.31; beta-pinene 2.38; beta-myrcene 0.18; 1-methyl-3-pyrrolidinol 0.22; 3-carene 10.31; beta-pinene 4.83; 3-oxo-pentanoic acid, methyl ester 0.21; 1-methyl-4-(1-methylethyl)-1,4-cyclohexadiene 0.03; 2-chloro-2-propenoic acid, methyl ester 0.01; 1-methyl-4-(1-methylethyl)-2-cyclohexen-1-ol 0.02; azidoacetic acid, methyl ester 0.04; diethylene glycol 0.01; 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-cyclohexene 0.46; 1-chloro-3-(2-methoxyethoxy)-propane 0.07; 1-(methylenecyclopropyl)-cyclopentanol 0.19; 1,3,3-trimethyl-bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol 0.01; 3-ethylidene-1-methyl-cyclopentene 0.24; 3-(1-methylpropyl)-cyclohexene 0.10; 4-methylene-1-(1-methylethyl)-bicyclo[3.1.0]hexan-3-ol 0.41; 4,6,6-trimethyl-bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-ol 0.85; 1-butoxy-1-isobutoxy-butane 0.30; borneol 0.29; 1,1-dimethylpropyl-2-ethylhexanoat 0.18; 4-methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexen-1-ol 0.27;

3-cyclohexene-1-methanol 0.80; 3-ethenyl-cyclohexene 0.20; 1,1-dibutoxy-butane 0.11; 4,6,6-trimethyl-bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-one 0.29; 2,6,7-trimethyl-decane 0.27; 2-methoxy-4-methyl-1-(1-methylethyl)-benzene 0.21; 3-methylpyridine 0.01; 3-mercapto-bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol 0.04; bicyclo[3.3.1]non-6-ene-3,9-dione 0.09; octadecane 0.18; 2,2-dimethyl-3-octene 0.04; 2-ethenyl-cyclopropanecarboxylic acid, methyl ester 0.02; bornyl acetate 0.35; N-(2-methylhept-2-yl)heptafluorobutyramide 0.06; 4,6,6-trimethyl-bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-one 0.06; (4Z)-5-chloro-3,4-dimethyl-2,4-heptadiene 0.04; 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-cyclohexane 0.09; (+)-4-carene 0.09; 2,6,6,9-tetramethyltricyclo[5.4.0.0(2,8)]undec-9-ene 0.24; ylangene 0.12; alpha-cubebene 0.14; 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-naphthalene 0.03; isocaryophyllene 0.03; beta-panasinsene 0.25; decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-1,4-methanoazulene 0.38; 4,11,11-trimethyl-8-methylene-bicyclo[7.2.0]undec-4-ene 0.44; [1aR(1a-alpha,4a-beta,7alpha,7a-beta,7b-alpha)]-1H-cycloprop[e]azulene 0.04; 7,11-dimethyl-3-methylene-1,6,10-dodecatriene 0.16; 1,3,6-octatriene-3,7-dimethyl-alpha-caryophyllene 0.12; 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-naphthalene 0.36; 1-methyl-4-(5-methyl)cyclohexene 1.25; 1,2,4a,5,8,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-naphthalene 0.24; santolina triene 0.03; 2,4,6-trimethyl-1,3,6-heptatriene 0.07; 5-eicosene 0.03; 2-methoxybenzyl alcohol 0.25; 5,5'-(1,10-decanediyl)bis[octahydro-1H-indene 0.01; 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-1,6-cyclodecadiene 0.14; octahydro-1H-inden-1-one 0.09; 7-methyl-oxacyclododeca-6,9-dien-2-one 0.18; copaene 0.55; 4-isopropenyl-6-methyl-2-oxo-6-heptenoic acid, ethyl ester 0.21; alpha-bisabolol 1.18; undecanoic acid, methyl ester 0.09; 2-(2-carboxyethyl)-6,6-dimethyl-3-oxocyclohex-1-enecarboxylic acid 0.04; 3-chloro-6-methylpyridazine 0.05; cyclohexanol 0.01; 1,E-8,Z-10-tridecatriene 0.09; 3,5-dimethyl-benzenemethanol 0.10; N,N-dimethyl-1,4-benzenediamine 0.04; 2-cyclopenten-1-one 0.05; 2-amino-6-methyl-4(1H)-pteridinone 0.07; adamantan-2-ol 0.08; hexadecanoic acid, methyl ester 0.46; cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoic acid, methyl ester 0.29; 1,3,6,10-cyclotetra-

decatetraene 0.31; 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-naphthalene 0.24; 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-cyclohexane 0.62; 4b,8-dimethyl-2-isopropylphenanthrene 0.09; 7-ethenyl-1,2,3,4,4a,4b,5,6,7,8,10,10a-dodecahydro-1,1,4a,7-tetramethyl-phenanthrene 0.69; 4b,5,6,7,8,8a,9,10-octahydro-1-phenanthrenecarboxaldehyde 0.31; 2,3,4,5,6,7-hexahydro-3a,6-methano-3aH-indene 0.07; 7-(1-methylethylidene)-bicyclo[4.1.0]heptane 14.01; 9-octadecenoic acid (Z), methyl ester 0.79; octadecanoic acid, methyl ester 0.69; 1,5,6,7-tetrahydro-4-indolone 0.10; 4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid, methyl ester 0.28; (-)-isolongifolol, methyl ether 0.16; 2,5-dimethyl-2-(3-methylbut-2-enyl)hex-4-enoic acid, ethyl ester 0.08; N-(3-chloro-5-methylphenyl)-acetamide 0.38; 2-methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methylpent-3-enyl)-oxetane 0.92; diazoprogesteron 1.57; decahydro-5-(5-hydroxy-3-methyl-3-pentenyl)-1,4a-dimethyl-6-methylene-1-naphthalenemethanol 0.46; 1-phenanthrenecarboxaldehyde 0.72; 7-methylene-2,4,4-trimethyl-2-vinyl-bicyclo[4.3.0]nonane 2.58; 1,2,3,4,4a,9,10,10a-octahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethyl)-1-phenanthrenecarboxylic acid, methyl ester 0.44; 3,4-difluorobenzoic acid, eicosyl ester 0.45; chloroacetic acid, 1-adamantylmethyl ester 0.49; 5,6-dimethyl-5-decenedioic acid, dimethyl ester 0.61; 1-o-tolylprop-2-en-1-one 0.65; 1-(methylamino)anthraquinone 0.28; ethylcyclodocosane 1.08; 6-methyl-6-[3-methyl]2-heptanone 0.58; 1,2,3,4,4a,10a-hexahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethyl)-1-phenanthrenecarboxylic acid, methyl ester 0.57; 1,2-benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester 0.66; 4,6-difluoro-2-(4-methoxyphenylamino)pyrimidine 0.37; (Z,Z)-alpha-farnesene 0.47; phthalic acid, decyl-3,5-difluorophenyl ester 0.19; N-benzylisatoic anhydride 0.32; acetaminosalol 0.26; phthalic acid, 2-ethylhexylester 0.68; N-(4-ethylbenzoyl)-sarcosine 0.28; cyclotetracosane 0.39; 9-methylbicyclo[3.3.1]nonane 1.41; 1,2-benzenedicarboxylic acid, diheptyl ester 1.25; 1-(2-adamantylidene)semicarbazide 0.16; 2,2,4-trimethyl-4-(4'-methoxyphenyl)chromane 0.06; 2,4,6-trimethyl-pyridine 0.78; 1-(ethenyl)-octadecane 0.29; phthalic acid, 2-ethylhexyl hexyl ester 0.80; 5H-thiazolo[2,3-a]pyridine-8-carboxamide 0.03; 2-hydroxy-1-methoxy-9,10-anthracenedione 0.02; 6-methyl-2-(4-pyridyl)-indole

0.01; 1-silacyclo-2,4-hexadiene 0.02; 1-(1,1-dimethylethyl)-4-(2-ethoxyethoxy)-benzene 0.08; 4,5-dihydro-5-acetyl-7-nitro-1H-benzo[b][1,4]-diazepin-2(3H)-one 0.05; 1,2-benzenedicarboxylic acid, decyl octyl ester 1.31; bicyclo[4.3.0]non-1(6)-ene-4,7-dione-8-carboxylic acid, methyl ester 0.10; [1,3,5]triazine-2,4-diamine 0.01, 6-[5-(2-chlorophenyl)tetrazol-2-ylmethyl]-N,N-dimethyl-beta-alanine 0.11; 2-(1-adamantyl)-2H-1,2,3-triazole-4,5-dicarboxylic acid 0.06; N-(4-tolyl)-carbamic acid 0.01; 1-(4-fluorobenzoyl)-3-(4-methyl-6-trifluoromethylpyrimidin-2-yl)-urea 0.35; terephthalic acid, monoamide 0.05; N-(4-imidazo[1,2-a]pyrimidin-2-ylphenyl)-2-methoxy-acetamide 0.04; 1-methyl-2-phenyl-1H-indole 0.05; 2-(ethylthio)-4(1H)-pyrimidinone 0.09; 1-(2,5-dimethoxy-4-methylphenyl)-2-propanone 0.07; ethyl 4-chloro-3-trifluoromethylcarbanilate 0.19; 1-(3,4-methylenedioxyphenyl)-2-propanone oxime, methyl ether 0.04; tetrabutyl-urea 0.05; 6-chloro-1-nitro-naphthalene 0.03; 2,3,3-trimethyl-1-phenyl-azetidene 0.02; 2-methylthiophene-3-sulfonamide 0.02; N-methyl-1-adamantaneacetamide 0.06; 1-hydroxy-N-1-naphthyl-cyclohexanecarboxamide 0.05; 1,2,4-benzenetricarboxylic acid, 4-dodecyl dimethyl ester 0.13; 3,8,12,14-tetrahydroxy-3beta,12beta,14beta,17alpha)-pregn-5-en-20-one 0.02; didecyl phthalate 0.37; caryophyllene oxide 1.12; 4,4'-(1,1-dimethyl-3-methylene-1,3-propanediyl)bis-phenol 0.03; 6,7-dimethoxy-3-[2-(2-methoxyphenyl)-2-oxoethyl]-1(3H)-isobenzofuranone 0.06; N-(6-acetylamino-benzothiazol-2-yl)-2-(adamantan-1-yl)-acetamide 0.05; benz[b]-1,4-oxazepine-4(5H)-thione 0.01; N,N-di(trifluoroacetyl)-2,4,5-trimethylaniline 0.01; thioimidodicarbonic diamide 0.17; N-methyl-N-phenyl-carbonic acid, monoamide 0.08; pentadiolic acid, dihydrazide 0.07; benzyl alcohol 0.02, 4-fluoro-3-methoxy-2-piperidinecarboxylic acid 0.05; benzoylacetone 0.16; 5,6-dichloro-2-[[4-methyl-6-[[1-propyl-4-piperidyl]amino]-2-pyrimidinyl]-amino]benzimidazole 0.04.

В представленных выше составах компонентов запаха выявлены практически все основные классы органических веществ, характерных для природных объектов растительного происхождения. Многие из них имеют химическую структуру, предрасположенную к дальнейшим высокотемпературным превращениям,

в частности в направлении формирования полиароматических структур. Возможность образования полиароматических углеводов – серьезный уровень ограничений применения древесных материалов при копчении пищевой продукции [8]. Это является одной из причин неиспользования в процессах копчения белковой пищи на основе мясного и рыбного сырья хвойных пород деревьев [9, 15].

Таким образом, в работе был установлен полный перечень основных веществ, содержащихся в древесной массе сосны и березы. Хромато-масс спектрометрический анализ позволил описать соединения, уровень содержания которых превышал величину в 0,5 мг %. Формирование перечня компонентного состава вкусо-ароматических веществ древесных материалов позволит целенаправленно создавать новые формы питательных композиций с регулируемыми характеристиками.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Manninen A.M. Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated Scotspine wood / A.M. Manninen, P. Pasanen, J.K. Holopainen // *Atmospheric Environment*. – 2002. – V.36. – № 11. – P. 1763–1768.
2. Sobel R. Chapter 33. Novel Concepts and Challenges of Flavor Microencapsulation and Taste Modification / R. Sobel, M. Gundlach, C.P. Su // *Microencapsulation in the Food Industry*. – 2014. – P. 421–442.
3. Holopainen J.K. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. Review / J.K. Holopainen, J. Gershenzon // *Trends in Plant Science*. – 2010. – V. 15. – № 3. – P. 176–184.
4. Ivankin A.N. Biologically active substances of a natural origin. Reception and structurally functional interrelations / A.N. Ivankin, A.D. Nekludov, N.L. Vostrikova. – Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing, 2011.
5. Иванкин, А.Н. Влияние нано-микрокомпонентного состава продуктов распада термолизированной древесины на безопасность обрабатываемой продукции / А.Н. Иванкин, В.А. Беляков, А.В. Куликовский, Н.Л. Вострикова, Л.М. Лиханова // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*. – 2013. – № 2. – С. 67–72.
6. Ivankin A. N. Nano, micro transformations of termo degraded products of wood and their influence on the safety of food / A. N. Ivankin, A.V. Kulikovskiy, N.L. Vostrikova, I.M. Chernucha, O.L. Figovsky, V.A. Belaykov, L.M. Lihanova. // *Journal Scientific Israel – Technological Advantages*. – 2013. – V. 15. – № 2. – P. 56–62.
7. Кузнецова, Т.Г. Наносенсорный анализ мясного сырья и растительных объектов. Монография / Т.Г. Кузнецова.

- цова, А.Н. Иванкин, А.В. Куликовский – Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012.
8. Куликовский, А.В. Методология комплексной оценки и исследования полициклических ароматических углеводородов в копченой мясной продукции / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: ВНИИМП, 2013.
 9. Semenova A.A. Study on the influence of low temperature treatment of meat raw material on the volatile components composition by multisensor analysis and chromatomasspectrometry / A.A. Semenova, T.G. Kuznetsova, A.V. Bogdanova, A.N. Ivankin // Proc. The 57-th Int. Congr. of Meat Sci. and Technol. Aug., 2011, Belgium. – P.179.
 10. Raitio R. Storage stability of cauliflower soup powder: The effect of lipid oxidation and protein degradation reactions / Raitio R., Orlien V., Skibsted L.H. // Food Chemistry. – 2011. – V. 128. – № 3. – P. 371–379.
 11. Lisitsyn A. B. Quantitative analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products. // Zbornik kratkih sadržaja book of abstracts. 56th International meat industry conference. – Beograd: Beoknjiga, 2011. – P.101–102.
 12. Berdutina A.V. Proteolytic activity of a fermental complex of a pancreas of mammals in comparison with pancreatin / A.V. Berdutina, A.D. Nekljudov, A.N. Ivankin, B.S. Karpo, S.I. Mitaleva // Applied biochemistry and microbiology. – 2000. – V. 36. – № 4. – P. 415–420.
 13. Neklyudov A.D. Properties and uses of protein hydrolysates / A.D. Neklyudov, A.N. Ivankin, A.V. Berdutina // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2000. – V. 36. – № 5. – P. 452–459.
 14. Neklyudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils as a means of obtaining lipid products with improved biological and physicochemical properties: a review / A.D. Neklyudov, A.N. Ivankin // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2002. – V. 38. – № 5. – P. 399–409.
 15. Lisitsyn A.B. Comparative study of fatty acid composition of meat material from various animal species / A.B. Lisitsyn, I.M. Chernukha, A.N. Ivankin // Scientific J. of Animal Science. – 2013. – V. 2. – № 5. – P. 124–131.
 16. Загустина, Н.А. Удаление из воздуха летучих веществ табачных листьев методом биофильтрации / Н.А. Загустина, Т.А. Мишарина, А.А. Веприцкий, В.Г. Жуков, А.О. Ружицкий, М.Б. Теренина, Н.И. Крикунова, А.К. Куликова, В.О. Попов // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – № 4. – С. 425–437.
 17. Лисицын, А.Б. Методы практической биотехнологии. – М.: ВНИИМП, 2002.

CHEMICAL SMELL OF VEGETABLE MATERIALS ON THE BASIS OF PINE AND BIRCH

Ivankin A.N., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Panferov V.I.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Fahretdinov H.A.** Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Vostrikova N.L.**, Associate Prof., Chief of The V.M. Gorbatov VNIIMP lab., Ph.D (Tech.); **Kulikovskii A.V.**, Associate Prof., Chief of The V.M. Gorbatov VNIIMP lab., Ph.D (Tech.)

aivankin@mgul.ac.ru, panferov@mgul.ac.ru, wood@mgul.ac.ru, nvostrikova@list.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishi, Moscow reg., Russia, The Gorbatov's All-Russian Meat Research Institute (VNIIMP) 26, Talalikhina str., 109316, Moscow

By chromatomass spectrometry the complete chemical composition of components of smell of birch was studied (% of total): ethylbenzene 0.04; 1,1-diethoxy-propane 0.20; 1-(1-ethoxyethoxy)-butane 0.43; bis(ethoxy-thiocarbonyl)sulfide 0.01; alpha-pinene 0.02; 2-methylene-cyclopropanecarboxylic acid, methyl ester 0.01; guanidine, monothiocyanate 0.06; 1-(cyclohexylmethyl)-2-methyl-cyclohexane 0.04; benzaldehyde 0.65; tetrahydro-thiazole 0.04; 1-nonanol 0.07; 1,5-anhydro-3-O-acetyl-2,4,6-tri-O-methyl-D-galactitol 0.04; 1,1'-[ethylidenebis(oxy)]bis[2-methyl-di-sec-butyl acetal-acetaldehyde 0.57; bicyclo[2.2.1]heptane-1-carbonyl chloride 0.02; 4-hydroxy-3-hexanone 0.37; 1,1-diethoxy-butane 0.55; 2,4-dimethylpent-3-yl isobutyl ester succinic acid 0.48; 4-nitro-benzoic acid, anhydride 0.03; 5,8,11,14-eicosatetraynoic acid 0.04; 1,1'-[(1-methyl ethylidene)bis(oxy)]bis-butane 0.14; methyl 2-bromo-isobutyrate 0.05; dl-threonine 0.06; 1,3-Dioxane-2-acetimidazole 0.04; 4-dimethoxy-pentadecane 0.05; bicyclo[3.1.0]hexan-3-ol 0.07; tert-butyl ethyl malonate 0.17; trans-androsterone 0.05; 1,1'-oxybis[2,2-dimethoxy-2-t-butyl-5-hydroxymethyl-5-methyl-[1,3]di-oxolan-4-one 0.09; 1-acetoxynonadecane 0.04; 1,1-dibutoxy-butane 0.63; 1,1-dimethylpropyl-2-ethylhexanoat 0.82; 7-tetradecene 0.09; 1-tetradecyl acetate 0.09; 1,1-dibutoxy-butane 0.33; 2,3,7-trimethyl-octane 0.58; 1-(3-aminopyridin-4-yl)-benzotriazole 0.02; 8,10-dioxahaptadecane 0.07; N(5)-(aminocarbonyl)-L-ornithine 0.01; 1,1-dibutoxy-2-propanone 0.39; N-(4-nitrocinnamylidene)-o-toluidine 0.02; 1-nitro-2-(p-methylphenoxy)-4-fluoro-benzene 0.01; 7-isopropylidene-5-methyl-2,3-diazabicyclo[2.2.1]hept-5-ene-2,3-dicarboxylic acid 0.02; 2(1H)-pyridinone 0.02; butyl ester dibutoxyacetic acid 0.09; [1,2,4]triazolo[4,3-b]cinnolin-10-ol 0.01; 1-acrylonitril-3,3-dimethylidiaziridine 0.05; 4-amino-3-phenyl-2-thioxo-2,3-dihydro-thiazole-5-carboxylic acid hydrazide 0.03; tetradecyl ester methoxyacetic acid 0.02; 1,3-dioxolane 0.14; 4-heptafluoro-butyryloxyhexadecane 0.12; 2-methyl-1-penten-3-yne 0.03; 2H-indeno[1,2-b]furan-2-one 0.26; furazan-3-carbohydrazide 0.01; tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane 0.05; alpha-farnesene 0.05; 3-methylselenomethylfuran 0.03; 4-nitro-pyridine 0.01; 1-cyclohexene-1-carboxaldehyde 0.02; 4,4-dimethylcyclohexadienone 0.10; 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl-benzene 0.14; spiro[2.4]-heptane 0.11; tricyclo[5.2.1.0(2,5)]dec-5(6)-ene 0.04; 1H-pyrrolo[3,4-d]pyrimidine-2,5-dione 0.03; 2-furanmethanol 0.01; metanephine 0.05; 9-oxabicyclo[6.1.0]nonan-4-one 0.01; propanedinitrile 0.03; 4'-methylpropiofenone 0.15; diethyl methylphosphonite 0.12; 3-octyne 0.06; 2-benzylsulfonyl-benzoic acid 0.09; N-[4-bromo-2-(2-chlorobenzoyl)phenyl]-m-toluidine 0.13; 9-methyl-9-borabicyclo[3.3.1]nonane 0.04; 3,3'-dihydroxyazoxybenzene 0.03; 6,6-dichloro-7-oxobicyclo[3.2.0]hept-2-ene-2-carboxaldehyde 0.01; perhydrophenanthrene 0.04; 9-oxonona-noic acid, methyl ester 0.12; 2-[O-carbamylphenoxy]-5-nitrothiazole 0.06; 2-carboxamidine 0.08; (1H-pyrrol-3-yl)acetic acid 0.01; 4-acetylphenyl-beta-D-2,3,4,6-tetracetylglucopyranoside 0.22; hexadecanal 0.54; cis-2,3-epoxyoctane 0.03; 2-methyl-hexadecanal 0.10; octadec-9-enoic acid 0.05; cyclopentadecane 0.46; 2-nonadecanone 0.10; hexadecanoic acid, methyl ester 0.27; bicyclo[3.2.1]octane-4,4,5-tricarbonitrile 0.07; N,N-di-2-propynyl-2-propyn-1-amine 0.02; phthalic acid, but-3-yn-2-yl-2-pentyl ester 0.06; benzenesulfonamide 0.01; 2-hydroxy-cyclopentadecanone 0.36; hexadecyl-oxirane 0.50; 3-phenyl-N-styrylpropionamide 0.05; 2-heptenal 0.01; 1-eicosanol 0.41; 2-thiophenethiol 0.09; 7-hexadecenoic acid, methyl ester 0.22; phytol 0.13; 15-methyl-hexadecanoic acid, methyl ester 0.14; 2-n-butylthiolane 0.03; tricyclo[4.2.0.0(2,4)]octan-5-one 0.06; 7,9-dimethyl-hexa-

decane 0.38; [(dodecyloxy)methyl]-oxirane 0.12; fumaric acid, cyclohexylmethyl dodecyl ester 0.05; N-[(2,4-dichlorophenoxy)acetyl]-L-valine 0.16; 7,12-dihydro-benzo[k]fluoranthene 0.05; undecanoyl chloride 3.12; hexanoic acid, 2,7-dimethyloct-7-en-5-yn-4-yl ester 0.05; 1-hydroxymethyl-2-nitro-imidazole 0.03; cyclobarbitol 0.22; nonadecane 0.42; n-nonadecanol-1 0.20; tetradecanal 0.36; 1,2-benzisothiazole-3-acetic acid, methyl ester 0.16; E-2-octadecadecen-1-ol 4.40; tetratriacontane 15.40; di-n-octyl phthalate 1.55; heneicosane 0.89; 1-hexadecanol, acetate 1.11; 1,19-eicosadiene 0.63; di-n-octyl phthalate 1.78; tetratriacontane 11.69; 1,2-benzenedicarboxylic acid, diheptyl ester 2.04; cyclohexa-2,5-diene-1,4-dione 0.03; 7,9-dimethyl-hexadecane 0.24; 1-pentadecanol acetate 0.23; octadecanal 2.07; 1,2-benzenedicarboxylic acid, decyl octyl ester 1.24; 4,7,7-trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-one-O-allyloxime 0.07; 4-[(trimethylsilyloxy)-benzoic acid 0.06; 1,2-cinnolinedicarboxylic acid 0.04; 2-bromo-dodecane 3.18; 2-(2-hydroxyethoxy)-acetamide 0.12; 2-anilino-4-chloroquinoline 0.02; 1,2-benzene-dicarboxylic acid, decyloctyl ester 4.86; octadecanal 11.41; 1-tetradecanol 0.73; 1,19-eicosadiene 4.69; 1,22-dibromo-docosane 0.11; 7-chlorocinchoninic acid 0.09; N-[2-[3,5-bis[(tri-methyl)oxy]phenyl]-2-[(trimethyl)oxy]ethyl]-2,2,2-trifluoro-N-(1-methylethyl)-acetamide 0.03; spiro-3-(2-butyl-2,4-diazabicyclo[3.3.0]octan-1-one)-cyclohexane 0.06; bendazol 0.03; octadecane 8.27; (benzyl)(1-bicyclo[2.2.1]hept-5-en-2-ylmethylpiperidin-4-yl)(ethyl)amine 0.32; phthalic acid, hexyl tridecyl ester 1.57; 4,5,6,7-tetrahydro-benzo[c]thiophene 0.07; p-toluthioamide 0.30; 1,2,3,6-tetrahydro-1-methyl-4-[4-chlorophenyl]-pyridine 0.03; 2-chloroaniline-5-sulfonic acid 0.08; 1-benzazirene-1-carboxylic acid 0.03; cyclooctane 0.19; o-(isobutylsulfanyl)-phenol 0.17; 2-propyl-phenol 0.02; 1-methyl-4-(1-methylethyl)-cyclohexanol 0.33; 2-acetyl-2,5,9-trimethyl-4,8-decadienoic acid, ethyl ester 0.03; 5,5-diallyl-1-(methylthiomethyl)-2,4,6-pyrimidinetrione 0.04; 1-(4-bromophenyl)-2-(1-naphthylamino)-ethanone 0.28; 4-fluoro-2-trifluoromethylbenzoic acid, dodecyl ester 0.10; pyrimido[4,5-d]pyrimidine-2,4(1H,3H)-dione 0.04; 2-ethyl-quinoline 0.01; ethyl 2-((diethoxyphosphoryl)oxy)-3,3,3-trifluoropropanoate 0.02; 2-[3-(4-tert-butyl-phenoxy)-2-hydroxy-propylsulfanyl]-4,6-dimethyl-nicotinonitrile 0.04.

Key words: Smell of Birch and Pine

References

- Manninen A.M., Pasanen P., Holopainen J.K. Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated Scotspine wood. *Atmospheric Environment*, 2002, vol. 36, no. 11, pp. 1763–1768.
- Sobel R., Gundlach M., Su C.P. Novel concepts and challenges of flavor microencapsulation and taste modification. *Microencapsulation in the Food Industry*, 2014, pp. 421–442.
- Holopainen J.K., Gershenzon J. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. Review. *Trends in Plant Science*, 2010, vol. 15, no 3, pp. 176–184.
- Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Vostrikova N.L. Biologically active substances of a natural origin. Reception and structurally functional interrelations. – Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing, 2011.
- Ivankin A. N., Belaykov V.A., Kulikovskii A.V., Vostrikova N.L., Lihanova L.M. *Vliyanie nano-mikrokomponentnogo sostava produktov raspada termolizirovannoy drevesiny na bezopasnost' obrabatyvaemoy produktsii* [Influence of nano-micro composition of decomposition products thermal niche of wood for safety of processed products]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoi Vestnik*, 2013, no. 2, pp. 67 – 72.
- Ivankin A. N., Kulikovskiy A.V., Vostrikova N.L., Chernucha I.M., Figovsky O.L., Belaykov V.A., Lihanova L.M. Nano, micro transformations of thermo degraded products of wood and their influence on the safety of food. *Journal Scientific Israel – Technological Advantages*, 2013, vol. 15, no. 2, pp. 56 – 62.
- Kuznetsova T.G., Ivankin A. N., Kulikovskii A.V. *Nanosensornyy analiz myasnogo syr'ya i rastitel'nykh ob'ektov* [Nano sensory analysis of meat raw materials and plant facilities]. Saarbrücken, Germany. LAP Lambert Academic Publishing, 2012.
- Kulikovskii A.V. *Metodologiya kompleksnoy otsenki i issledovaniya politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v kopchenoy myasnoy produktsii* [Integrative assessment methodology and the study of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products]. Avtoref. dis. kand. technic. nauk. Mosow, VNIIMP, 2013.
- Semenova A.A., Kuznetsova T.G., Bogdanova A.V., Ivankin A.N. Study on the influence of low temperature treatment of meat raw material on the volatile components composition by multisensor analysis and chromatomassspectrometry. Proc. The 57-th Int. Congr. of Meat Sci. and Technol. Aug., 2011, Belgium, pp.179.
- Raitio R., Orlén V., Skibsted L.H. Storage stability of cauliflower soup powder: The effect of lipid oxidation and protein degradation reactions. *Food Chemistry*, 2011, vol. 128, no. 3, pp. 371–379.
- Lisitsyn A. B., Yushina Y. C., Kulikovskii A.V. Quantitative analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products. // *Zbornik kratkih sadržaja book of abstracts. 56th International meat industry conference. Beograd, Beoknjiga*, 2011, pp.101–102.
- Berdutina A.V., Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Karpo B.S., Mitaleva S.I. Proteolytic activity of a fermental complex of a pancreas of mammals in comparison with pancreatin. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, vol. 36, no. 4, pp. 415–420.
- Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Properties and uses of protein hydrolysates. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, vol. 36, no. 5, pp. 452–459.
- Neklyudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils as a means of obtaining lipid products with improved biological and physicochemical properties: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, vol. 38, no. 5, pp. 399–409.
- Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Ivankin A.N. Comparative study of fatty acid composition of meat material from various animal species. *Scientific J. of Animal Science*, 2013, vol. 2, no. 5, pp. 124–131.
- Zagustina N. A., Misharina T. A., Veprizky A. A., Zhukov V. G., Ruzhitsky A. O., Terenina M. B., Krikunova N. I., Kulikova A. K., Popov V. O. *Udalenie iz vozdukh letuchikh veshchestv tabachnykh list'ev metodom biofil'tratsii* [Elimination of Volatile Compounds of Leaf Tobacco from Air Emissions Using Biofiltration]. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2012, no. 4, pp. 385 – 396.
- Lisitsyn A.B., Ivankin A.N., Neklyudov A.D. *Metody prakticheskoy biotekhnologii* [Methods of biotechnology]. Moscow, VNIIMP Publ., 2002.

ИЗМЕНЕНИЕ УСУШКИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РАЗВИТИИ СУШИЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В.Г. САНАЕВ, проф., зав. каф. древесиноведения МГУЛ, д-р техн. наук,

Б.Н. УГОЛЕВ, проф. каф. древесиноведения МГУЛ, д-р техн. наук,

В.П. ГАЛКИН, проф. каф. древесиноведения МГУЛ, д-р техн. наук,

А.А. КАЛИНИНА, вед. инж. каф. древесиноведения МГУЛ,

П.А. АКСЕНОВ, зав. лаб. каф. селекции, генетики и дендрологии МГУЛ, канд. с-х наук

rector@mgul.ac.ru, ugolev@mgul.ca.ru, vgalkin@mgul.ac.ru, kalinina@mgul.ac.ru, axenov.pa@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В результате влияния градиентов влажности по толщине, сопровождающих камерную сушку древесины, в пиломатериалах возникают сушильные напряжения, изменяющие закономерности усушки древесины. В зависимостях свободной усушки от влажности, прослеживаются два участка: нелинейный, от начальной влажности до 15 %, на котором происходит удаление, в основном, микрокапиллярной воды, и практически линейный, при влажности менее 15 %, где удаляется адсорбционная влага. Вода, содержащаяся в древесине, образует промежуточные слабо взаимодействующие водородные связи. При деформировании влажной древесины возникают достаточно большие упругие и эластические деформации. В результате сушки деформированной древесины образуется замороженная деформация, исчезающая при повторном увлажнении древесины. Разница между значениями свободной усушки и величиной усушки, происходящей при растягивающей нагрузке, получила название замороженной усушки. Замороженная деформация складывается из трех составляющих: замороженных упругой и эластической деформаций, замороженной усушки и необратимой пластической деформации. Экспериментально установлено, что величина деформации от замороженной усушки сопоставима с замороженной упруго-эластической деформацией. При воздействии растягивающей нагрузки изменяется характер зависимости величины усушки от влажности древесины. Экспериментально установлено, что при нагрузках до половины предела прочности, характер зависимости редуцированной усушки от влажности древесины подобен усушке при отсутствии напряжений. В диапазоне влажности менее 15 % наблюдается линейный участок зависимости усушки. Нагрузки, превышающие половину предела прочности древесины, увеличивают протяженность участка нелинейной зависимости. Экспериментально показано, что зависимость замороженной усушки от величины нагрузки можно считать линейной. При напряжениях, близких к пределу прочности древесины, величина замороженной усушки достигает 70 % от свободной.

Ключевые слова: влажность древесины, усушка, напряжения, замороженные деформации.

Процессы сушки древесины сопровождаются градиентами влажности по толщине сортиментов [1]. Когда влажность поверхностных зон становится ниже предела насыщения клеточных стенок древесины, возникают растягивающие напряжения вследствие сопротивления внутренних зон свободной усушке. При этом во внутренних зонах действуют сжимающие напряжения [2].

На рис. 1 приведена свободная усушка древесины сосны в радиальном и тангенциальном направлении [3].

В зависимости усушки от влажности древесины прослеживаются два участка. Начальный нелинейный от влажности около 60 % до 15 %. Второй, практически линейный, при влажности менее 15 %. Нелинейность зависимости усушки от влажности возникает в результате удаления микрокапиллярной воды, не вызывающей усушку, вместе с адсорбционной, создающей в клеточной стенке капил-

ляры переменного сечения [4]. При влажности менее 15 %, древесина содержит только адсорбционную воду, энергия связей которой с древесинным веществом намного превосходит энергию связей микрокапиллярной воды. Поэтому зависимость усушки от влажности приобретает линейный характер.

Древесина представляет собой целлюлозный каркас, погруженный в лигнино-гемицеллюлозную матрицу. Во влажном состоянии древесина содержит связанную воду. Вода создает в древесине водородные связи [5]. Молекулы воды вклиниваются между соседними макромолекулами, разрывая часть межполисахаридных водородных связей и образуя водородные связи между молекулами воды и компонентами древесины [6]. В результате связь соседних макромолекул осуществляется через промежуточные слабо взаимодействующие подвижные молекулы воды. Вследствие этого снижаются механические

показатели. Древесина имеет свойства, характерные для волокнистого композита. При кратковременном нагружении влажной древесины возникают достаточно большие упругие и эластические деформации, величина которых определяется сравнительно малой жесткостью материала. Происходит разрушение одних водородных связей и образование других. Разгрузка влажной древесины способствует восстановлению прежних связей. Однако некоторые связи не восстанавливаются, что проявляется в виде пластических деформаций, образующихся при длительном действии нагрузки. При сушке древесины происходит удаление части связанной (адсорбционной) воды, образующей водородные связи с гидроксильными соседних макромолекул и повышение степени кристалличности целлюлозы. Древесина становится более жесткой. Разница между упруго-эластическими деформациями влажной и сухой древесины представляет собой замороженную деформацию, которую можно обнаружить при разгрузке. При увлажнении древесины замороженная деформация исчезает, т.е. является квази-остаточной, а пластическая деформация сохраняется.

Влажностная деформация сжатия – свободная усушка древесины β при действии растягивающих напряжений уменьшается за счет развития силовых упруго-эластических и пластических деформаций растяжения. Такая уменьшенная влажностная деформация получила название редуцированной или стесненной недопущенной усушки β^* [7, 8]. Разница между усушками β и β^* названа замороженной усушкой β_f . Следует заметить, что в статье [8], написанной по материалам Академической лекции ИАВС 2009 г., не полностью преодолены терминологические затруднения при переводе на английский язык и не отражены результаты исследований за истекшее пятилетие. Это учтено при дальнейшем изложении.

Свободная усушка β при приложении растягивающей нагрузки потенциально включает: замороженную усушку β_f ; компенсирующую влагообратимую силовую часть редуцированной усушки β^* (т.е. упруго-элас-

тическую деформацию сухой древесины ε_{ev2} ; замороженную упруго-эластическую деформацию ε_f и также влагообратимую собственно усушку β_s). Пластическая деформация невлагообратима, т.к. при увлажнении древесины не исчезает.

Наблюдаемая усушка (гипоусушка) β^* древесины, высушенной под растягивающей нагрузкой, состоит из усушки β_s и упруго-эластической деформации сухой древесины ε_{ev2} . Усадка древесины, высушенной под сжимающей нагрузкой, представляет собой гипер-усушку.

На рис. 2 приведены результаты одного из опытов, подтверждающие указанные положения. Влажный образец древесины ясеня вначале нагружали и сушили под постоянной растягивающей нагрузкой. Высушенный образец разгружали и выдерживали; затем его вновь вымачивали до первоначальной влажности.

Здесь: вверх от нулевой линии отложены деформации сжатия, а вниз – растяжения. Кривая 0–1–2 представляет упруго-эластическую деформацию при растяжении влажной древесины $\varepsilon_{ev1} = 0,015$. (Из-за краткости начального периода нагружения пластические деформации практически отсутствуют.) Кривая 2–3–4 отражает достаточно продолжительную сушку под нагрузкой ($P = 50\text{Н}$). На участке 4–5–6 показано возвращение упруго-эластической деформации сухой древесины $\varepsilon_{ev2} = 0,006$ после разгрузки и некоторой выдержки.

Для анализа деформационных превращений древесины нанесены: кривая свободной усушки 2'–11 и кривая последующего свободного разбухания 11–12 по данным измерений парного образца. Ордината точки 11 соответствует величине свободной усушки $\beta = 0,106$ к моменту разгрузки образца (точка 4). Ордината точки 4 отражает величину усушки $\beta_s = 0,056$. Усадке $\beta^* = \beta_s + \varepsilon_{ev2} = 0,056 + 0,006 = 0,062$ древесины, высушенной под нагрузкой, соответствует ордината точки 6. Общая невозвращенная после разгрузки деформация (отрезок 6–11) включает три вида деформаций: полную замороженную упруго-эластическую ε_f соответствующую отрезку

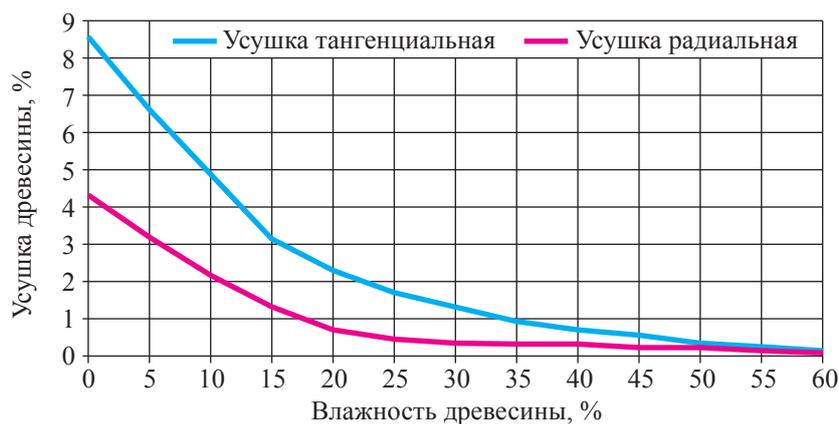


Рис. 1. Зависимость тангенциальной и радиальной усушки от влажности древесины
 Fig. 1. The dependence of the tangential and radial shrinkage of wood moisture

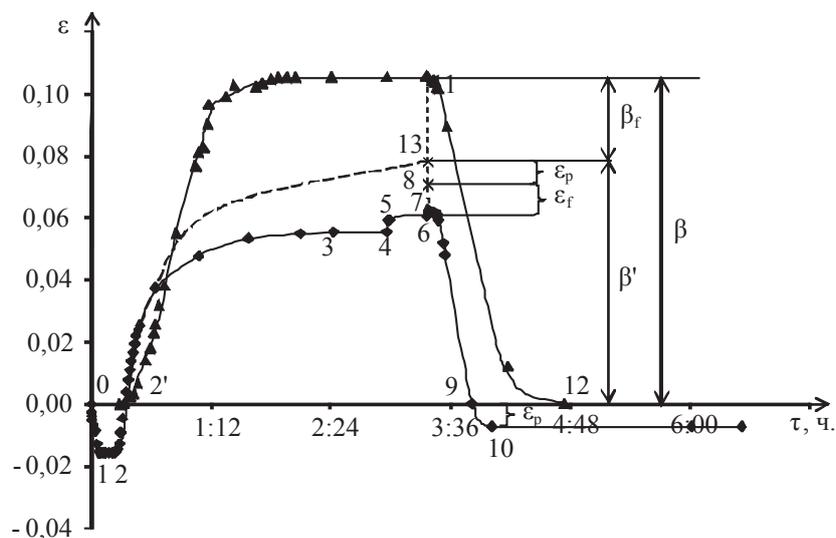


Рис. 2. Изменение деформации во время опыта (Ясень, растяжение, танг. $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{нач.}}=86\%$, $W_{\text{кон.}}=2\%$, $P=50\text{H}$)

Fig. 2. Change the deformation during the experiment (Ash, stretching, tang. $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{нач.}} = 86\%$, $W_{\text{кон.}} = 2\%$, $P = 50\text{H}$)

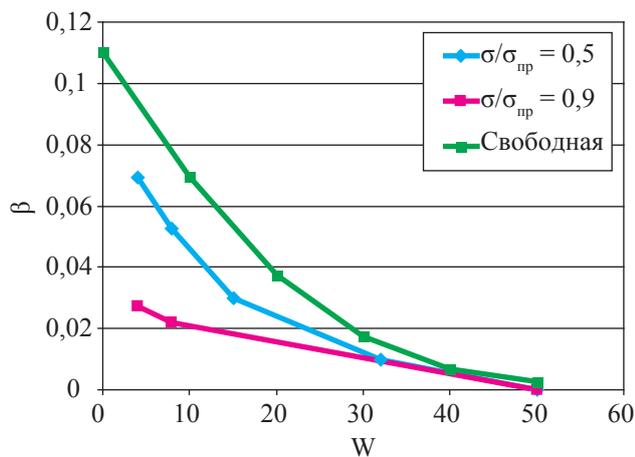


Рис. 3. Зависимость усушки от влажности древесины при различных значениях растягивающей нагрузки

Fig. 3. The dependence of shrinkage of the wood moisture at different values of tensile load

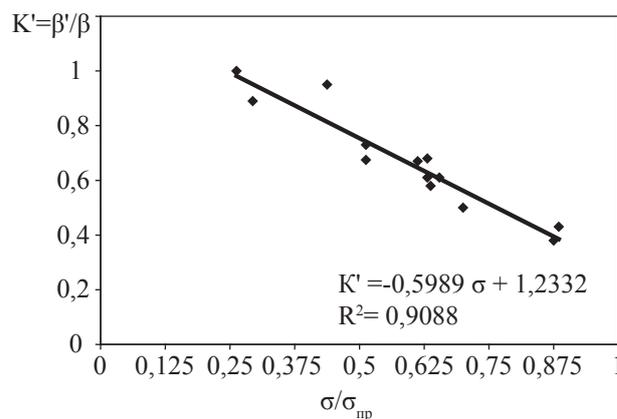


Рис. 4. Зависимость «редуцированной усушки» от напряжений (Ясень, растяжение, танг. $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W \geq W_{\text{пн}}$, $\sigma = 1,6\text{ МПа}$)

Fig. 4. Dependence «reduced shrinkage» of stresses (Ash, stretching, tango. $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W \geq W_{\text{пн}}$, $\sigma = 1,6\text{ МПа}$)

6–8, пластическую ε_p и замороженную усушку β_f .

При увлажнении древесины, начатом в момент, соответствующий точке 6, происходят два противоположно направленных процесса: «размораживание» замороженных деформаций и разбухание образца. Отрезок 6–7 отражает результат частичного размораживания и разбухания образца. Полное размораживание $\varepsilon_f = \varepsilon_{ev1} - \varepsilon_{ev2} = 0,015 - 0,006 = 0,009$ соответствует отрезку 6–8. Дальнейшее увлажнение восстанавливает первоначальный размер образца (точка 9) и выявляет накопленную во время сушки и не изменившуюся при вымачивании пластическую деформацию растяжения $\varepsilon_p = 0,007$ (отрицательная ордината точки 10). Деформация ε_p представлена отрезком 8–13. Участок 12–13 соответствует редуцированной усушке $\beta' = 0,076$. Отрезок 11–13 отражает замороженную усушку $\beta_f = \beta - \beta' = 0,106 - 0,076 = 0,030$.

При воздействии растягивающей нагрузки изменяется характер зависимости величины усушки от влажности древесины. На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости усушки от влажности древесины. Величина растягивающей нагрузки составляла 0, 5 и 0, 9 от предела прочности при растяжении в тангенциальном направлении при влажности древесины выше предела насыщения клеточных стенок. Экспериментально установлено, что при нагрузках до половины предела прочности характер зависимости редуцированной усушки от влажности древесины подобен усушке при отсутствии напряжений. В диапазоне начальной влажности до 15 % зависимость нелинейная. При дальнейшем снижении влажности зависимость приобретает линейный характер. Нагрузки, превышающие половину предела прочности древесины, увеличивают протяженность диапазона нелинейной зависимости.

Как следует из рис. 3, величина замороженной усушки также увеличивается при снижении влажности. Аналогичные зависимости могут быть использованы при определении коэффициента замороженной усушки.

Зависимость редуцированной усушки от величины нагрузки можно считать линей-

ной. Отношение редуцированной усушки β^* к свободной β получило название коэффициента редуцирования K^* . Зависимость коэффициента редуцирования от величины относительной растягивающей нагрузки приведена на рис. 4. Как видно из приведенного рисунка, при напряжениях, близких к пределу прочности древесины, величина усушки составляет менее 30 % от свободной.

Эти данные необходимы для уточненного расчета сушильных напряжений, в котором учитывается влияние величины нагрузки и диапазона снижения влажности на величину коэффициента усушки древесины.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Серговский, П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. 4-е издание, перераб. и доп. / П.С. Серговский, А.И. Расев. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 360 с.
2. Уголев, Б.Н. Контроль напряжений при сушке древесины / Б.Н. Уголев, Ю.Г. Лапшин, Е.В. Кротов – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 208 с.
3. Галкин, В.П. Исследование влияния температуры на усушку микросрезов древесины / В.П. Галкин // Деревообрабатывающая пром-сть. – Вып. 1. – 2010. – С. 9–10.
4. Лоскутов, С.Р. Взаимодействие древесины с физически активными низкомолекулярными веществами / С.Р. Лоскутов. – Новосибирск: СО РАН, 2004. – 172 с.
5. Клеточная стенка древесины и ее изменения при химическом воздействии / Бейнарт И.И. и др. – Рига: 1972. – 511с.
6. Чудинов, Б.С. Вода в древесине / Б.С. Чудинов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 270 с.
7. Уголев, Б.Н. Коэффициенты усушки древесины при действии растягивающих нагрузок / Б.Н. Уголев, В.П. Галкин, А.А. Калинина // Технология и оборудование для переработки древесины: сб. науч. тр. – Вып. 358. – М.: МГУЛ, 2011. – С. 4–9.
8. Ugolev, B.N. Wood as a natural smart material. Wood Science and Technology. Journal of the International Academy of Wood Science, (2014) vol. 48, Number 3, S.553–568. DOI 10.1007/s00226-013-0611-2.
9. Уголев Б.Н. Экспериментальные исследования влияния наноструктурных изменений древесины на ее деформативность / Уголев Б.Н., Галкин В.П., Горбачева Г.А., Калинина А.А., Белковский С.Ю. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 7(90). – С. 124–126.
10. Горбачева Г.А. Деформационные превращения древесины при изменении нагрузки, влажности и температуры / дис. ... канд. тех. наук: 05.21.05: защищена 12.10.04: утверждена 04.03.2005 / Г.А. Горбачева. – М., 2004.

CHANGE OF WOOD SHRINKAGE AT THE DEVELOPMENT OF DRYING STRESSES

Sanaev V.G., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Ugolev B.N.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Galkin V.P.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Kalinina A.A.**, Leading Engineer MSFU, **Aksenov P.A.**, Head. Lab. MSFU, Ph.D. (Agriculture)

rector@mgul.ac.ru, ugolev@mgul.ac.ru, vgalkin@mgul.ac.ru, kalinina@mgul.ac.ru, axenov.pa@mail.ru
Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishi, Moscow reg., Russia

As a result of the influence of the moisture gradient through-the-thickness accompanying wood chamber drying, lumber is subject to stresses, changing patterns of wood shrinkage. Depending on the humidity of the free shrinkage, two sections can be traced – a nonlinear section with the the initial humidity of 15 %, which is removed mainly microcapillary water, and an essentially linear one, with at least 15 % humidity, which removes adsorption moisture. The water contained in the timber forms intermediate weakly-coupled hydrogen bonds. There are significant supple and elastic deformation during the deformation of wet wood. Deformed wood drying forms frozen deformation which disappears when rewetting wood. The difference between the value of the free shrinkage and shrinkage with a tensile load is called 'frozen shrinkage'. Frozen deformation consists of three components: the frozen supple and elastic deformations, frozen shrinkage and irreversible plastic deformation. It was established experimentally that the deformation of frozen shrinkage is comparable to frozen supple-elastic deformation. When subjected to a tensile load, the character of the dependence of shrinkage on the wood moisture changes. It was established experimentally that for loads up to half of the tensile strength, the dependence of the reduced shrinkage on the wood moisture content is similar to the shrinkage without stress. In the range of humidity of less than 15 % a linear portion of the dependence of shrinkage was observed. The loads exceeding half the tensile strength of wood increased length of the section of the nonlinear dependence. It has been experimentally shown that the dependence of the frozen shrinkage on the load can be considered linear. At voltages close to the tensile strength of wood shrinkage value of the frozen reaches 70 % of the free one.

Keywords: wood moisture content, shrinkage, stress, frozen strain.

References

1. Sergovskiy P.S., Rasev A.I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1987. 360 p.
2. Ugolev B.N., Lapshin Yu.G., Krotov E.V. *Kontrol' napryazheniy pri sushke drevesiny* [Stresses control when drying]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1980. 208 p.
3. Galkin V.P. *Issledovanie vliyaniya temperatury na usushku mikrosrezov drevesiny* [Investigation of the influence of temperature on shrinkage mikrosrezov wood]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, V. 1, 2010. pp. 9–10.
4. Loskutov S.R. *Vzaimodeystvie drevesiny s fizicheski aktivnymi nizkomolekulyarnymi veshchestvami* [Interaction of wood with physically active low molecular weight substances]. Novosibirsk.: SO RAN, 2004. 172 p.
5. Beynart I.I. i dr. *Kletochnaya stenka drevesiny i ee izmeneniya pri khimicheskoy voz-deystvii* [Cell wall of wood and its changes during chemical exposure]. Riga, 1972. 511 p.
6. Chudinov B.S. *Voda v drevesine* [Water timber]. Novosibirsk: Nauka, 1984. 270 p.
7. Ugolev B.N., Galkin V.P., Kalinina A.A. *Koeffitsienty usushki drevesiny pri deystvii rastyagivayushchikh nagruzok* [Shrinkage of wood under the action of tensile loads] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: sb. nauch. tr. V. 358*. Moscow: MGUL, 2011. pp. 4–9.
8. Ugolev, B.N. Wood as a natural smart material. *Wood Science and Technology. Journal of the International Academy of Wood Science*, (2014) vol. 48, Number 3, S.553–568. DOI 10.1007/s00226-013-0611-2.
9. Ugolev B.N., Galkin V.P., Gorbacheva G.A., Kalinina A.A., Belkovskiy S.Yu. *Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya nanostrukturnykh izmeneniy drevesiny na ee deformativnost'* [Experimental study of the effect of nanostructured wood changes its deformability] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*. 2012. № 7 (90). pp. 124–126.
10. Gorbacheva G.A. *Deformatsionnye prevrashcheniya drevesiny pri izmenenii nagruzki, vlazhnosti i temperatury* [Deformation transformation of wood under load changes, humidity and temperature] diss. kand. tekhn. nauk Moscow, 2004.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ В ПОЛЕ СВЧ

В.П. ГАЛКИН, проф. каф. древесиноведения МГУЛ, д-р техн. наук,

В.И. МЕЛЕХОВ, зав. каф. древесиноведения и тепловой обработки древесины САФУ, д-р техн. наук,

В.А. ШУЛЬГИН, ст. преподаватель каф. автоматики, робототехники и управления техническими системами САФУ,

В.Г. САНАЕВ, проф., зав. каф. древесиноведения МГУЛ, д-р техн. наук

vgalkin@mgul.ac.ru, v.shulgin@agtu.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Россия, 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17

Высокоинтенсивная сушка древесины при обеспечении необходимого качества материала может быть выполнена воздействием микроволнового электромагнитного поля генератора, которое приложено ко всему объему материала, находящегося в резонаторе сушильной камеры. В этом случае градиенты влажности, температуры и давления имеют одинаковое направление потока массы от центральных зон объема материала к поверхности сортимента и определяют механизм внутреннего переноса массы влаги в древесине. Измерение характеристик полей влажности и температуры, возникающих в процессе сушки древесины, позволяет экспериментально осуществить подбор удовлетворяющих условиям процесса сушки рабочих мощностей СВЧ-излучения. Цель данной работы - установление энергетической функциональной зависимости резонатора лесосушильной камеры для получения математической модели системы контроля процесса теплопереноса, дающую идеальное представление о процессе сушки древесины в соответствии с математической моделью, основанной на дифференциальных уравнениях суммы дивергенций теплопереноса и массопереноса. В статье рассмотрены электрофизические явления процесса СВЧ-сушки древесины, приведены аналитические выражения баланса мощностей электромагнитного вектора Пойтинга, энергетические коэффициенты (добротность и затухание резонатора лесосушильной камеры), позволяющие устанавливать оптимальный режим сушки. Представлена математическая модель системы контроля процесса сушки древесины в СВЧ-камере, посредством которой возможно осуществлять технологический процесс сушки в соответствии с электрофизическими параметрами резонатора. Такое представление дает возможность разработать на этой основе комплексную измерительно-контрольную систему, которая позволяет выполнять измерительный контроль процесса сушки пиломатериала в микроволновой лесосушильной резонаторной камере, осуществлять непрерывное определение градиентов влажности и температуры в древесине, производить регулирование подводимой к материалу микроволновой мощности по энергетической функциональной зависимости резонатора лесосушильной камеры в соответствии с балансом мощностей источника энергии системы контроля процесса сушки.

Ключевые слова: СВЧ-сушка древесины, резонатор, добротность резонансной камеры, тангенс угла диэлектрических потерь, энергия электромагнитного поля, дивергенция, градиенты температуры и влажности, источник сторонних сил, подведенная мощность.

Высокоинтенсивная сушка древесины при обеспечении необходимого качества материала может быть осуществлена при условии внутреннего переноса влаги к поверхностным зонам с малыми значениями градиентов влагосодержания древесины. Это становится возможным, если выполняемый процесс будет происходить в соответствии с уравнением (1), с изменением знака на противоположный перед вторым членом уравнения потока массы, когда все градиенты положительные.

$$q' = -\alpha' \rho_0 \frac{du}{dx} \pm \alpha' \rho_0 \delta \frac{\partial T}{\partial x} - \alpha'_p \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (1)$$

где α' , α'_p – коэффициент потенциалопроводности молекулярного и капиллярного

переноса влаги, коэффициент потенциалопроводности молярного переноса пара соответственно;

ρ_0 – плотность сухой древесины;

δ – относительный коэффициент термодиффузии;

du/dx , $\partial T/\partial x$, $\partial P/\partial x$ – градиенты влажности, температуры, давления соответственно.

Изменение направления градиента температуры можно достичь применением источника энергии СВЧ, который осуществляет диэлектрический нагрев древесины по объему V.

При воздействии на влажную древесину микроволнового электромагнитного поля

можно регулировать температуру центральных зон объема материала, поддерживая ее определенное значение. Одновременно можно регулировать и давление паровоздушной среды в материале, принимая во внимание анизотропное строение древесины.

В зависимости от температуры, создаваемой в материале, процессы влагопереноса можно подразделить на интенсивные при вскипании воды и малоинтенсивные (низкотемпературные), в которых вода не достигает точки кипения. Обобщенное математическое описание процессов теплопереноса и массопереноса в древесине рассмотрено Г.С. Шубиным в работе [1].

Дифференциальное уравнение массопереноса определяет частную производную объемной концентрации влаги по времени i -го связанного вещества древесины $\partial U_i \rho_0 / \partial t$, (кг/м³) которая равна сумме дивергенций диффузионных $q'_{i, \text{диф}}$ и молярных $q'_{i, \text{мол}}$ потоков массы и источника i -го вещества q_i^x , связанных фазовым переходом

$$\frac{\partial U_i \rho_0}{\partial t} = -\text{div}(q'_{i, \text{диф}} + q'_{i, \text{мол}}) + q_i^x. \quad (2)$$

Дифференциальное уравнение теплопереноса определяет частную производную от объемной концентрации теплосодержания по времени $c \rho_0 \partial T / \partial t$, которая равна дивергенции плотности потока энтальпии, передаваемой за счет теплопроводности или диффузионного и молярного движения

$$c \rho_0 \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \nabla T) + \sum i q_i^x - \sum (q'_{i, \text{диф}} + q'_{i, \text{мол}}) c_i \nabla T, \quad (3)$$

где c – приведенная удельная теплоемкость тела;

λ – коэффициент теплопроводности;

$\sum i q_i^x$ – источник тепла;

$\sum (q'_{i, \text{диф}} + q'_{i, \text{мол}}) c_i \nabla T$ – конвективная составляющая массопереноса; приведенная удельная теплоемкость тела c определяется выражением: $c = c_0 + \sum c_i U_i$.

Отличительной особенностью нагревания в поле СВЧ влагосодержащих материалов с невысокими диэлектрическими показателями является избирательность нагревания. Это означает повышенное выделение тепла в зонах древесины, обладающих более высоким коэффициентом диэлектрических по-

терь. В связи с тем, что диэлектрические потери древесины определяются в основном величиной влажности, при воздействии энергии СВЧ сначала происходит выравнивание влажности в объеме сортамента, а затем равномерное снижение влажности при испарении с поверхности. Схема подвода энергии СВЧ к материалу должна обеспечить равномерную напряженность электромагнитного поля (ЭМП) в сушильном пространстве для создания равномерного температурного поля в объеме материала. Поскольку микроволновая энергия подводится непосредственно к обрабатываемому материалу, интенсивность его нагрева определяется удельной объемной мощностью СВЧ (Вт/см³).

Нагревание влажной древесины микроволновой энергией может происходить достаточно интенсивно. Тогда масса воды, испаренная с поверхности, становится меньше количества пара, образующегося внутри материала, что приводит к возникновению градиента давления. Градиент внутреннего давления, вызывающий молярный перенос массы, может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на сушку материала. Если длина волны ЭМП не обеспечивает достаточной глубины проникновения в материал, то зона испарения воды смещается к поверхности, а другая часть воды поступает в центральную зону древесины. При этом процесс сушки замедляется.

Поля температур, влагосодержания и избыточного давления определяют механизм внутреннего переноса массы влаги в древесине. Измерение характеристик полей влажности и температуры, возникающих в процессе сушки, позволяет экспериментально осуществить подбор удовлетворяющих условиям процесса сушки рабочих мощностей СВЧ-излучения, что позволяет установить функциональную зависимость и создать математическую модель процесса переноса, дающую идеальное представление о процессе [2, 3], и разработать на этой основе комплексную измерительно-контрольную систему.

Закономерности процесса внутреннего теплопереноса и массопереноса описыва-

ются системой дифференциальных уравнений [2]

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_T \nabla^2 t + \frac{\varepsilon r_0}{c} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau} + \frac{Q_V}{c \rho_0}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 u + a_m \delta \nabla^2 t + \varepsilon \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = a_p \nabla^2 p + \frac{\varepsilon}{c_B} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau}, \quad (6)$$

где a_T – коэффициент температуропроводности;
 ε – критерий фазового перехода;
 c – теплоемкость древесины;
 r_0 – скрытая теплота парообразования;
 Q_V – количество тепла, выделяемого в теле;
 ρ_0 – плотность абсолютно сухой древесины;
 a_m – коэффициент массопроводности тела;
 δ – термоградиентный коэффициент;
 a_p – коэффициент конвективной диффузии:
 $a_p = K_p / (C_B \rho_0)$, C_B – емкость тела по отношению к влажному воздуху, прямо пропорциональная пористости P

$$C_B = P \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T = PV, \quad (7)$$

где ρ – плотность влажного воздуха в порах и капиллярах тела;

P – пористость;

V – насыщенность пор и капилляров влажным воздухом ($\sum B_i = 1$).

Аналитическое решение системы дифференциальных уравнений переноса (4–6) достаточно сложно. Для численного решения рассматриваемой системы использован сеточный метод с аппроксимацией уравнений. Расчет выполнялся итерационно по методу Зейделя.

Уравнения (4–6) представляют математическую модель процесса теплообмена в древесине, внутреннего теплопереноса и массопереноса в СВЧ-сушильных установках. Для проверки работоспособности модели процесса тепломассообмена В.П. Галкиным проводились эксперименты по сушке одиночных образцов на лабораторной установке и штабеле пиломатериалов на промышленной установке [4]. Исследовались различные режимы сушки древесины различных пород (сосны, ели, березы и дуба) и выработаны обобщения и рекомендации по сушке древесины. Дифференциальные

уравнения массопереноса и теплопереноса (2, 3) представляют сумму дивергенций потоков внутреннего массопереноса и теплопереноса и сумму потока энергии источника тепла $\sum i q_i^x$.

Таким образом, градиентам влажности и температуры соответствует алгебраическая сумма потоков внутреннего массопереноса и теплопереноса и сумма потока тепла от стороннего источника энергии. Таким источником энергии является генератор СВЧ, работа которого может быть описана средствами математического аппарата электродинамики [5–7].

Генератор представляет собой источник сторонних сил, определяющих объемную плотность мощности, приобретаемой электромагнитным полем.

Энергия электромагнитного поля определяется в соответствии с уравнением Умова–Пойтинга для некоторого объема V , в котором существуют сторонние источники электромагнитного поля. На основании закона сохранения энергии имеем следующий баланс мгновенных значений мощностей для вектора электромагнитного поля в выделенном объеме

$$P_{CT} = P_{II} + \frac{\partial w}{\partial t} + P_{\Sigma}, \quad (8)$$

где P_{CT} – мощность электромагнитного поля, создаваемая сторонними источниками;

P_{II} – мощность потерь в веществе;

$\partial w / \partial t$ – мощность, расходуемая на изменение энергии электромагнитного поля в объеме V , Вт;

P_{Σ} – мощность поля, выходящая сквозь замкнутую поверхность S .

На основании слагаемых выражения (8) для баланса мощностей получим из электродинамики уравнение

$$- \int_V E J_{CT} dV = \int_V \sigma E^2 dV + \frac{\partial}{\partial t} \int_V \left(\frac{\varepsilon_a E^2}{2} + \frac{\mu_a H^2}{2} \right) dV + \oint_S [EH] dS, \quad (9)$$

которое в интегральной форме определяет баланс мгновенных значений мощностей в объеме V резонатора микроволновой камеры.

Выражение (9) в соответствии с балансом комплексных мощностей вектора Пойтинга в интегральной форме можно представить в следующем виде

$$\int_V \dot{S}_{CT.И.} dV = \int_V P_{П.СР.} dV + i2\omega \int_V (W_{М.СР.} - W_{Э.СР.}) dV + \oint_S \dot{\Gamma} dS, \quad (10)$$

где левая часть и последнее слагаемое справа – комплексные величины, которые называются соответственно комплексной мощностью стороннего источника в объеме V , и комплексной мощностью, выходящей из поверхности S , ограничивающей объем V . Остальные интегралы в (10) вещественные.

Приравнявая в выражении (10) вещественные части слева и справа, получим уравнение

$$\int P_{СТ.СР.} dV = \int P_{П.СР.} dV + \oint \Pi_{СР.} dS, \quad (11)$$

которое можно представить в виде

$$P_{СТ.СР.} = P_{П.СР.} + \frac{\partial w}{\partial t} + P_{И.СР.},$$

где $P_{СТ.СР.}$ – мощность электромагнитного поля сторонних источников;

$P_{П.СР.}$ – мощность потерь, расходуемая на нагрев древесины

$$P_{П.СР.} = \int_V \sigma E^2 dV;$$

$\partial w/\partial t$ – мощность, расходуемая на изменение энергии w в объеме V ;

$P_{И.СР.}$ – мощность поля, выходящая сквозь замкнутую поверхность S , ограничивающую объем V .

Поскольку среднее значение энергии электромагнитного поля в объеме V при установившемся процессе не изменяется во времени, $\partial w_{СР.}/\partial t = 0$, то можно представить его в следующем виде

$$P_{СТ.СР.} = P_{П.СР.} + P_{И.СР.} \quad (12)$$

Вещественные части комплексных мощностей, равные средним за период значениям мощностей, называют активными мощностями. Соотношение (11, 12) выражают баланс средних за период значений мощностей.

Приравнявая в (10) мнимые части, получим уравнение

$$P_{P.СТ.} = 2\omega \int (W_{М.СР.} - W_{Э.СР.}) dV + \text{Im} \oint \dot{\Gamma} dS, \quad (13)$$

где

$$P_{P.СТ.} = -\frac{1}{2} \text{Im} \int_V \dot{E} J_{CT}^* dV$$

– мнимая часть стороннего источника, называемая реактивной мощностью этого источника.

Среднее значение амплитуды мгновенной реактивной мощности источника за период равно нулю, так как она связана с колебательным характером движения энергии. В течение четверти периода реактивная энергия переходит из источников в электромагнитное поле и поглощается активным сопротивлением резонатора, двигаясь в одном направлении, в течение следующей четверти периода эта энергия возвращается из электромагнитного поля в источник и поглощается активным сопротивлением генератора, двигаясь в другом направлении. Соотношение (13), представляющее баланс реактивных мощностей комплексного вектора Пойтинга (10), показывает, что реактивная мощность источника определяется разностью средних значений энергий магнитного и электрического полей в объеме V и мнимой части потока вектора $\dot{\Gamma}$ через поверхность S , ограничивающую объем V .

Полагая, что резонатор лесосушильной камеры представляет собой изолированную область V , для которой поток $\dot{\Gamma}$ сквозь ограничивающую ее поверхность S равен нулю. Тогда для изолированного объема выражения (11–13) имеют вид $P_{СТ.СР.} = P_{П.СР.}$; $P_{P.СТ.} = 2\omega(W_{М.СР.} - W_{Э.СР.})$, что соответствует режиму согласования комплексного источника $\dot{S}_{СТ.И.}$ с нагрузкой резонатора лесосушильной камеры (реактивная энергия вся находится в замкнутом объеме V). При измерении проходящей мощности отраженная волна отсутствует и $P_{пр} = P_{п}$ (проходящая мощность равна мощности падающей).

Если при этом средние значения энергий электрического и магнитного полей в объеме V равны ($W_{М.СР.} = W_{Э.СР.}$), то мощность стороннего источника (генератора) активна ($P_{P.СР.} = 0$), и в изолированной области наблюдается резонанс. Происходит обмен реактивной энергией резонатора с источником (генератором) с дополнительными потерями, как в том, так и в другом.

Возвращаясь к рассмотрению выражений для потоков энергии процессов внутреннего теплообмена и массопереноса в древесине (2, 3) соответствующего градиентам массопереноса и теплопереноса следует отметить, что суммарный источник тепла в этих выражениях $\sum i q_i^x$ может быть сопоставлен с выражение (8) для баланса мощностей вектора Пойтинга электродинамики

$$\sum i q_i^x \sim P_{\text{ст.ср}} = P_{\text{п.ср}} + P_{\text{и.ср}}$$

Отсюда следует, что подведенный поток тепла расходуется на нагревание древесины в соответствии с поглощаемой мощностью $P_{\text{п.ср}}$ и излучение энергии обратно к генератору, вызывая тем самым его нагрев.

Следовательно, для выбора оптимального режима сушки древесины с целью получения наибольшего КПД, необходимо осуществлять согласование генератора с нагрузкой, которой является помещенная в резонатор сушильной камеры древесина, и контролировать градиенты температуры и влажности по функциональной энергетической зависимости резонатора.

Для осуществления контроля уровня градиентов температуры и влажности необходимо получить градуировочную характеристику первичного измерительного преобразователя (ПИП) [8–10]. Градуировочная характеристика может быть получена на основе параметров резонатора сушильной камеры – добротности $Q = 1/\text{tg}\delta$, где $\text{tg}\delta$ – тангенс угла потерь (определяет потери мощности в резонаторе).

Выражение для добротности нагруженного резонатора представлено в виде

$$Q_H = \omega_p \frac{W}{P_{\text{п}\Sigma} + P_H} = \omega_p \frac{W}{P_{\text{п}\Sigma}} \frac{1}{1 + P_H/P_{\text{п}\Sigma}} = Q \frac{1}{1 + P_H/P_{\text{п}\Sigma}},$$

где $\omega_p = 2\pi f_p$ – угловая резонансная частота резонатора.

Соответственно для затухания нагруженного резонатора

$$d_H = 1/Q_H = d(1 + P_H/P_{\text{п}\Sigma}),$$

где $P_H = P_{\text{погл}}$ – мощность, расходуемая на нагрев древесины в сушильной камере, определяется калориметрическим

способом измерения поглощенной мощности;

$P_{\text{п}\Sigma}$ – подведенная мощность генератора;

d – затухание ненагруженного резонатора.

По приведенному соотношению для затухания нагруженного резонатора d_H , с учетом интегрального значения средней влажности материала в сушильной камере, вычисленное по формуле для поглощенной мощности $P_{\text{погл}} = cM\Delta T$ калориметрическим способом, где c – удельная теплоемкость, M – масса влажной древесины, ΔT – приращение температуры, и поскольку содержащаяся в древесине влажность пропорциональна

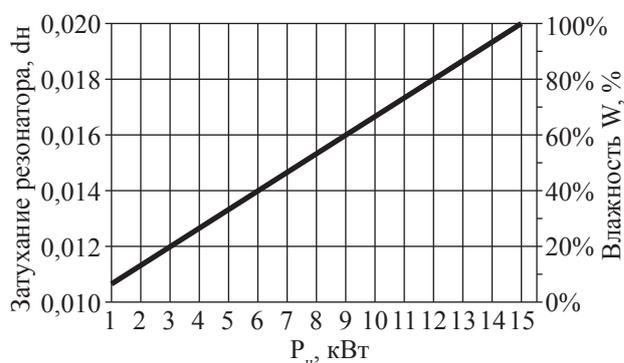


Рис. 1. Градуировочная характеристика ПИП измерителя влажности, $P_{\text{п}\Sigma} = 15$ кВт: P_H – поглощенная мощность, d_H – затухание нагруженного резонатора, W% – влажность древесины

Fig. 1. The calibration characteristic of the PDP moisture meter, $P_{\text{п}\Sigma} = 15$ kW: P_H - absorbed power, d_H - damping loaded resonator, W% - wood moisture

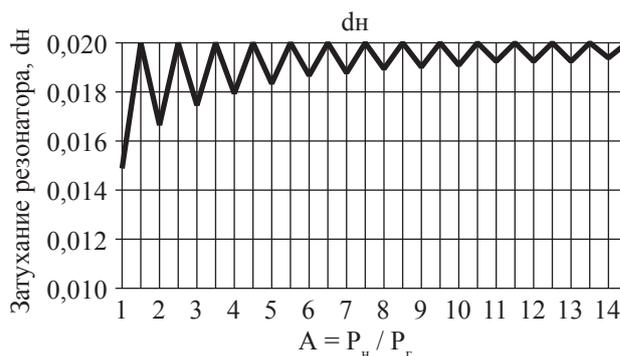


Рис. 2. Характеристика регулировки затухания резонатора в процессе сушки древесины, $P_{\text{п}\Sigma} = 15$ кВт, A – вносимое в резонатор затухание при отсутствии согласования в тракте передачи, d_H – затухание нагруженного резонатора

Fig. 2. Adjustment cavity damping in the process of drying wood, $P_{\text{п}\Sigma} = 15$ kW, A – introduced into the cavity damping in the absence of harmonization in the transmission path, d_H – loaded resonator damping

потерям передаточной функции, т.е. вносимому в резонатор затуханию $A_{\text{вн}}$ при отсутствии согласования в тракте передачи $A_{\text{вн}} = P_{\text{н}}/P_{\text{г}}$

Величина текущей влажности древесины W устанавливается по функции затухания нагруженного резонатора $d_{\text{н}}$ калибровкой измерителя

$$W (\%) = (M - M_0)/M_0 \cdot 100 \%,$$

где M – масса влажной древесины;

M_0 – масса абсолютно сухой древесины.

Градуировочная характеристика ПИП для измерителя влажности после калибровки затухания резонатора сушильной камеры и процесс контроля технологического процесса сушки древесины в СВЧ-сушильной камере при мощности генератора $P_{\text{г}} = 15$ кВт приведены на рис. 1, 2. Регулировка подведенной мощности проводилась с интервалом 10 %.

Выводы

Таким образом, на основе математической модели, представленной дифференциальными уравнениями (2) и (3), возможно осуществлять измерительный контроль процесса сушки пиломатериала в микроволновой лесосушильной резонаторной камере, вести непрерывное определение градиентов влажности и температуры, производить регулирование подводимой мощности по энергетической функциональной зависимости ре-

зонатора лесосушильной камеры $d_{\text{н}} = 1/Q_{\text{н}} = d(1 + P_{\text{н}}/P_{\text{г}})$ в соответствии с балансом мощностей системы контроля процесса сушки.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины: учебник / Г.С. Шубин. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 336 с.
2. Лыков, А.В. Теория сушки: учебник / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
3. Лыков, А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки: учебник / А.В. Лыков. – М.: 1956. 464 с.
4. Галкин, В.П. Древесиноведческие аспекты инновационной технологии сушки древесины: монография / В.П. Галкин. – М.: МГУЛ, 2010. – 238 с.
5. Фальковский, О.И. Техническая электродинамика: учебник / О.И. Фальковский. – СПб.: Лань, 2009. – 432 с.
6. Окресс, Э. СВЧ-энергетика. Том 2. Применение энергии сверхвысоких частот в промышленности: учебник / Э. Окресс. – М.: Мир, 1971. – 273 с.
7. Музалевский, В.И. Измерение влажности древесины: учебник / В.И. Музалевский. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 120 с.
8. Мелехов, В.И. Резонансные явления в процессе СВЧ-сушки древесины / В.И. Мелехов, В.А. Шульгин // Изв. высших учеб. заведений. Лесной журнал. – 2014. – № 3. – С. 89–95.
9. Мелехов, В.И., Шульгин В.А. Контроль сушки пиломатериалов в СВЧ-лесосушильной камере резонаторного типа // Изв. высших учеб. заведений. Лесной журнал. – 2014. – № 4. – С. 70–79.
10. Шульгин, В.А. Особенности сушки древесины (возникновение электрического пробоя) / В.А. Шульгин // Альманах современной науки и образования «Грамота»,

2013. – № 3. – С. 219–222.

MATHEMATICAL MODEL OF THE DRYING PROCESS CONTROL IN THE MICROWAVE FIELD WOOD

Galkin V.P., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); Melekhov V.I., Prof. NArFU, Dr. Sci. (Tech.); Shul'gin V.A., Art. teacher NArFU; Sanaev V.G., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)

vgalkin@mgul.ac.ru, v.shulgin@agtu.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia, Northern (Arctic) Federal University named after MV Lomonosov, Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina Embankment, 17

High intensity timber drying while ensuring the required quality of the material can be made through the exposure to the microwave electromagnetic field of the generator; which can be applied to the entire volume of the material in the cavity of the drying chamber. In this case, the gradients of humidity, temperature and pressure have the same direction of the mass flow from the central zone of volume of material to the surface of the assortment and determine the mechanism of the internal moisture mass transfer in the wood. Measurement of the characteristics of moisture and temperature fields arising in the process of drying wood helps to experimentally implement the selection of the conditions filling the demands of the drying process of working capacities of the microwave radiation. The aim of this work is to establish the energy and functional dependence of the resonator for obtaining the mathematical model of heat and mass transfer process control, which gives a perfect view of the process of wood drying in accordance with a mathematical model based on differential equations of divergence amounts of heat transfer and mass transfer. The article describes the electrical phenomena of the process of the microwave wood drying, the analytical expressions of the electromagnetic power balance of the Poyting vector, energy ratio (Q-factor and the damping of the resonator of the wood-drying chamber), allowing the establishment of the optimal mode of drying. A mathematical model of the system of control of the drying process in the microwave chamber, through which it is possible to carry out the drying process according to the electrophysical

parameters of the resonator, is presented. This representation makes it possible to develop an integrated measurement and control system, which allows to implement the measurement control of the drying process of lumber in the microwave resonator chamber; continuous calculation of moisture and temperature gradients in the timber; make regulations of the microwave power applied to the material on the functional energy dependence of the wood-drying chamber resonator in accordance to the power balance of an energy source control system of the drying process.

Keywords: microwave wood drying, resonator quality factor of the resonance chamber, the dielectric loss tangent, the energy of the electromagnetic field, divergence, gradients of temperature and humidity, the source of external forces, let down power

References

1. Shubin G.S. *Sushka i teplovaya obrabotka drevesiny* [Drying and heat treatment of wood]. M.: Forest Industry, 1990. 336 p.
2. Lykov A.V. *Teoriya sushki* [Theory drying]. Moscow: Energy, 1968. 472 p.
3. Lykov A.V. *Teplo i massoobmen v processah sushki* [Heat and mass transfer in drying processes]. M. 1956. 464 p.
4. Galkin V.P. *Wood Sciences aspects of innovative wood drying*. Moscow: MSFU, 2010. 238 p. (in Russian).
5. Falkowski O.I. *Tekhnicheskaya elektrodinamika* [Technical Electrodynamics]. St. Petersburg: Lan', 2009. 432 p.
6. Okress E. *SVCh-energetika* [Microwave energy. V. 2. Application of microwave energy in the industry]. New York: Wiley, 1971. 273 p.
7. Muzalevskii V.I. *Izmerenie vlazhnosti drevesiny* [Measuring the moisture content of wood]. M.: Forest Industry, 1976. 120 p.
8. Melekhov V.I., Shulgin V.A. *Rezonansnye yavleniya v protsesse SVCh-sushki drevesiny* [Resonance phenomena in the microwave drying of wood. Proceedings of higher education institutions]. Forest journal, 2014, no.3. pp. 89-95 (in Russian)
9. Melekhov VI, Shulgin V.A. *Kontrol' sushki pilomaterialov v SVCh-lesosushil'noi kamere rezonatornogo tipa* [Control of lumber drying in a microwave resonator-type Stoves. Proceedings of higher education institutions]. Forest journal, 2014, no. 4. pp. 70-79 (in Russian)
10. Shulgin V.A. *Osobennosti sushki drevesiny (vozniknovenie elektricheskogo proboya)* [Features wood drying (occurrence of electrical breakdown)] Almanac of modern science and education. Gramota, 2013, no. 3. pp. 219-222 (in Russian)

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ

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

На основе лингвистических переменных была проанализирована информация, полученная от группы экспертов. Этот выбор не является случайным, поскольку лингвистические переменные хорошо зарекомендовали себя в задачах обработки нечеткой информации, а изучение свойств лингвистических переменных дало все основания утверждать, что они адекватно моделируют мыслительную деятельность экспертов и с успехом могут применяться для формализации экспертных знаний и опыта. С целью контроля качества экспертной информации, полученной из разных источников, определяются коэффициенты парной и общей согласованности. Разработана модель представления групповой экспертной информации в виде лингвистической переменной, значениями которой являются интервальные нечеткие множества первого типа. Однако стоит отметить, что полученный обобщенный критерий является неким усредненным мнением разных экспертов. Это следует отнести скорее к минусам, чем к плюсам, поскольку хотелось бы получить не только усредненное мнение, а учесть разброс экспертных мнений и нечеткость самой степени уверенности экспертов в оценке того или иного показателя. С этой целью разработана модель представления групповой экспертной информации в виде лингвистической переменной, значениями которой являются интервальные нечеткие множества второго типа (значениями функций принадлежности являются интервалы, в то время как у обычных нечетких множеств значениями функций принадлежности являются числа), что позволяет учесть в обобщенной модели разброс экспертных мнений, а не только получить некое усредненное мнение.

Ключевые слова: групповая экспертная информация, лингвистическая переменная, функция принадлежности.

Задачи анализа информации, полученной от группы экспертов, и ее агрегация не являются новыми, но актуальность их 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. Достаточно часто экспертные оценки являются единственным средством оценки качественных

показателей различных сложных систем из-за отсутствия надежных математических моделей, достоверной статистической информации и ряда других причин. Эксперты, оценивая показатели и выражая свои знания, используют в рамках профессионального языка лингвистические значения этих показателей, что является объективной причиной появления нечетких данных. Информация с нечеткими данными получила название нечеткой информации.

Учитывая сложность проведения экспертиз одновременно со сложностью постоянного привлечения экспертов, знания и опыт экспертов пытаются формализовать и использовать в интеллектуальных системах анализа данных и поддержки принятия решений [1–4].

Возможность использования экспертами балльных оценок давно критикуется, поскольку окончательные результаты не всегда обладают устойчивостью, а сами оценки являются слишком грубыми и не могут передать особенности индивидуального процесса оценивания [5–8]. В [9] справедливо отмечается, что «количественные или балльные оценки нередко скрывают неумение квалифицированно, на научной основе оценивать те или иные состояния, явления, пути развития ситуации. Очень часто выбор групповых решений на основе оценок отдельных экспертов проводится без анализа правомерности получения такого решения».

В настоящей работе для формализации информации, полученной от экспертов при оценивании качественных показателей, выбраны лингвистические переменные. Этот выбор не является случайным, поскольку лингвистические переменные хорошо зарекомендовали себя в задачах обработки нечеткой информации, а изучение свойств лингвистических переменных дало все основания утверждать, что они адекватно моделируют мыслительную деятельность экспертов и с успехом могут применяться для формализации экспертных знаний и опыта [10–12].

Согласно [10] нечетким множеством \tilde{A} называется множество пар вида $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$, где $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ – функции принадлежности \tilde{A} .

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 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 .

Термы $X_i, i = \overline{1, m}$ называют понятиями, образующими лингвистическую переменную. Функцию принадлежности нечеткого множества $X_i, i = \overline{1, m}$, описывающего возможные значения нечеткой переменной с названием $X_i, i = \overline{1, m}$, традиционно называют функцией принадлежности понятия $X_i, i = \overline{1, m}$ или функцией принадлежности термина $X_i, i = \overline{1, m}$.

Сравнительный анализ экспертной информации

К настоящему времени разработан ряд методов, позволяющих формализовать информацию, полученную от эксперта в результате оценивания им качественных показателей (например глубина научной проработки исследования, эффективность использования новых технологий и т.д.) или описания в лингвистических терминах количественных показателей (например уровень надежности системы или уровень инфляции: «низкий», «средний», «высокий», «очень высокий») [11, 13–17].

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 $\mu_{i_l}(x), l = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, k}$ ($\mu_{i_l}(x) \equiv (a_1^{i_l}, a_2^{i_l}, a_L^{i_l}, a_R^{i_l})$, $[a_1^{i_l}, a_2^{i_l}]$ – интервал толерантности, $a_L^{i_l}, a_R^{i_l}$ – соответственно левый и правый параметры нечеткости). Построенные лингвистические переменные будем называть критериями экспертов оценивания некоторого качественного показателя.

В теории экспертного оценивания для определения согласованности двух и более экспертных ранжирований применяются различные показатели. Опираются эти показатели или на парные сравнения рангов, присвоенных одним и тем же объектам

(например коэффициент Кендалла [18]) или на арифметические преобразования рангов (например коэффициент конкордации [19], коэффициент ранговой корреляции в модели Кемени-Снелла [20], коэффициент ранговой корреляции Спирмена [21]). Другие показатели на принципах, подобных вышеперечисленным принципам, изложены в [22–26].

С целью анализа экспертной информации определим количественные показатели сходства и согласованности экспертных критериев на основе абстрактных понятий – значений функций принадлежности.

Показателем различия в рамках l -го термина критериев i -го и j -го экспертов (с функциями принадлежности терм-множеств $\{\mu_{il}(x), l = \overline{1, m}\}, \{\mu_{jl}(x), l = \overline{1, m}\}, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}\}$) называется

$$d(\mu_{il}, \mu_{jl}) = \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx. \quad (1)$$

Показателем сходства в рамках l -го термина критериев i -го и j -го экспертов называется

$$\tilde{\kappa}_{ij}^l = 1 - d(\mu_{il}, \mu_{jl}), i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}. \quad (2)$$

Показателем различия критериев i -го и j -го экспертов называется

$$d(X_i, X_j) = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^m \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx, \quad (3)$$

$$i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}.$$

Этот показатель можно трактовать как среднюю потерю информации между критериями i -го и j -го экспертов.

Показателем сходства критериев i -го и j -го экспертов называется

$$\tilde{\kappa}_{ij} = 1 - d(X_i, X_j), i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}. \quad (4)$$

Показателем согласованности в рамках l -го термина критериев i -го и j -го экспертов называется

$$\kappa_{ij}^l = \frac{\text{Площадь}(\mu_{il} \cap \mu_{jl})}{\text{Площадь}(\mu_{il} \cup \mu_{jl})}, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}. \quad (5)$$

Показателем согласованности критериев i -го и j -го экспертов называется

$$\kappa_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\text{Площадь}(\mu_{il} \cap \mu_{jl})}{\text{Площадь}(\mu_{il} \cup \mu_{jl})}. \quad (6)$$

Аддитивным и мультипликативным показателями общей согласованности критериев экспертов соответственно называются

$$\kappa = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\text{Площадь}(\mu_{1l} \cap \mu_{2l} \cap \dots \cap \mu_{kl})}{\text{Площадь}(\mu_{1l} \cup \mu_{2l} \cup \dots \cup \mu_{kl})}, \quad (7)$$

$$\tilde{\kappa} = \sqrt[m]{\prod_{l=1}^m \frac{\text{Площадь}(\mu_{1l} \cap \mu_{2l} \cap \dots \cap \mu_{kl})}{\text{Площадь}(\mu_{1l} \cup \mu_{2l} \cup \dots \cup \mu_{kl})}}. \quad (8)$$

Если значение показателей общей согласованности (7, 8) близко к нулю, то это может свидетельствовать, например, о некомпетентности одного или нескольких экспертов или о нечеткой формулировке процедуры оценивания.

В случае неудовлетворительного показателя общей согласованности выявить экспертные критерии, которые существенно отличаются от остальных, и исключить их из дальнейшего рассмотрения предлагается следующим образом.

Для каждого эксперта вычисляется сумма показателей парного сходства (согласованности) его критерия с критериями других экспертов. Выбирается критерий, который имеет наименьшую сумму, и исключается из рассмотрения. После этого повторно вычисляется показатель общей согласованности без исключенного критерия. Если показатель общей согласованности является удовлетворительным, то анализ на этом заканчивается. В случае неудовлетворительного показателя общей согласованности происходит исключение следующего критерия с минимальной суммой показателей парного сходства (согласованности). После чего осуществляется мониторинг показателя общей согласованности. В случае его удовлетворительного значения анализ заканчивается, в противном случае процедура исключения продолжается. Чем ближе показатель общей согласованности к единице, тем более согласованы индивидуальные экспертные оценки.

Все показатели (1–8), определенные выше, меняются от 0 до 1.

Выбор показателя сходства или показателя согласованности при анализе экспертной информации зависит от поставленной задачи. Если ставится задача определения степени схожести двух экспертных критериев в рамках термов с наибольшими носителями (множествами, на которых соответствующие функции принадлежности отличны от нуля), то реко-

мендуется применение показателя сходства (4). Если ставится задача определения степени схожести двух экспертных критериев равномерно в рамках всех термов, независимо от величины их носителей, то рекомендуется применение показателя согласованности (6).

Построение обобщенного экспертного критерия

В теории экспертного оценивания сформулировано условие оптимальности группового выбора по Парето [26]. Это условие означает, что если $R = F(R_1, R_2, \dots, R_k)$ – групповое ранжирование, являющееся функцией индивидуальных ранжирований R_1, R_2, \dots, R_k , то

$$\bigcap_{n=1}^k R_n \subseteq R \subseteq \bigcup_{n=1}^k R_n.$$

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

$$\begin{aligned} \min(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) &\leq \\ \leq f_l(x) &\leq \max(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) \quad (9) \\ \forall l = \overline{1, m}, \forall x \in [0, 1]. \end{aligned}$$

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

$$F = \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^k \omega_i \left[(a_1^l - a_1^l)^2 + (a_2^l - a_2^l)^2 + (a_L^l - a_L^l)^2 + (a_R^l - a_R^l)^2 \right] \rightarrow \min.$$

Неизвестные параметры находятся из системы нормальных уравнений

$$\frac{\partial F}{\partial a_1^l} = 2 \left[\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^i - a_1^l \right] = 0, l = \overline{1, m},$$

$$\frac{\partial F}{\partial a_2^l} = 2 \left[\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^i - a_2^l \right] = 0, l = \overline{1, m},$$

$$\frac{\partial F}{\partial a_L^l} = 2 \left[\sum_{i=1}^k \omega_i a_L^i - a_L^l \right] = 0, l = \overline{1, m},$$

$$\frac{\partial F}{\partial a_R^l} = 2 \left[\sum_{i=1}^k \omega_i a_R^i - a_R^l \right] = 0, l = \overline{1, m}.$$

Получаем решения

$$a_1^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^i, l = \overline{1, m}, \quad a_2^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^i, l = \overline{1, m},$$

$$a_L^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^i, l = \overline{1, m}, \quad a_R^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^i, l = \overline{1, m}.$$

Таким образом, получаем

$$\begin{aligned} X &= \{f_l(x), l = \overline{1, m}\} \\ &= \left\{ f_l(x) = \sum_{i=1}^k \omega_i \mu_{il}(x), l = \overline{1, m} \right\} = \quad (10) \\ &= \left\{ f_l(x) \equiv \left(\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^i, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^i, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^i, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^i \right), l = \overline{1, m} \right\}. \end{aligned}$$

Докажем выполнение условия Парето (9) для построенного обобщенного экспертного критерия (10). Так как

$$\begin{aligned} \min_{i=1, k} (\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) &= \\ = \sum_{i=1}^k \omega_i \left(\min_{i=1, k} (\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) \right) &\leq \\ \leq f_l(x) = \sum_{i=1}^k \omega_i \mu_{il}(x) &\leq \\ \sum_{i=1}^k \omega_i \left(\max_{i=1, k} (\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) \right) &= \\ = \max_{i=1, k} (\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) \forall x \in [0, 1], l = \overline{1, m}, \end{aligned} \quad (11)$$

то из (11) получаем

$$\begin{aligned} \min_{i=1, k} (\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) &\leq \\ \leq f_l(x) &\leq \max_{i=1, k} (\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) \\ \forall x \in [0, 1], l = \overline{1, m}. \end{aligned}$$

Таким образом, для построенного обобщенного экспертного критерия выполняется условие Парето.

Однако стоит отметить, что полученный обобщенный критерий является неким усредненным мнением разных экспертов. Это следует отнести скорее к минусам, чем к плюсам, поскольку хотелось бы получить не только усредненное мнение, а учесть разброс экспертных мнений и нечеткость самой степени уверенности экспертов в оценке того или иного показателя.

Помочь в этом могут нечеткие множества второго типа. Отличие этих множеств от обычных нечетких множеств (которые называют нечеткими множествами первого типа) состоит в том, что значениями их функций принадлежности являются не числа из отрезка $[0, 1]$, а нечеткие множества из этого отрезка. Поэтому нечеткие множества второго типа называют «неопределенность неопределенности». Ис-

пользование таких множеств для обработки экспертной информации вполне оправдано, поскольку не только оценки показателей являются нечеткими, но и уверенность экспертов в выборе этих оценок чаще всего является нечеткой.

В настоящей работе рассматриваются интервальные нечеткие множества второго типа, значениями функций принадлежности которых, являются интервалы. На рисунке представлено интервальное нечеткое множество второго типа, которое традиционно определяется верхней $\overline{\mu_{\tilde{A}}}$ и нижней $\underline{\mu_{\tilde{A}}}$ функциями принадлежности.

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

$$\begin{aligned} & a_1^{11}, a_1^{21}, \dots, a_1^{k1} \\ & a_2^{11}, a_2^{21}, \dots, a_2^{k1} \\ & \dots \dots \dots \\ & a_1^{1m}, a_1^{2m}, \dots, a_1^{km} \\ & a_2^{1m}, a_2^{2m}, \dots, a_2^{km}. \end{aligned}$$

Кроме этого

$$a_1^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, l = \overline{1, m}, \quad a_2^l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, l = \overline{1, m}.$$

Вычислим

$$\begin{aligned} s_{1l}^2 &= \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (a_1^{il} - a_1^l)^2 \\ \text{и } s_{2l}^2 &= \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (a_2^{il} - a_2^l)^2, \quad l = \overline{1, m}. \end{aligned}$$

Построим доверительные интервалы для параметров обобщенного экспертного критерия $\hat{a}_1^l, \hat{a}_2^l, l = \overline{1, m}$, используя распределение Стьюдента

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_1^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, l = \overline{1, m}, \\ \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_2^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, l = \overline{1, m}. \end{aligned}$$

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

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} > \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, \text{ то получаем}$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_1^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, l = \overline{1, m},$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_2^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, l = \overline{1, m}.$$

Если

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} < \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, \text{ то получаем}$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_1^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, l = \overline{1, m},$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} \leq \hat{a}_2^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, l = \overline{1, m}.$$

Если

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} > \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il},$$

$$\text{а } \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} < \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, \text{ то получаем}$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_1^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, l = \overline{1, m},$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} \leq \hat{a}_2^l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, l = \overline{1, m}.$$

Исходя из этого, обобщенный критерий экспертов мы представляем в виде лингвистической переменной, значениями которой являются интервальные нечеткие множества второго типа, верхние $\overline{f_l(x)}$ и нижние $\underline{f_l(x)}$ функции принадлежности которых, соответственно задаются параметрами

$$\begin{aligned} \overline{f_l(x)} &= \left(\begin{aligned} & \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \\ & + \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} \end{aligned} \right), l = \overline{1, m}, \quad (12) \\ \underline{f_l(x)} &= \left(\begin{aligned} & \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{s_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \\ & - \frac{s_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} \end{aligned} \right), l = \overline{1, m}. \end{aligned}$$

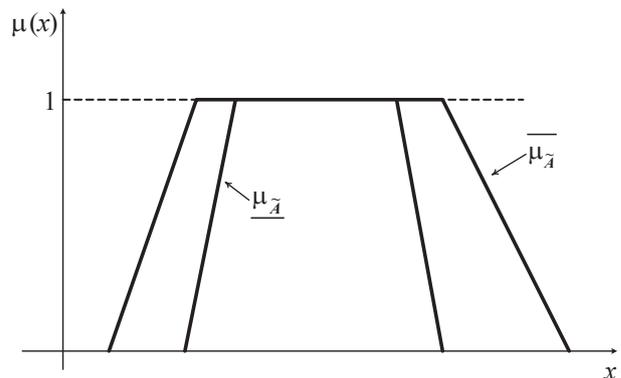


Рисунок. Интервальное нечеткое множество второго типа с верхней $\overline{\mu_{\tilde{A}}}$ и нижней $\underline{\mu_{\tilde{A}}}$ функциями принадлежности

Fig. Interval fuzzy set of the second type with the top $\overline{\mu_{\tilde{A}}}$ and bottom $\underline{\mu_{\tilde{A}}}$ membership functions

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

$$\overline{f_l(x)} = \left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{S_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \\ + \frac{S_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \end{array} \right)_{l=\overline{1, m}},$$

$$\underline{f_l(x)} = \left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} - \\ - \frac{S_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \end{array} \right)_{l=\overline{1, m}}.$$

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

$$\overline{f_l(x)} = \left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{S_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \\ + \frac{S_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \end{array} \right)_{l=\overline{1, m}},$$

$$\underline{f_l(x)} = \left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} + \frac{S_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \\ \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \end{array} \right)_{l=\overline{1, m}}.$$

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

$$\overline{f_l(x)} = \left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il} - \frac{S_{1l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il} + \\ + \frac{S_{2l} \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \end{array} \right)_{l=\overline{1, m}},$$

$$\underline{f_l(x)} = \left(\sum_{i=1}^k \omega_i a_1^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_2^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_L^{il}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_R^{il} \right), l = \overline{1, m}.$$

Для верхней функции принадлежности первого термина первый параметр полагается равным нулю, для верхней функции принадлежности последнего термина второй параметр полагается равным единице.

Таким образом, обобщенный экспертный критерий, построенный в виде (10), является своего рода усредненным критерием всех индивидуальных критериев.

Обобщенный критерий (12), построенный в виде лингвистической переменной с интервальными нечеткими множествами второго типа, учитывает разброс экспертных мнений и позволяет получить интервальную оценку степени уверенности группы экспертов в том или ином решении.

Пример

Рассмотрим задачу оценки результатов научных исследований, которая остается актуальной до сих пор и возникает при

- конкурсном отборе заявок на выполнение научно-исследовательских работ;
- оценке качества результатов, полученных в ходе выполнения научных работ;
- оценке эффективности работы научных подразделений;
- оценке организации выполнения научных работ;
- оценке потенциальных результатов на основе имеющихся достижений;
- оценке результативности научной деятельности.

Достаточно понятными оценками результатов научных исследований являются количественные оценки, которые позволяют оценить материальное воплощение полученных результатов (количество патентов, полученных по данному научному исследованию; количество стран, в которых данная разработка запатентована; количество объектов (отраслей), в которых может быть использована данная разработка; количество признаков, по которому объект разработки отличается от прототипа; степень усовершенствования технического решения по сравнению с прототипом и т.д.).

Достаточно размытыми и нечеткими оценками результатов научных исследований являются качественные оценки, которые позволяют оценить результаты, не имеющие материального воплощения (новизна постановки задачи и методов ее решения; глубина научной проработки; вклад в развитие соответствующей отрасли науки и методологии и т.д.). Как правило, для оценки нематериальной составляющей научных исследований привлекаются эксперты.

Результаты оценивания экспертами глубины научной проработки проектов
Results of the evaluation by Experts depth scientific study projects

№ экз.	тривиальная	недостаточная	средняя	высокая
1	24	55	45	18
2	25	44	60	13
3	25	50	46	21
4	24	50	49	19
5	21	50	46	25

Элементы матрицы парного сходства критериев экспертов
Elements of the matrix pair similarity criteria Experts

1	0.890	0.935	0.954	0.882
0.890	1	0.901	0.912	0.882
0.935	0.901	1	0.971	0.938
0.954	0.912	0.971	1	0.926
0.882	0.882	0.938	0.926	1

Рассмотрим результаты оценивания пятью экспертами глубины научной проработки проектов в рамках лингвистической шкалы «тривиальная», «недостаточная», «средняя», «высокая», которые представлены в табл. 1.

Будем предполагать, что значения глубины научной проработки проектов меняются от нуля до единицы. Ноль соответствует полному отсутствию проработки, единица соответствует максимальной научной проработке. На основании метода [11] и данных табл. 1 были получены функции принадлежности индивидуальных критериев экспертов $\mu_{ij}, i=1,5, j=1,4$, имеющих параметры

$$\begin{aligned} \mu_{11} &= (0, 0.063, 0, 0.126), \\ \mu_{12} &= (0.189, 0.285, 0.126, 0.318), \\ \mu_{13} &= (0.063, 0.7465, 0.318, 0.169), \\ \mu_{14} &= (0.9155, 1, 0.169, 0), \\ \mu_{21} &= (0, 0.048, 0, 0.096), \\ \mu_{22} &= (0.144, 0.365, 0.096, 0.306), \\ \mu_{23} &= (0.671, 0.736, 0.306, 0.176), \\ \mu_{24} &= (0.912, 1, 0.176, 0), \\ \mu_{31} &= (0, 0.0765, 0, 0.153), \\ \mu_{32} &= (0.2295, 0.315, 0.153, 0.324), \\ \mu_{33} &= (0.639, 0.7375, 0.324, 0.175), \\ \mu_{34} &= (0.9125, 1, 0.175, 0), \\ \mu_{41} &= (0, 0.0685, 0, 0.137), \\ \mu_{42} &= (0.2055, 0.3075, 0.137, 0.341), \\ \mu_{43} &= (0.6485, 0.748, 0.341, 0.168), \\ \mu_{44} &= (0.916, 1, 0.168, 0), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{51} &= (0, 0.086, 0, 0.172), \\ \mu_{52} &= (0.258, 0.3355, 0.172, 0.327), \\ \mu_{53} &= (0.6625, 0.7725, 0.327, 0.151), \\ \mu_{54} &= (0.9245, 1, 0.151, 0). \end{aligned}$$

Так как аддитивный показатель общей согласованности критериев (7) равен 0.705, то можно сделать вывод, что все мнения достаточно согласованны (среди экспертов нет некомпетентных).

Вычислим показатели парного сходства (4) критериев экспертов. Результаты вычислений занесены в табл. 2.

Вычисляя суммы показателей парного сходства критерия каждого эксперта с критериями других экспертов, мы получим для первого эксперта сумму 3.750, для второго эксперта сумму 3.585, для третьего эксперта 3.745, для четвертого 3.763 и для пятого 3.628. Сумма показателей второго эксперта является минимальной, что говорит о том, что его критерий, по-видимому, наиболее отличается от остальных. Однако учитывая достаточную согласованность системы всех критериев, мнение второго эксперта из рассмотрения не исключается.

Построим обобщенный критерий (10), считая, что все индивидуальные критерии имеют равные весовые коэффициенты. В результате получим его функции принадлежности

$$\begin{aligned} f_1(x) &= (0, 0.0684, 0, 0.1368), \\ f_2(x) &= (0.2052, 0.3216, 0.1368, 0.3232), \\ f_3(x) &= (0.6448, 0.7483, 0.3232, 0.1678), \\ f_4(x) &= (0.916, 1, 0.1678, 0). \end{aligned} \quad (13)$$

Обобщенный критерий (12) на основе интервальных нечетких множеств второго типа ($\alpha = 0.05$) имеет следующие верхние и нижние функции принадлежности термов

$$\begin{aligned} \overline{f_1(x)} &= (0, 0.06663, 0, 0.1368), \\ \underline{f_1(x)} &= (0, 0.07017, 0, 0.1368), \\ \overline{f_2(x)} &= (0.1875, 0.3591, 0.1368, 0.3232), \\ \underline{f_2(x)} &= (0.2229, 0, 0.2841, 0.3232), \\ \overline{f_3(x)} &= (0.6073, 0.8043, 0.3232, 0.1678), \\ \underline{f_3(x)} &= (0.6823, 0.6923, 0.3232, 0.1678), \\ \overline{f_4(x)} &= (0.8881, 1, 0.1678, 0), \\ \underline{f_4(x)} &= (0.9441, 1, 0.1678, 0). \end{aligned} \quad (14)$$

Рассмотрим значение глубины научной проработки проекта равное 0.16. Согласно обобщенному критерию экспертов (13), степень уверенности, что это значение принадлежит уровню «тривиальная», равна 0.330. Согласно обобщенному критерию экспертов (14), степень уверенности, что это значение принадлежит уровню «тривиальная» принадлежит интервалу от 0.317 до 0.343. Таким образом, обобщенный критерий на основе лингвистических переменных, значениями которых являются обычные нечеткие множества, позволяет определить степень уверенности экспертов в принадлежности показателя к тому или иному уровню в виде точечного значения. Отличительной особенностью обобщенного критерия на основе интервальных нечетких множеств второго типа состоит в том, что степень уверенности экспертов в принадлежности такого же показателя к аналогичному уровню определяется в виде интервального значения.

Проводить сравнительный анализ между построенными обобщенными критериями и пытаться определить, какой лучше использовать в конкретной задаче, это, примерно, то же самое, что пытаться сравнить точечные и интервальные оценки неизвестных параметров распределений в математической статистике. В некоторых задачах определе-

ние точечного значения связано со значительными рисками ошибок, поэтому определяют интервальные значения, в других задачах вполне достаточно определения точечного значения. Выбор вида обобщенного критерия всегда направлен на выбор адекватной модели происходящих реальных процессов с минимальными рисками и ошибками.

Заключение

В настоящей работе для формализации экспертной информации, полученной при оценивании качественных показателей систем различных сфер деятельности человека, выбраны лингвистические переменные. Выбор этот не является случайным, поскольку необходимо не только получить информацию от экспертов, но и обработать ее, сохранив по максимуму уникальный индивидуальный опыт и знания. Изучение свойств лингвистических переменных и накопленный опыт их использования в прикладных задачах показали, что они, во-первых, адекватно моделируют мыслительную деятельность экспертов. А, во-вторых, восполняют некоторые пробелы в методах теории экспертного оценивания, которые 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. В статье для анализа системы экспертных критериев определяются показатели парного сходства и согласованности, а также показатели общей согласованности. Определенные показатели позволяют проанализировать качество полученной информации и при необходимости удалить ошибочную. Разработаны модели построения обобщенного экспертного критерия на основе лингвистических переменных, значениями которых являются обычные нечеткие множества и интервальные нечеткие множества второго типа. Обобщенный критерий на основе обычных нечетких множеств является своего рода усредненным критерием всех индивидуальных критериев экспертов. Обобщенный критерий на основе интервальных нечетких множеств второго типа определяется впервые и позволяет получить не только ус-

редненное мнение, а дополнительно учесть разброс экспертных мнений и нечеткость самой степени уверенности экспертов в оценке того или иного показателя.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Экспертные системы. Принципы работы и примеры / редкол.: Р.Форсайта. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 224 с.
2. Нильсон, Н. Принципы искусственного интеллекта / Н. Нильсон. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
3. Ленат, Д. Построение экспертных систем / Д. Ленат, Ф. Хейс-Рот, Д. Уотерман. – М.: Мир, 1987. – 430 с.
4. Гаврилова, Т.А. Извлечение и структуризация знаний для экспертных систем / Т.А. Гаврилова, К.Р. Червинская. – М.: Радио и связь, 1992. – 200 с.
5. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – Изд. 2-е. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
6. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
7. Полещук, О.М. Математическая модель обработки экспертных оценок // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2005. – № 6 (42). – С. 161–164.
8. 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.
9. Надежность технических систем и техногенный риск / В. А. Акимов [и др.]. – М.: Деловой экспресс, 2002. – 386 с.
10. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
11. Полещук, О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2002. – № 5 (25). – С. 198 – 216.
12. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 p.
13. Сваровский, С.Г. Аппроксимация функций принадлежности значений лингвистической переменной. – В кн.: Математические вопросы анализа данных. – Новосибирск.: НЭТИ, 1980. – С. 127 – 131.
14. Борисов, А.Н. Аксиоматический подход к восстановлению функций принадлежности термов лингвистической переменной / А.Н. Борисов, С.А. Фомин – В кн.: Модели выбора альтернатив в нечеткой среде. – Рига.: РПИ, 1980. – С. 77 – 79.
15. Скофенко, А.В. О построении функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих количественным экспертным оценкам // Наукоедение и информатика. – Киев.: Наукова думка, 1981. – Вып. 22. – С. 70 –79.
16. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems.– 2014.– Vol. 26. – P. 1089–1094.
17. Полещук, О.М. О развитии систем обработки нечеткой информации на базе полных ортогональных семантических пространств // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2003. – № 1 (26). – С. 112–117.
18. Гофман, О.Г. Экспертное оценивание. – Воронеж.: ВГУ, 1991. – 152 с.
19. Кендэл, М. Ранговые корреляции. – М.: Статистика, 1975. – 214 с.
20. Винников, Б.Г. Оценка согласованности экспертных суждений при подготовке информации для расчета учебного плана по специальности: Методы и средства кибернетики в управлении учебным процессом высшей школы / Б.Г. Винников, А.О. Гохман. – Рига, 1987. – С. 55 – 61.
21. Миркин, Б.Г. Группировки в социально-экономических исследованиях: Методы построения и анализа. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 222 с.
22. Arrow K.J. Social Choice and Individual Values. – New Haven-London.: Yale univ. press, 1972. – 124 p.
23. Миленский, А.В. Классификация сигналов в условиях неопределенности. – М.: Сов. Радио, 1975. – 328 с.
24. Кемени, Дж. Кибернетическое моделирование / Дж. Кемени, Дж. Снелл. – М.: Сов. радио, 1972. – 192 с.
25. Лезина, З.М. Процессы коллективного выбора // Автоматика и телемеханика. – 1987. – № 8. – С. 3–35.
26. Hwang C.L., Lin N.J. Group decision making under multiple criteria. – Berlin.: Springer, 1987. – 400 p.
27. O. Poleshchuk, E.Komarov A fuzzy nonlinear regression model for interval type-2 fuzzy sets // International Journal of Electrical, Electronics, Communication, Energy Science and Engineering. – 2014. – Vol. 8. – № 6. – Pp. 765– 769.

SYSTEMS ANALYSIS AND PROCESSING OF EXPERT GROUP INFORMATION ON THE BASIS OF LINGUISTIC VARIABLES

Poleshchuk O.M., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)

olga.m.pol@yandex.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

Information obtained from a group of experts was analyzed on the basis of linguistic variables. This choice is not random, as linguistic variables are well established in fuzzy information processing tasks, and the study of the properties of linguistic variables has given every reason to believe that they adequately simulate the experts' mental activity and can be successfully used to formalize the expert knowledge and experience. In order to control the quality of expert information from different sources, the pairwise consistency indexes and the general consistency index are defined. A model representation of expert group information in the form of linguistic variable is developed in this paper. The values of linguistic variable are described

by type-1 fuzzy sets. However, it is worth noting that the resulting generalized criterion is a kind of average opinion of different experts. This should be attributed more to the downside than an advantage, because I would like to receive not only the average opinion but take into account the variation of expert opinions and fuzziness degree of expert confidence in the evaluation of an indicator. For this purpose, a model representation of expert group information in the form of linguistic variable is developed in this paper. The values of linguistic variable are described by interval type-2 fuzzy sets (the values of their membership functions are the intervals, while the values of type-1 fuzzy sets membership functions are numbers), which allows to take into account the variation of expert opinions and get not only some average opinion.

Keywords: expert group information, linguistic variable, membership function

References

1. *Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery* [Expert systems. Principles and examples]. Moscow: Radio i svyaz, 1987. 224 p.
2. N. Nilson *Printsipy iskusstvennogo intellekta* [Principles of artificial intelligence]. Moscow: Radio i svyaz, 1985. 376 p.
3. D. Lenat, F. Kheys-Rot, D. Uoterman *Postroenie ekspertnykh sistem* [Construction of expert systems]. Moscow: Mir, 1987. 430 p.
4. Gavrilova T.A., Chervinskaya K.R. *Izvlechenie i strukturizatsiya znaniy dlya ekspertnykh sistem* [Extracting and structuring knowledge for expert systems]. Moscow: Radio i svyaz, 1992. 200 p.
5. Beshelev S.D., Gurvich F. G. *Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok* [Mathematical and statistical methods of expert assessments]. Moscow: Statistika, 1980. 263 p.
6. Litvak B.G. *Ekspertnye otsenki i prinyatie resheniy* [Expert evaluation and decision-making]. Moscow: Patent, 1996. 271 p.
7. Poleshchuk O.M. *Matematicheskaya model obrabotki ekspertnykh otsenok* [Mathematical model of processing expert assessments]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2005. № 6 (42). pp. 161–164.
8. Domrachev V.G., Komarov E.G., Poleshchuk O.M. *Monitoring funktsionirovaniya ob»ektov na osnove nechetkogo opisaniya ikh sostoyaniy* [Monitor the functioning of objects based on fuzzy description of their states]. Informatsionnye tekhnologii [Performance monitoring objects based on fuzzy descriptions of their states]. 2007. № 11. pp. 46–52.
9. Akimov V. A., Lapin V.L. i dr. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyy risk* [Reliability of technical systems and technological hazards]. Moscow: Delovoy ekspres, 2002. 386 p.
10. Zadeh L.A. *Ponjatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinjatiyu priblizitel'nyh reshenij* [Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions]. Moscow: Mir, 1976. 165 p.
11. 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 – Lesnoy vestnik. 2002. № 5 (25). pp. 198–216.
12. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov *Expert Fuzzy Information Processing*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 237 p.
13. Svarovskiy S.G. *Approksimatsiya funktsiy prinadlezhnosti znacheniy lingvisticheskoy peremennoy* [Approximation of membership functions of linguistic variables]. Matematicheskie voprosy analiza dannykh. Novosibirsk.: NETI, 1980. pp. 127–131.
14. Borisov A.N., Fomin S.A. *Aksiomaticheskii podkhod k vosstanovleniyu funktsiy prinadlezhnosti termov lingvisticheskoy peremennoy* [The axiomatic approach to the restoration of the terms of membership functions of the linguistic variable]. Modeli vybora al'ternativ v nechetkoy srede. Riga.: RPI, 1980. pp. 77–79.
15. Skofenko A.V. *O postroenii funktsiy prinadlezhnosti nechetkikh mnozhestv, sootvetstvuyushchikh kolichestvennym ekspertnym otsenkam* [On the construction of membership functions of fuzzy sets corresponding quantitative expert estimates]. Naukovedenie i informatika. Kiev: Naukova dumka, 1981. V. 22. pp. 70–79.
16. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk *New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces*. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2014. Vol. 26. pp. 1089–1094.
17. Poleshchuk O.M. *O razvitiy sistem obrabotki nechetkoj 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 – Lesnoy vestnik. 2003. № 1 (26). pp. 112–117.
18. Gofman O.G. *Ekspertnoe otsenivanie* [Expert evaluation]. Voronezh.: VGU, 1991. 152 p.
19. Kendel M. *Rangovye korrelyatsii* [Rank correlation]. Moscow: Statistika, 1975. 214 p.
20. Vinnikov B.G., Gokhman A.O., Gokhman O.G. *Otsenka soglasovannosti ekspertnykh suzheniy pri podgotovke informatsii dlya rascheta uchebnogo plana po spetsial'nosti* [Rating consistency of expert judgments in the preparation of information for the calculation of the curriculum in the specialty]: Metody i sredstva kibernetiki v upravlenii uchebnym protsessom vysshey shkoly. Riga, 1987. pp. 55–61.
21. Mirkin B.G. *Gruppirovki v sotsial'no – ekonomicheskikh issledovaniyakh: Metody postroeniya i analiza* [Groups in the socio – economic research: Methods for design and analysis]. Moscow: Finansy i statistika, 1985. 222 p.
22. Arrow K.J. *Social Choice and Individual Values*. New Haven-London.: Yale univ. press, 1972. 124 p.
23. Milen'kiy A.V. *Klassifikatsiya signalov v usloviyakh neopredelennosti* [Signal classification under uncertainty]. Moscow: Sov. Radio, 1975. 328 p.
24. Kemeni Dzh., Snell Dzh. *Kiberneticheskoe modelirovanie* [Cybernetic modeling]. Moscow: Sov. radio, 1972. 192 p.
25. Lezina Z.M. *Protsessy kollektivnogo vybora* [Processes of collective choice]. *Avtomatika i telemekhanika*. 1987. № 8. pp. 3–35.
26. Hwang C.L., Lin N.J. *Group decision making under multiple criteria*. Berlin.: Springer, 1987. 400 p.
27. O. Poleshchuk, E.Komarov *A fuzzy nonlinear regression model for interval type-2 fuzzy sets*. International Journal of Electrical, Electronics, Communication, Energy Science and Engineering. 2014. Vol. 8. № 6. pp. 765– 769.

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.М. ПОЛЕЩУК, проф. каф. высшей математики МГУЛ, д-р техн. наук,

Е.Г. КОМАРОВ, доц. каф. информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГУЛ, 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

Для изучения структурного состава экспертной информации в статье разработана модель нечеткого кластерного анализа, которая позволяет кластеризовать мнения (критерии) экспертов при разных уровнях доверия. Поскольку при обработке экспертной информации достаточно часто приходится иметь дело с лингвистическими описаниями исследуемых объектов, то необходимо не только не игнорировать возникающую при этом нечеткую составляющую, но и использовать методы, позволяющие ее учитывать. Чтобы проанализировать экспертную информацию, недостаточно сравнить данные, полученные от одного эксперта, с данными, полученными от другого эксперта. Необходимо проанализировать структурный состав системы всех экспертных данных и определить место каждого индивидуального экспертного мнения в этой системе. Недостаточно определить количественные показатели сходства экспертных данных, необходима трактовка этих показателей на качественном уровне. Возможность предложенного в статье гибкого подхода к кластеризации экспертных мнений играет существенную роль, поскольку дает возможность принятия решений в зависимости от требований к надежности полученной экспертной информации. На практическом примере в статье показано, что разработанная модель нечеткого кластерного анализа может с успехом применяться для анализа групповой экспертной информации.

Ключевые слова: кластерный анализ, групповая экспертная информация.

Сравнительный анализ информации, поступающей от разных экспертов, будет неполным, если проводится только парное сравнение экспертных мнений, но при этом не рассматривается система мнений и не изучается ее структурный состав. Имеется в виду рассмотрение информации, поступающей от разных экспертов, как единой системы и выявление подгрупп (кластеров) похожих (отличающихся) экспертных мнений (критериев). Решить эту задачу может кластерный анализ. Учитывая, что эксперты, высказывая мнение или оценивая показатели, используют слова профессионального языка, тем самым внося нечеткость в информацию, речь в работе пойдет об использовании нечеткого кластерного анализа.

В основе нечеткого кластерного анализа лежит понятие нечеткого отношения.

Нечетким n -м отношением R между множествами X_1, X_2, \dots, X_n называется нечеткое множество R такое, что $\forall(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \mu_R(x_1, x_2, \dots, x_n) \in [0, 1]$, $X_1 = \{x_1\}$, $X_2 = \{x_2\}$, ..., $X_n = \{x_n\}$ – обычные множества [1].

Нечетким бинарным отношением R на множестве X называется нечеткое множество R такое, что $\forall(x, y) \in X \times X \mu_R(x, y) \in [0, 1]$.

Согласно [2] нечетким множеством \tilde{A} называется множество пар вида

$$\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)): x \in X\},$$

где $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0, 1]$ – функции принадлежности \tilde{A} .

Нечетким бинарным отношением R между множествами X, Y называется нечеткое множество R такое, что $\forall(x, y) \in X \times Y \mu_R(x, y) \in [0, 1]$, $X = \{x\}$, $Y = \{y\}$ – обычные множества.

Если множества X, Y конечны $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, то нечеткое бинарное отношение R может быть задано с помощью его матрицы отношения R , строкам и столбцам которой ставятся в соответствие элементы множеств X, Y , а на пересечении i -ой строки и j -го столбца помещается элемент $\mu_R(x_i, y_j)$. Таким образом

$$R = \begin{pmatrix} \mu_R(x_1, y_1) & \mu_R(x_1, y_2) & \dots & \mu_R(x_1, y_m) \\ \mu_R(x_2, y_1) & \mu_R(x_2, y_2) & \dots & \mu_R(x_2, y_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_R(x_n, y_1) & \mu_R(x_n, y_2) & \dots & \mu_R(x_n, y_m) \end{pmatrix}.$$

Нечеткие отношения играют фундаментальную роль в задачах, решения которых опираются на методы теории нечетких множеств, и в задачах, решения которых традиционно опираются на классическую теорию множеств и на теорию обычных (четких) отношений [3–6]. Как правило, аппарат теории четких отношений используется при качественном анализе взаимосвязей между объектами исследуемой системы, когда взаимосвязи

носят дихотомический характер и, исходя из этого, могут быть интерпретированы в терминах «связь отсутствует», «связь присутствует». Либо когда методы количественного анализа взаимосвязей по каким-либо причинам неприменимы, и взаимосвязи искусственно приводятся к дихотомическому виду [1]. Например, когда величина связи между объектами принимает значения из ранговой шкалы, выбор порога на силу связи позволяет преобразовать связь к требуемому виду. Однако подобный подход, позволяя проводить качественный анализ систем, приводит к потере информации о силе связей между объектами, либо требует проведения вычислений при разных порогах на силу этих связей. Этому недостатка лишены методы анализа данных, основанные на теории нечетких отношений [1], которые позволяют проводить качественный анализ систем с учетом различия в силе связей между объектами системы.

Нечеткое бинарное отношение R_1 принадлежит нечеткому бинарному отношению R_2 , если для $\forall x \in X, \forall y \in Y$

$$\mu_{R_1}(x, y) \leq \mu_{R_2}(x, y).$$

Нечеткое бинарное отношение R называется рефлексивным, если $\mu_R(x, x) = 1, \forall x \in X$.

Нечеткое бинарное отношение R называется симметричным, если $\mu_R(x, y) = \mu_R(y, x), \forall x, y \in X$.

Нечетким бинарным отношением сходства называется рефлексивное симметричное нечеткое бинарное отношение.

Нечеткое бинарное отношение R называется транзитивным, если $\mu_R(x, z) \geq \mu_R(x, y) \wedge \mu_R(y, z) \forall x, y, z \in X$.

Нечетким бинарным отношением подобия называется транзитивное нечеткое бинарное отношение сходства.

В реальных условиях требование транзитивности чаще всего бывает трудно выполнимым. Если пользоваться экспертным опросом при построении отношения подобия, то необходимо требовать от экспертов транзитивных ответов. Однако многочисленные практические результаты [1] говорят о том, что реальные результаты экспертных опросов чаще всего не транзитивны. Тем не менее, в приложениях нечетких отношений

большое значение играют именно транзитивные отношения. Транзитивные отношения обладают многими удобными свойствами и определяют некоторую правильную структуру множества, на котором они заданы. Например, если отношение R на множестве X характеризует сходство между объектами, то транзитивность такого отношения (отношения подобия) обеспечивает возможность разбиения множества X на пересекающиеся классы (кластеры) подобия.

Одно из важных свойств нечетких бинарных отношений состоит в том, что они могут быть представлены в виде совокупности обычных бинарных отношений, упорядоченных по включению и представляющих собой иерархическую совокупность отношений [1]. Разложение нечетких бинарных отношений на совокупность обычных бинарных отношений основано на понятии α -уровня нечеткого бинарного отношения.

Обычным (четким) бинарным отношением R между множествами X, Y называется подмножество декартового произведения $X \times Y$

$$R \subseteq X \times Y.$$

α -уровнем нечеткого бинарного отношения R называется обычное отношение R_α , определяемое для всех α следующим образом:

$$R_\alpha = \{(x, y) \in X \times Y \mid \mu_R(x, y) \geq \alpha\}.$$

Согласно теореме о декомпозиции [1], нечеткое бинарное отношение R можно представить в виде

$$R = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha R_\alpha$$

или

$$\mu_R(x) = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} (\alpha \mu_{R_\alpha}(x)),$$

где

$$\mu_{R_\alpha}(x) = \begin{cases} 1, & \mu_R(x) \geq \alpha \\ 0, & \mu_R(x) < \alpha \end{cases}$$

Пусть R – отношение подобия. Тогда [1] $R = \max_{\alpha} \alpha \times R_\alpha$, где R_α – отношение эквивалентности в смысле обычной теории множеств.

Таким образом, для решения задач нечеткого кластерного анализа большой интерес представляет возможность преобразования исходного нетранзитивного отношения

в транзитивное отношение. Такое преобразование обеспечивает операция транзитивного замыкания, которая впервые была рассмотрена в [5, 6].

Транзитивным замыканием нечеткого бинарного отношения называется отношение

$$\hat{R} = R \cup R^2 \cup R^3 \cup R^k \cup \dots$$

где отношение R^k определяется рекурсивно

$$R^2 = R \circ R, R^k = R \circ R^{k-1}, k = 3, 4, \dots$$

В [1] доказано, что транзитивное замыкание \hat{R} любого нечеткого отношения R транзитивно и является наименьшим транзитивным отношением, включающим R , то есть $R \subseteq \hat{R}$, и для любого транзитивного отношения T такого, что $R \subseteq T$ следует $\hat{R} \subseteq T$.

Применение нечетких отношений в кластерном анализе впервые обсуждалось в работах [7, 8]. В [5] вскоре после этих работ была предложена процедура кластеризации, основанная на транзитивном замыкании исходного отношения сходства, получаемого в результате опроса экспертов. В [4, 9] предложена процедура кластеризации на основе транзитивного замыкания нечеткого отношения сходства.

Нечеткая кластеризация экспертной информации

Будем предполагать, что информация, полученная от k экспертов, формализована по одному из методов [9–11] и соответственно построено k лингвистических переменных $X_i, i = \overline{1, k}$ с функциями принадлежности термножеств $\{\mu_{il}(x), l = \overline{1, m}\}, i = \overline{1, k}$ ($\mu_{il}(x) \equiv (a_1^{il}, a_2^{il}, a_L^{il}, a_R^{il}), [a_1^{il}, a_2^{il}]$ – интервал толерантности, концами которого являются абсциссы границ верхних оснований трапеций – графиков функций принадлежности, a_L^{il}, a_R^{il} – соответственно левый и правый параметры нечеткости или длины соответственно левого и правого крыльев трапеций).

Построенные лингвистические переменные будем называть критериями экспертов оценивания некоторого качественного показателя.

Рассмотрим критерии i -го и j -го экспертов с функциями принадлежности термножеств $\{\mu_{il}(x), l = \overline{1, m}\}, \{\mu_{jl}(x), l = \overline{1, m}\}, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}$.

Определим показатель сходства $\tilde{\kappa}_{ij}$ и показатель согласованности κ_{ij} этих критериев

$$\tilde{\kappa}_{ij} = 1 - d(X_i, X_j), i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k},$$

где

$$d(X_i, X_j) = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^m \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k},$$

$$\kappa_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\text{Площадь}(\mu_{il} \cap \mu_{jl})}{\text{Площадь}(\mu_{il} \cup \mu_{jl})}.$$

Тогда нечеткие множества R_1, R_2 с функциями принадлежности соответственно $\mu_{R_1}(X_i, X_j) = \tilde{\kappa}_{ij}, \mu_{R_2}(X_i, X_j) = \kappa_{ij}, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}, l = \overline{1, m}$ задают на множестве экспертных критериев нечеткие отношения сходства.

Докажем для R_1, R_2 свойства рефлексивности и свойства симметричности.

$$\begin{aligned} \mu_{R_1}(X_i, X_i) &= \tilde{\kappa}_{ii} = 1 - d(X_i, X_i) = \\ &= 1 - \frac{1}{2} \sum_{l=1}^m \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{il}(x)| dx = 1, \end{aligned}$$

$$\mu_{R_2}(X_i, X_i) = \kappa_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\text{Площадь}(\mu_{il} \cap \mu_{il})}{\text{Площадь}(\mu_{il} \cup \mu_{il})} = 1.$$

Таким образом, R_1, R_2 рефлексивны. Докажем их симметричность.

$$\begin{aligned} \mu_{R_1}(X_i, X_j) &= 1 - d(X_i, X_j) = 1 - \frac{1}{2} \sum_{l=1}^m \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx = \\ &= 1 - \frac{1}{2} \sum_{l=1}^m \int_0^1 |\mu_{jl}(x) - \mu_{il}(x)| dx = 1 - d(X_j, X_i) = \mu_{R_1}(X_j, X_i) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{R_2}(X_i, X_j) &= \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\text{Площадь}(\mu_{il} \cap \mu_{jl})}{\text{Площадь}(\mu_{il} \cup \mu_{jl})} = \\ &= \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\text{Площадь}(\mu_{jl} \cap \mu_{il})}{\text{Площадь}(\mu_{jl} \cup \mu_{il})} = \mu_{R_2}(X_j, X_i). \end{aligned}$$

Таким образом, R_1, R_2 симметричны.

Будем называть экспертные критерии $X_1, X_2, \dots, X_q, q \leq k$ подобными (относительно отношения подобия R_1, R_2) с уровнем доверия $\alpha \in (0, 1)$, если для всех $X_i, X_j, i = \overline{1, q}, j = \overline{1, q}$ выполняется соотношение $\mu_{\hat{R}}(X_i, X_j) \geq \alpha$.

Составим для отношений R_1, R_2 матрицы отношений сходства

$$R_p = \begin{pmatrix} 1 & \mu_{R_p}(X_1, X_2) & \dots & \mu_{R_p}(X_1, X_N) \\ \mu_{R_p}(X_1, X_2) & 1 & \dots & \mu_{R_p}(X_2, X_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{R_p}(X_1, X_N) & \mu_{R_p}(X_2, X_N) & \dots & 1 \end{pmatrix}, p = \overline{1, 2}.$$

Очевидно, что в общем случае построенные отношения сходства не являются

транзитивными, поэтому построим их транзитивные замыкания. Пусть $\hat{R}_p, p = \overline{1,2}$ – транзитивные замыкания отношений сходства $R_p, p = \overline{1,2}$ с матрицами

$$\hat{R}_p = \begin{pmatrix} 1 & \mu_{\hat{R}_p}(X_1, X_2) & \dots & \mu_{\hat{R}_p}(X_1, X_N) \\ \mu_{\hat{R}_p}(X_1, X_2) & 1 & \dots & \mu_{\hat{R}_p}(X_2, X_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{\hat{R}_p}(X_1, X_N) & \mu_{\hat{R}_p}(X_2, X_N) & \dots & 1 \end{pmatrix}, p = \overline{1,2}$$

После транзитивного замыкания нечеткие отношения $\hat{R}_p, p = \overline{1,2}$ становятся нечеткими отношениями подобия и матрицы отношений подобия $\hat{R}_p, p = \overline{1,2}$ можно декомпозировать на отношения эквивалентности

$$\hat{R}_p = \max_{\alpha} \left\{ \alpha \begin{pmatrix} 1 & \delta_{12} & \dots & \delta_{1k} \\ \delta_{12} & 1 & \dots & \delta_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{1k} & \delta_{2k} & \dots & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

где

$$\delta_{ik} = \begin{cases} 0 & i = \overline{1,k}, k = \overline{1,k} \\ 1 & \text{иначе} \end{cases}$$

Таким образом, в зависимости от α -уровня множество экспертных критериев может быть разбито на классы (кластеры) подобных с уровнем доверия α .

Пример

Рассмотрим результаты оценивания пятью экспертами глубины научной проработки проектов в рамках лингвистической шкалы «тривиальная», «недостаточная», «средняя», «высокая», которые представлены в табл. 1.

Будем предполагать, что значения глубины научной проработки проектов меняются от нуля до единицы. Ноль соответствует полному отсутствию проработки, единица соответствует максимальной научной проработке. На основании метода [9] и данных табл. 1 были получены функции принадлежности индивидуальных критериев экспертов – $\mu_{il}, i = \overline{1,5}, l = \overline{1,4}$

$$\begin{aligned} \mu_{11} &= (0, 0.063, 0, 0.126), \\ \mu_{12} &= (0.189, 0.285, 0.126, 0.318), \\ \mu_{13} &= (0.063, 0.7465, 0.318, 0.169), \\ \mu_{14} &= (0.9155, 1, 0.169, 0), \\ \mu_{21} &= (0, 0.048, 0, 0.096), \\ \mu_{22} &= (0.144, 0.365, 0.096, 0.306), \\ \mu_{23} &= (0.671, 0.736, 0.306, 0.176), \\ \mu_{24} &= (0.912, 1, 0.176, 0), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{31} &= (0, 0.0765, 0, 0.153), \\ \mu_{32} &= (0.2295, 0.315, 0.153, 0.324), \\ \mu_{33} &= (0.639, 0.7375, 0.324, 0.175), \\ \mu_{34} &= (0.9125, 1, 0.175, 0), \\ \mu_{41} &= (0, 0.0685, 0, 0.137), \\ \mu_{42} &= (0.2055, 0.3075, 0.137, 0.341), \\ \mu_{43} &= (0.6485, 0.748, 0.341, 0.168), \\ \mu_{44} &= (0.916, 1, 0.168, 0), \\ \mu_{51} &= (0, 0.086, 0, 0.172), \\ \mu_{52} &= (0.258, 0.3355, 0.172, 0.327), \\ \mu_{53} &= (0.6625, 0.7725, 0.327, 0.151), \\ \mu_{54} &= (0.9245, 1, 0.151, 0). \end{aligned}$$

Функции принадлежности задаются четырьмя параметрами. Первые два параметра – абсциссы соответственно левой и правой вершин верхнего основания трапеции, которая является графиком функции. Третий и четвертый параметры – длины соответственно левого и правого крыльев трапеции. Опираясь на формализованные критерии экспертов, представленные выше соответствующими функциями принадлежности, вычислим показатели парного сходства $\tilde{\kappa}_{ij}$ и парной согласованности κ_{ij} критериев экспертов. Результаты вычислений занесены в табл. 2 и 3.

Анализ табл. 2 и 3 позволяет сделать вывод, что показатели парной согласованности меньше или равны соответствующим показателям парного сходства. Чтобы понять причину такого результата, нужно отметить, что показатель сходства определяет степень похожести двух экспертных критериев в рамках термов с наибольшими носителями (множествами, на которых соответствующие функции принадлежности отличны от нуля), а показатель согласованности определяет степень похожести двух экспертных критериев равномерно в рамках всех термов, независимо от величины их носителей.

Матрицы нечетких отношений R_1, R_2 , которые определяются соответственно элементами табл. 2 и 3, не являются транзитивными, поэтому найдем их транзитивные замыкания \hat{R}_1 и \hat{R}_2

$$\hat{R}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0.912 & 0.954 & 0.954 & 0.938 \\ 0.912 & 1 & 0.912 & 0.912 & 0.912 \\ 0.954 & 0.912 & 1 & 0.971 & 0.938 \\ 0.954 & 0.912 & 0.971 & 1 & 0.938 \\ 0.938 & 0.912 & 0.938 & 0.938 & 1 \end{pmatrix}$$

Т а б л и ц а 1

Результаты оценивания экспертами глубины научной проработки проектов
Results of the evaluation by Experts depth scientific study projects

№ экз.	тривиальная	недостаточная	средняя	высокая
1	24	55	45	18
2	25	44	60	13
3	25	50	46	21
4	24	50	49	19
5	21	50	46	25

Т а б л и ц а 2

Элементы матрицы парного сходства $\tilde{\kappa}_{ij}$ критериев экспертов
Elements of the matrix pair similarity $\tilde{\kappa}_{ij}$ criteria Experts

1	0.890	0.935	0.954	0.882
0.890	1	0.901	0.912	0.882
0.935	0.901	1	0.971	0.938
0.954	0.912	0.971	1	0.926
0.882	0.882	0.938	0.926	1

Т а б л и ц а 3

Элементы матрицы парной согласованности κ_{ij} критериев экспертов
Elements of the matrix pair consistency κ_{ij} criteria Experts

1	0.819	0.875	0.923	0.792
0.819	1	0.812	0.834	0.768
0.875	0.812	1	0.938	0.884
0.923	0.834	0.938	1	0.858
0.792	0.768	0.884	0.858	1

$$\hat{R}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0.834 & 0.923 & 0.923 & 0.884 \\ 0.834 & 1 & 0.834 & 0.834 & 0.834 \\ 0.923 & 0.834 & 1 & 0.938 & 0.884 \\ 0.923 & 0.834 & 0.938 & 1 & 0.884 \\ 0.884 & 0.834 & 0.884 & 0.884 & 1 \end{pmatrix}$$

доверия. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Декомпозируем \hat{R}_2 на отношения эквивалентности

Декомпозируем \hat{R}_1 на отношения эквивалентности

$$\hat{R}_2 = \max_{\alpha} \left\{ 0.834 \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; \right.$$

$$\hat{R}_1 = \max_{\alpha} \left\{ 0.912 \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; \right.$$

$$0.884 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; 0.923 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$0.938 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; 0.954 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$0.938 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; 1 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \left. \right\}.$$

$$0.971 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; 1 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \left. \right\}.$$

Множество критериев экспертов разбито на кластеры подобных (по отношению \hat{R}_2) между собой критериев при разных уровнях доверия. Полученные результаты представлены в табл. 5.

Множество критериев экспертов разбито на кластеры подобных (по отношению \hat{R}_1) между собой критериев при разных уровнях

Кластеры подобных (по отношению \hat{R}_1) критериев экспертов при разных уровнях доверия
Clusters of these (relative \hat{R}_1) criteria expert at different levels of trust

Уровень доверия	Кластеры
0.912	{1,2,3,4,5}
0.938	{1,3,4,5}, {2}
0.954	{1,3,4}, {2}, {5}
0.971	{3,4}, {1}, {2}, {5}
1	{1}, {2}, {3}, {4}, {5}

Кластеры подобных (по отношению \hat{R}_2) критериев экспертов при разных уровнях доверия
Clusters of these (relative \hat{R}_2) criteria expert at different levels of trust

Уровень доверия	Кластеры
0.834	{1,2,3,4,5}
0.884	{1,3,4,5}, {2}
0.923	{1,3,4}, {2}, {5}
0.938	{3,4}, {1}, {2}, {5}
1	{1}, {2}, {3}, {4}, {5}

Таким образом, при достаточно большом уровне доверия к проведенным исследованиям структурный состав системы экспертных критериев можно считать однородным, а сами экспертные критерии подобными. Если необходимо сформировать комиссию из четырех экспертов, то в нее предлагается включить экспертов № 1, 3, 4, 5. Если необходимо сформировать комиссию из трех или из двух экспертов, то в нее предлагается включить соответственно экспертов № 1, 3, 4 или № 3, 4.

Заключение

Информация, поступающая от разных экспертов, может различаться. Чтобы ее проанализировать, недостаточно сравнить данные, полученные от одного эксперта, с данными, полученными от другого эксперта. Необходимо проанализировать структурный состав системы всех экспертных данных и определить место каждого индивидуального экспертного мнения в этой системе. Недостаточно определить количественные показатели сходства экспертных данных, необходима трактовка этих показателей на качественном уровне. Поскольку при обработ-

ке экспертной информации достаточно часто приходится иметь дело с лингвистическими описаниями исследуемых объектов, то необходимо не только не игнорировать возникающую при этом нечеткую составляющую, но и использовать методы, позволяющие ее учитывать.

В работе для изучения структурного состава экспертной информации разработана модель нечеткого кластерного анализа, которая позволяет разбить мнения (критерии) экспертов на кластеры подобных при разных уровнях доверия. Возможность гибкого подхода к кластеризации экспертных критериев играет существенную роль, поскольку дает возможность принятия решений в зависимости от требований к надежности этих критериев.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 p.

2. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
3. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
4. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems.– 2014.– Vol. 26. – P. 1089–1094.
5. Tamura S., Higuchi S., Tanaka K. Pattern classification based on fuzzy relations // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1971. – Vol. SMC-1. – P. 61-66.
6. Zadeh L.A. Similarity relations and fuzzy orderings // Information Sciences. -1971. – Vol. 3. – P. 177-200.
7. Ruspini E.H. A new approach to clustering // Information and Control. – 1969. – Vol. 15. – P. 22-32.
8. Ruspini E.H. Numerical methods for fuzzy clustering // Information Sciences. -1970. – Vol. 2. – P. 319-350.
9. Полещук, О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2002. – № 5 (25). – С. 198–216.
10. Poleshchuk O. The determination of students' fuzzy rating points and qualification levels // International Journal of Industrial and Systems Engineering. – 2011. -Vol. 9, № 1.– P. 3-20.
11. Полещук, О.М. Построение групповой экспертной оценки качественных показателей сложных технических систем / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. –2012. – № 6 (89). – С. 37–40.

CLUSTER ANALYSIS OF THE GROUP EXPERT INFORMATION

Poleshchuk O.M., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Komarov E.G.**, Assoc. Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)

olga.m.pol@yandex.ru, komarov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

A model of fuzzy clustering analysis has been developed for the study of the structural composition of the expert information. The model allows to cluster the expert information at different levels of confidence. Since the expert information processing often has to deal with linguistic descriptions of the objects, it is necessary not to ignore the arising fuzzy component, but to use methods that allow it to be considered. To analyze the expert information it is insufficient to compare the data obtained from one expert, with the data obtained from another expert. It is necessary to analyze the structural composition of all the expert data and determine the location of each individual expertise in this system. It is insufficient to quantify the similarity of expert data, an interpretation of these indicators on a qualitative level is required. The possibility of a proposed flexible approach to the clustering of expert opinions is essential, because it allows decision-making according to the requirements of reliability. The numerical example has demonstrated that the developed model of fuzzy clustering analysis can be used for analysis of expert group information successfully.

Keywords: clustering analysis, expert group information

References

1. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 237 p.
2. 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.
3. Litvak B.G. *Ekspertnye otsenki i prinyatie reshenij* [Expert evaluation and decision-making]. Moscow: Patent, 1996. 271 p.
4. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2014. Vol. 26. pp. 1089–1094.
5. Tamura S., Higuchi S., Tanaka K. Pattern classification based on fuzzy relations. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1971. Vol. SMC-1. pp. 61-66.
6. Zadeh L.A. Similarity relations and fuzzy orderings. Information Sciences. 1971. Vol. 3. pp. 177-200.
7. Ruspini E.H. A new approach to clustering. Information and Control. 1969. Vol. 15. pp. 22-32.
8. Ruspini E.H. Numerical methods for fuzzy clustering. Information Sciences. 1970. Vol. 2. pp. 319-350.
9. Poleshchuk O.M. *O razvitií sistem obrabotki nechetkoj informacii na baze polnyh ortogonal'nyh semanticheskikh prostranstv* [On the development of fuzzy information processing systems on the basis of complete orthogonal semantic spaces]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2003. № 1 (26). pp. 112–117.
10. 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.
11. Poleshchuk O.M. *Postroenie gruppovoj jekspertnoj ocenki kachestvennyh pokazatelej slozhnyh tehnicheskikh sistem* [Creation of a group expert assessment of quality indicators of complex technical systems]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2012. № 6 (89). pp. 37-40.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМАНДНОЙ РАДИОЛИНИИ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В.Д. БУРКОВ, проф. каф. информационно-измерительных систем и технологий приборостроения МГУЛ, д-р техн. наук,

Д.И. ГИНКУЛ, асп. каф. информационно-измерительных систем и технологий приборостроения МГУЛ

burkov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Командно-измерительная система является одной из важнейших систем космического аппарата. С ее помощью осуществляется контроль за функционированием и управление космическим аппаратом из центра управления полетами, а также осуществляется измерение его текущих навигационных параметров через обработку сигналов командной радиолнии. Поэтому важнейшим этапом при разработке командно-измерительной системы является разработка и моделирование работы командной радиолнии. В данной статье рассматриваются принципы моделирования процессов проектирования и работы командной радиолнии командно-измерительной системы. Представлены основные методы моделирования. В статье изложена суть проблемы имитационного моделирования командной радиолнии командно-измерительной системы. Проанализировав исследованные методы, были выбраны механизм имитационного моделирования, который позволяет осуществить решение задачи разработки математической модели командной радиолнии командно-измерительной системы. Наиболее эффективным средством имитационного моделирования является онтологический подход. Его реализация существенно усложняет исходную архитектуру моделирующего и проектирующего программного комплекса, но и позволяет получить ряд существенных преимуществ (например, интегрировать отдельные области знаний в рамках единой модели и организовать совместный просчет). Описание логики взаимодействия фрагментов знаний внутри онтологии осуществляется при помощи дескриптивной логики. В системе при просчете модели фактически должны быть реализованы следующие события: генерация внешнего и информационного сигнала по таймеру, просчет всей модели, просчет командной радиолнии командно-измерительной системы, смена режима подсистемы или всего объекта моделирования, выполнение отдельного логического утверждения, что позволит перейти от дескриптивной логики к объектно-ориентированному программированию. Решение поставленной задачи представлено механизмом имитационного моделирования, который позволяет осуществить решение задачи разработки математической модели командной радиолнии командно-измерительной системы. Таким образом, при построении математической модели командной радиолнии нужно руководствоваться синтаксисом дескриптивной логики, т.к. это позволит без затруднений перейти к построению модели командной радиолнии командно-измерительной системы в логике модельно-ориентированного проектирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, онтологический подход, дескриптивная логика, командная радиолния, командно-измерительная система, процессы проектирования, методология, оптимизационное проектирование, системная инженерия.

Командно-измерительная система (КИС) является одной из важнейших систем космического аппарата. С ее помощью осуществляется контроль за функционированием и управлением космическим аппаратом из центра управления полетами (ЦУП), а также осуществляется измерение его текущих навигационных параметров через обработку сигналов командной радиолнии. Поэтому важнейшим этапом при разработке КИС является разработка и моделирование работы командной радиолнии.

Задачами моделирования процессов проектирования и работы командной радиолнии КИС являются:

1) визуализация процесса работы командной радиолнии КИС и расчет ее характеристик;

2) решение задачи оптимизации технических решений в условиях жестких ограничений и неопределенностей;

3) накопление отраслевой базы знаний о процессе проектирования и функционирования командной радиолнии КИС;

4) автоматизация процесса принятия решений при определении исходной конфигурации командной радиолнии КИС исходя из примерных тактико-технических характеристик (ТТХ) [1].

Подбор приемлемых (с позиции качества и цены) технических решений, обладающих фиксированным набором ТТХ, не всегда осуществим на базе макетов и имитаторов. Особенно тогда, когда осуществляется проектирование нового оборудования для КА, обладающего конкурентными преимуществами

по сравнению с аналогами. Сложность проектирования возрастает, когда требуется минимизировать риски, связанные со следующими категориями неопределенностей:

- недостаточно точная постановка задачи (слабая и недостаточная формализация);
- наличие допусков и граничных значений на допустимые режимы работы различных элементов оборудования;
- наличие шумов и помех (потенциальная подверженность возмущениям внешней среды);
- распределенное выполнение работы по производству оборудования, предполагающее ответственные работы по согласованию и интеграции подсистем в рамках заданных ограничений [2].

Комплексный учет этих неопределенностей достигается за счет применения методологии *системной инженерии*. В частности, для задачи автоматизированной сборки «чернового» проекта рационально осуществить комбинацию методов: онтологического описания, интервальной математики и имитационного моделирования. Рассмотрим задачу разработки инструментария для оптимизационного проектирования командной радиолинии с применением приведенных выше методик. [3]

Механизм *имитационного моделирования* позволяет осуществить решение следующих затруднений:

- проанализировать «узкие» места в конструкции системы и оценить нагрузку каждого элемента;
- проанализировать работу конкретной реализации проекта при различных нагрузках (включая запроектные);
- внести и учитывать в рамках модели возмущения и шумы от надсистемы.

Различные средства имитационного моделирования (в первую очередь метод систем массового обслуживания [4]), позволяют подойти к задаче принятия эффективных решений как по составу элементов проектируемого технического средства, так и их архитектуре.

Методы обработки двусторонних оценок (*интервальная математика*) позволяет осуществить такие классы затруднений, как:

- оценка возможности интеграции конкретных технических элементов системы;
- поиск устойчивых и нормативных режимов работы оборудования;
- решение обратной постановки задачи проектирования командной радиолинии. [5]

В случае получения аналитических фрагментов описания модели можно не ограничиваться интервальной арифметикой [6], а подойти к решению задачи оптимизации через применение *гистограммной арифметики*, более гибко рассматривающей возможности обработки интервальных величин в многофакторном пространстве ТТХ проектируемой командной радиолинии командно-измерительной системы.

Наиболее эффективным средством имитационного моделирования является онтологический подход.

Онтологический подход (в техническом смысле этого слова) к проектированию стандартизированного оборудования [7]. Его реализация существенно усложняет исходную архитектуру моделирующего и проектирующего программного комплекса, но и позволяет получить ряд существенных преимуществ (например, интегрировать отдельные области знаний в рамках единой модели и организовать совместный просчет).

Следует добавить, что лишь комплексный охват всех типов неопределенностей может свести к минимуму затраты ресурсов на начальном этапе проектирования (разработка так называемого «пилотного проекта») только за счет перехода к автоматизации процессов обработки ограничения и рисков.

При реализации подобных моделей необходимо произвести интеграцию двух классов информации: *эвристической* и *эмпирической* (теоретическая информация вкладывается в модель по умолчанию). К первым относятся лингвистические переменные, продукционные и решающие правила. Ко вторым отнесем расчетные показатели, позволяющие оценивать результат работы модели: это частотно-временные характеристики имитации командной радиолинии моделью и интервальные показатели. Первые получают в результате формализации знаний для

работы [6], а вторые – при проведении имитационных экспериментов [8].

Эвристическая информация описывает структуру знаний на языке дескриптивной логики. За реализацию активных элементов (действий, событий, просчетов) отвечают коллекции аксиом. Они могут быть выражены в виде совокупности решающих правил, продукционных правил, ссылок на внешние управляющие программы (модули, функции, dll-библиотеки и пр.), сетевых структур (графов, матриц смежности и пр.). При этом любой показатель в модели потенциально может иметь качественную природу, т.е. описываться в виде лингвистической переменной. В этом случае принято применять теорию нечетких множеств Л.Заде [9] и оперировать нечеткими (*fuzzy*) переменными.

Эмпирическая информация, определяемая контекстом оптимизации и результатами моделирования, также предполагает элементы неопределенности. Это частотно-временная неопределенность (*time-and-frequency uncertainty*), стохастичность (*randomness*) и интервальность (*interval*). Первые два вида неопределенности рационально учитывать штатными средствами механизмами имитационного моделирования, управляя распределениями случайных величин [10]. Так, представляя работу аппаратуры в виде набора систем массового обслуживания [11], можно детально анализировать и характеристики

эффективности ее подсистем и производить поиск «узких мест» для дальнейшей оптимизации. Что касается особо сложных аксиом, то их выполнение можно делегировать внешним модулям в соответствующие моменты модельного времени. Третий вид неопределенности (интервальность) вполне адекватно решается методами интервальной математики [11]. Данный вид математики позволяет эффективно представлять допустимые рамки параметров в виде ограниченных с двух сторон интервалов, над которыми особым образом можно реализовывать арифметику и дальнейшие вычисления. Все эти дополнения позволяют расширить классический онтологический подход и добиться повышения гибкости анализируемых параметров при решении задачи оптимизации рабочих проектов командной радиолинии. Очевидно, что подобные возможности должны быть реализованы на уровне вычислительного ядра онтологизированной модели, движка имитации, решателя и сопровождаться гибким интерфейсом визуализации и отчетности.

Ниже приведен фрагмент модели, касающийся использования онтологизированного подхода и интервальных методов при оценке работы командной радиолинии КИС.

В обобщенном варианте состав моделирующего комплекса представлен на рис. 1.

Представленная схема сочетает в себе как методы имитационного моделирования (блоки «Движок просчета модели» и «Язык генерации сценариев»), так и методы искусственного интеллекта (блок «Подсистема интеграции с БЗ»). Первые отражают специфику оценки вариантов проектных решений, опирающейся на нестационарные воздействия [6] (в данном случае нестабильность работы радиолинии или сбой в функционировании космического аппарата), а вторые – обработку онтологизированной БЗ (с вызовом внешних модулей экспертного оценивания параметров КИС для проигрываемой ситуации). Следует напомнить, что онтологизированная база знаний сама по себе есть комплексная система, легко интегрирующая в себя как интеллектуальные методы (экспертные системы, семантические сети, нечеткую логику), так и внешние исполняемые модули при реализации аксиом (например, dll-библиотеки).

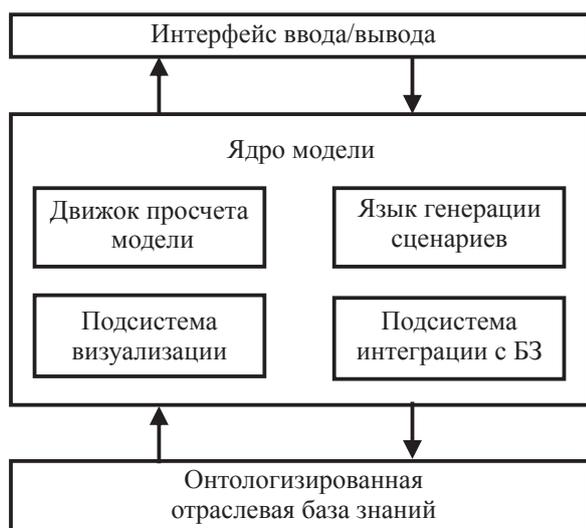


Рис. 1. Взаимодействие модулей системы моделирования КИС

Fig. 1. Interaction simulation modules CMS

Итак, модель, описывающую состав и функционирование командной радиолинии КИС, можно представить в виде следующего набора элементов.

1. Данные о надсистеме и возмущающих/управляющих воздействиях.

2. Данные о потоке входной и выходной информации, в привязке к требованиям технического задания на проектирование объекта (включая паттерны типовых потоков информации при функционировании объекта).

3. Онтологии структурных элементов объекта (подсистем) с описанием интерфейсов.

4. Метаонтология, описывающая взаимодействие подсистем между собой и интеграцию каждого объекта в надсистему.

Очевидно, что для такой архитектуры модели рационально соблюдать принцип модульности ее элементов. Работа любой модели, необязательно командной радиолинии КИС, должна отражать целевые признаки, необходимые для дальнейшего анализа системы и ее оптимизации [7]. Поэтому в качестве базовых критериев для оптимизации и принятия решений (интегральных показателей) можно, в первую очередь, выделить скорость передачи и обработки информации, а также вид передаваемой информации. Рассмотрим структуру компоновки знаний в модели командной радиолинии КИС, учитывая первостепенное значение интегральных показателей.

Онтология окружающей среды как целевое описание воздействия надсистемы на моделируемую БА КИС выражается в законах природы, технических условиях, нормативных требованиях к граничным возможностям работы объекта (допустимые температуры, давление, ударные воздействия и пр.). При онтологическом описании они могут быть представлены как в виде элементарных преобразований генерируемого шумового/управляющего сигналов (биогенных, абиогенных или антропогенных), так и в виде сложных алгоритмов и программ, подключаемых в виде имитирующих внешних модулей к модели. Фактически это аксиомы нижнего уровня, определяющие логику воздействий на исследуемый и оптимизируемый технический объект. Их форма может быть различной: от

математических функций и распределений до комплекса продукционных правил и алгоритмов искусственного интеллекта, корректно сопряженных с метаонтологией.

Протоколы входной и выходной информации, а также шаблоны типовых информационных потоков реализуются в модели в виде паттернов и сценариев, имитирующих реальный информационный обмен сложного технического объекта (СТО, чем и является оборудование КИС) с внешними сущностями (оператором, управляющим комплексом, периферийными устройствами сбора телеметрии и пр.) [8]. В структуре модели это перечень интерфейсов определенного типа, через которые периодически, аperiodически или случайно поступает последовательность данных (информационный сигнал), предварительно модифицированный (зашумленный) при воздействии внешней среды.

Онтологии подсистем СТО для каждой очередной технической версии элемента СТО (будь то аппаратный элемент или вычислительный алгоритм), должна предполагать формирование следующей структуры знаний.

На рис. 2. представлена структура знаний об СТО, которую необходимо внести в частную онтологию. В ней четко выделены частные элементы (блок «Экземпляр технического решения») и общие (остальные) элементы. При появлении нового экземпляра будет дополняться соответствующий раздел базы знаний онтологии, после чего автоматически произойдет внесение изменений в первичную таблицу сравнительных характеристик аналогов. Не исключается, что отдельная подсистема будет в себе содержать иные структуры (также подсистемы), которые потребуют описания отдельных онтологий и их вызов при просчете данного блока.

Метаонтология, отвечающая за интеграцию всех онтологий модели в единую систему анализа и оптимизации СТО. Она отвечает за описание состава системы, последовательности просчета модели, жизненный цикл работы и существования СТО, а также интеграцию исследуемого объекта в рамки надсистемы. Состав метаонтологии предполагает включение элементов, представленных на рис. 3. Здесь

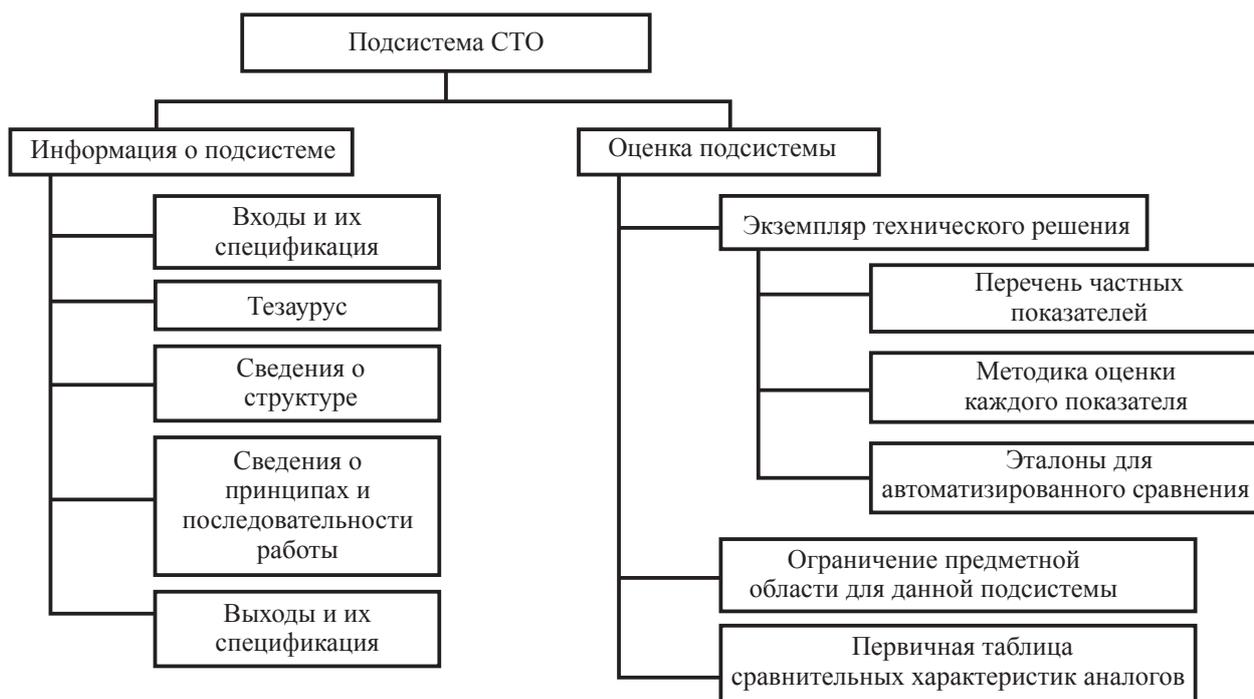


Рис. 2. Структура знаний о подсистеме СТО (сложный технический объект)
 Fig. 2. The structure of the knowledge of the subsystem STO (complex technical objects)

присутствует деление знаний на структурные (правая часть) и оценочные (левая часть).

Как видно из приведенной структуры знаний с рис. 2 и 3, каждый новый элемент системы в виде конкретного алгоритма, механизма, прибора и пр. в рамках своего поля знаний описывают эксперты, опираясь на индивидуальные показатели эффективности. Но при этом дополняют правилами перевода (оценки) свои частные показатели в интегральные, т.е. интересующие проектировщика всего аппарата. Для перехода между этими группами показателей выполняется следующая последовательность переходов: частные показатели → алгоритм оценки по эталонам → первичная таблица сравнительных характеристик всех аналогов → правила перевода частных показателей в интегральные → вторичная таблица сравнительных характеристик → правила выбора оптимального варианта (с учетом ограничений технического задания) → обоснование выбора элемента БА КИС в терминах интегральных показателей. При этом изначально анализу подвергаются знания о вариантах конкретной компоновки системы в поле частных показателей, но затем, за счет правил перехода к интегральным показателям,

они обобщаются и системно характеризуют КИС уже в масштабе всего проекта.

При формировании структуры данных, в рамках информационной системы, реализующей моделирование КИС, рационально применить объектно-ориентированный подход (загрузку профиля данных в память) с дальнейшим динамическим просчетом комплектации объекта. Исходные данные (характеристики отдельных комплектующих) можно представить в виде реляционной модели базы данных.

Описание логики взаимодействия фрагментов знаний внутри онтологии осуществляется при помощи дескриптивной логики (ДЛ).

Рассмотрим процесс формирования сигнала обратного канала командной радиолинии БА КИС, опираясь на синтаксис ДЛ

АВох: U_M – сигнал обратного канала командной радиолинии КИС

f_{OK} – частота обратного канала;

A – амплитуда сигнала;

U_k – двоичная информация (± 1) длительностью 1 период M -последовательности ОК; смена знака происходит только при передаче логической «1» кода информации (метод относительной фазовой телеграфии, ОФТ);

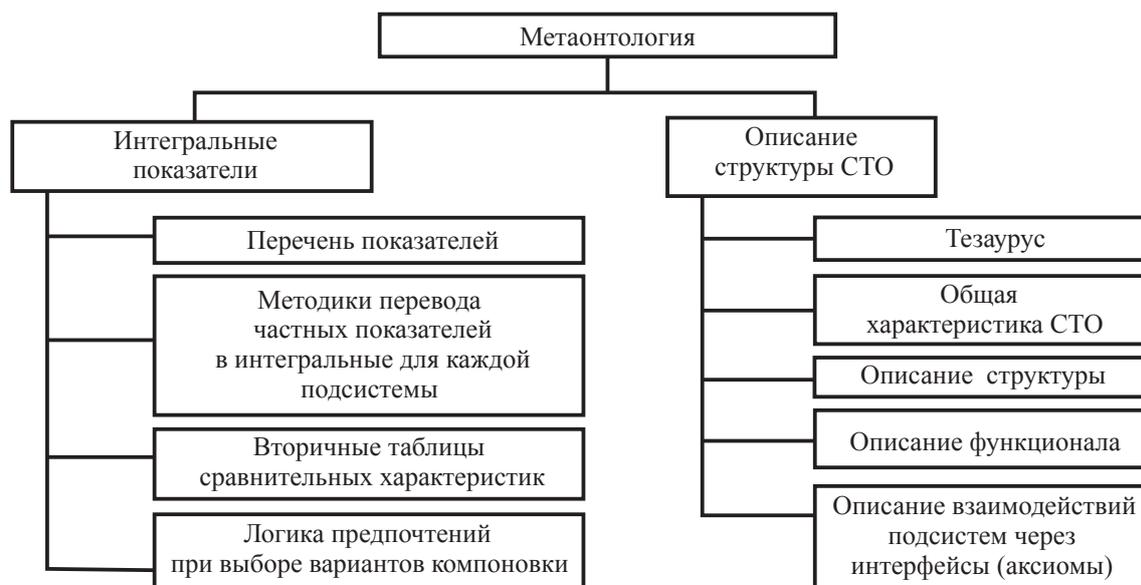


Рис. 3. Структура знаний с элементами о подсистеме СТО
 Fig. 3. The structure of knowledge with elements of the subsystem CTO

k – коэффициент, принимающий значения 2 или 4 (в данной модели $k=4$);

M_k – M -последовательность максимальной длины (± 1), сформированная на основе N -разрядного образующего полинома на тактовой частоте f_T , принимающая значения «+1» и «-1».

В данном случае получаем формулу образования сигнала M обратного канала U_M

$$U_M = A \cdot \text{Cos} \cdot [2\pi \cdot f_{OK} \cdot t + (\pi/k) \cdot M_k \cdot U_k] = (1/\sqrt{2}) \cos(2\pi \cdot f_{OK} \cdot t) - (1/\sqrt{2}) (M \cdot U_k) \cdot \sin(2\pi \cdot f_{OK} \cdot t).$$

Фактически в системе при просчете модели должны быть реализованы следующие события: генерация внешнего и информационного сигнала по таймеру, просчет всей модели, просчет командной радиолнии КИС, смена режима подсистемы или всего объекта моделирования, выполнение отдельного логического утверждения. Это позволит перейти от дескриптивной логики к объектно-ориентированному программированию.

Очевидно, что в логике модельно-ориентированного проектирования (МОП) [6] это позволяет расположить внутри любого из этих событий вызов внешних расчетных процедур и функций. Тогда логика работы аксиом должна либо описываться простейшим внутренним языком системы моделирования, либо обращаться к внешним вычислительным модулям (например, dll-библиотекам). Что касается описания логи-

ки (последовательности и параметров работы) подсистем, то они должны быть представлены в виде ориентированного графа с использованием набора ссылок или матрицы переходов.

Механизмы, реализующие обработку информации при выполнении аксиом, должны поддерживать обработку нечеткой информации. Это могут быть как интервальные оценки, так и лингвистические переменные, реализуемые решателем системы на уровне ядра. В первом случае, это оперирование интервальными числами [10], а во втором – нечеткими множествами [11]. Их интеграция в рамках единой информационной системы позволит повысить гибкость и качество представления знаний, хотя и усложнит процесс обработки знаний в онтологии. Хотя классическая дескриптивная логика, на которой базируется метод онтологий, при интерпретации и не предусматривает вызов внешних процедур и функций, замена решающих правил на пользовательскую подпрограмму не является затруднением.

Материал настоящей статьи свидетельствует о возможности разработки математической модели командной радиолнии на основе анализа методов построения математических моделей. На основе проанализированных методов используется механизм имитационного моделирования, который позволяет осуществить решение разработки ма-

тематической модели командной радиолинии командно-измерительной системы.

Таким образом, при построении математической модели командной радиолинии нужно руководствоваться синтаксисом ДЛ, т.к. это позволит без затруднений перейти к построению модели командной радиолинии КИС в логике модельно-ориентированного проектирования (МОП).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Спутниковая связь и вещание: Справочник – 3-е изд., перераб. и доп. / Л.Я. Кантор, В.А. Бартечев, Г.В. Болтов, В.Л. Быков и др.; под ред. Л.Я. Кантора – М.: Радио и связь, 1997. – 528 с.
2. Диксон, Р.К. Широкополосные системы / Диксон, Р.К. – М.: Связь, 1979. – 297 с.
3. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение – 2-е изд. / Б. Скляр. – М.: Вильямс, 2007. – 1104 с.
4. ISO/IEC 15288:2008. Systems and software engineering – System life cycle processes (режим доступа: www.iso.org).
5. Nasa System Engineering Processes and Requirements (NPR 1723.1A, 26.03.2007)
6. European Cooperation for Space Standardization (режим доступа: ecss.nl)
7. Münster S., Gericke G. Comparison of Russian P.A. Standards With Corresponding ESA Requirements // Product Assurance Symposium and Software Products Assurance Workshop, ESA, 1996. 31-42 pp.
8. Тарасенко, Ф.П. Прикладной системный анализ: Учеб. пособие / Ф.П. Тарасенко. – М.: КноРус, 2010. – 224 с.
9. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
10. Kendal S., Creen M. An Introduction to Knowledge Engineering – UK, Shpringer, 2007. – 286 p.
11. ISO 15926 Industrial automation systems and integration - Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities (с дополнениями на 2011 г., режим доступа: www.iso.org).

INVESTIGATION OF THE WAYS TO MODEL THE COMMAND RADIO COMMAND-MEASURING SYSTEM

Burkov V.D., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); Ginkul D.I., pg. MSFU

burkov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytitschi, Moscow reg., Russia

Command-and-measurement system is one of the most important systems of the spacecraft. It is intended to monitor the operation and control of the spacecraft from the center of the Mission Control, as well as to measure its current navigation parameters via command radio signal processing. Therefore, the most important stage in the development of the command-measuring system is the design and simulation of command radio. This article discusses the principles of the design and simulation of the command radio command-measuring system. The basic modeling techniques. The article describes the problem of simulation of the command radio of the command-measuring system. After analyzing the methods studied, the author chose the simulation mechanism, which allows to implement the decision to develop a mathematical model of the command radio command-measuring system. The most effective means of simulation is the ontological approach. Its implementation significantly complicates the initial architecture modeling and design software system, but also provides a number of significant advantages (eg, to integrate individual areas of expertise within a single model and to organize joint miscalculation). Description of the interaction fragments of knowledge logic within the ontology is carried out using descriptive logic. In fact, in the system when estimating the model, the following events are to be implemented: the generation of the external information signal and a timer; estimating the entire model, estimating the command radio of the command-measuring system, a regime change in a subsystem or the whole object, execution of a single logical statement, which will help to move from descriptive logic to object-oriented programming. The solution of this problem is presented by a simulation mechanism, which allows for the development of the solution of a mathematical model of the command radio of the command-measuring system. Thus, when constructing a mathematical model of the radio command a scientist must be guided by the descriptive logic syntax, as it will easily move to the model of the command radio of the command-measuring system in the logic of model-oriented programming.

Keywords: simulation, the ontological approach, descriptive logic command radio link, command-and-measurement system, the processes of design, methodology, optimization design, system engineering

References

1. Kantor L.Ya., Bartenev V.A., Boltov G.V., Bykov V.L. i dr. *Sputnikovaya svyaz i veshchanie: Spravochnik* [Satellite Communications and Broadcasting: A Handbook]. Moscow: Radio i svyaz', 1997, 528 p.
2. Dikson, R.K. *Shirokopolosnye sistemy* [Broadband systems]. Moscow: Svyaz'. 1979. 297 p.
3. Sklyar, B. *Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie* [Digital communication. Theoretical basis and practical application]. Moscow: Vil'yams, 2007. 1104 p.
4. ISO/IEC 15288:2008. Systems and software engineering – System life cycle processes (access mode: www.iso.org).
5. Nasa System Engineering Processes and Requirements (NPR 1723.1A, 26.03.2007)
6. European Cooperation for Space Standardization (access mode: ecss.nl)
7. Münster, S., Gericke G. Comparison of Russian P.A. Standards With Corresponding ESA Requirements. Product Assurance Symposium and Software Products Assurance Workshop, ESA, 1996. 31-42 pp.
8. Tarasenko, F. P. *Prikladnyy sistemnyy analiz: Ucheb. posobie* [Applied System Analysis: A Tutorial], Moscow: KnoRus, 2010. 224 p.
9. Gavrilova, T.A., Khoroshevskiy V.F. *Bazy znaniy intellektual'nykh sistem* [Knowledge base of intelligent systems]. St. Petersburg: Piter, 2001. 384 p.
10. Kendal, S., Creen M. An Introduction to Knowledge Engineering. UK, Shpringer, 2007. 286 p.
11. ISO 15926 Industrial automation systems and integration. Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities (with additions for 2011, access mode: www.iso.org).

ПРОЦЕСС СИНХРОНИЗАЦИИ СИНХРОННОЙ РАДИОЛИНИИ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В.Д. БУРКОВ, проф. каф. информационно-измерительных систем и технологий приборостроения МГУЛ, д-р техн. наук,

Д.И. ГИНКУЛ, асп. каф. информационно-измерительных систем и технологий приборостроения МГУЛ

burkov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Освоение космоса не могло быть осуществлено без автоматизированного управления (радиотелеуправления) с Земли космическими аппаратами при помощи командно-измерительных систем. В данной статье рассматриваются принципы работы приемных и передающих устройств командной радиолнии, процесс синхронизации прямого «Земля-Борт» и обратного «Борт-Земля» каналов передачи информации. Выполнение функции приемо-передачи командно-программной информации от наземной станции командно-измерительной системы в системы космического аппарата и ответных (квитанционных) сообщений обеспечивается синхронной радиолнией с решающей обратной связью, реализованной в бортовой аппаратуре командно-измерительной системы. Рассмотрены принципы функционирования основных узлов модуляторов и демодуляторов (приемников и передатчиков) в двухсторонней радиолнии, основные принципы формирования потоков в радиолнии и способ синхронизации. В статье изложена суть проблемы синхронизации радиолнии, выбрано и обосновано средство ее решения в виде системы, которая обеспечивает одновременное выполнение в широкополосном режиме двусторонней передачи данных измерение радиальной скорости космического аппарата, измерение наклонной дальности до космического аппарата, автоматическое сопровождение космического аппарата по угловым координатам, измерение угловых координат. Наземная станция может работать с неориентированными объектами без интерференции и замираний, автоматически выбирая вид модуляции с большим уровнем сигнала. Бортовой приемник также периодически анализирует сигнал от двух антенн и выбирает максимальный. Решение поставленной задачи показано на схеме приемного устройства, которое обеспечивает вид модуляции в прямом канале, кодирование ортогональными сигналами, и эквивалентен двухпозиционной частотной телеграфии. Также на схеме передающего устройства радиолнии, которое обеспечивают вид модуляции в обратном канале, показана относительная фазовая телеграфия, техническая скорость передачи K кбит/с.

Ключевые слова: приемное устройство, передающее устройство, синхронизация радиолнии, модуляция, частота, командно-измерительная система, манипуляция, прямой канал, обратный канал.

Освоение космоса не могло быть осуществлено без автоматизированного управления (радиотелеуправления) с Земли космическими аппаратами (КА) при помощи командно-измерительных систем (КИС) [1].

КИС является одной из важных систем космического аппарата. С ее помощью осуществляется контроль за функционированием и управление космическим аппаратом из ЦУП, а также осуществляется измерение его текущих навигационных параметров через обработку сигналов командной радиолнии.

Указанные функции реализуются командно-измерительной системой (КИС), включающей в себя бортовую аппаратуру (БА) и наземные станции (НС) КИС, и наземным комплексом управления (НКУ) КА, который включает в себя центр управления полетом (ЦУП) КА и группировку территориально разнесенных командно-измерительных пунктов (КИП), объединенных системой связи передачи данных. В КИС реализация

функций, обеспечивающих автоматизированное управление, осуществляется в совмещенном режиме. То есть выполнение этих функций осуществляется параллельно, причем, без ухудшения технических характеристик каждой функции. Точность измерения текущих навигационных параметров КА является достаточной для долгосрочного прогноза параметров орбиты КА любого целевого назначения. Совмещенный режим выгоден тактически и экономически, так как минимизируется время радиообмена с КА и сокращается объем аппаратуры, требуемой для реализации всех функций [2].

Выполнение функции приемо-передачи командно-программной информации от НС КИС в системы КА и ответных (квитанционных) сообщений обеспечивается синхронной радиолнией с решающей обратной связью, реализованной в БА КИС.

В составе бортовой аппаратуры КИС имеется передающее устройство, которое, с

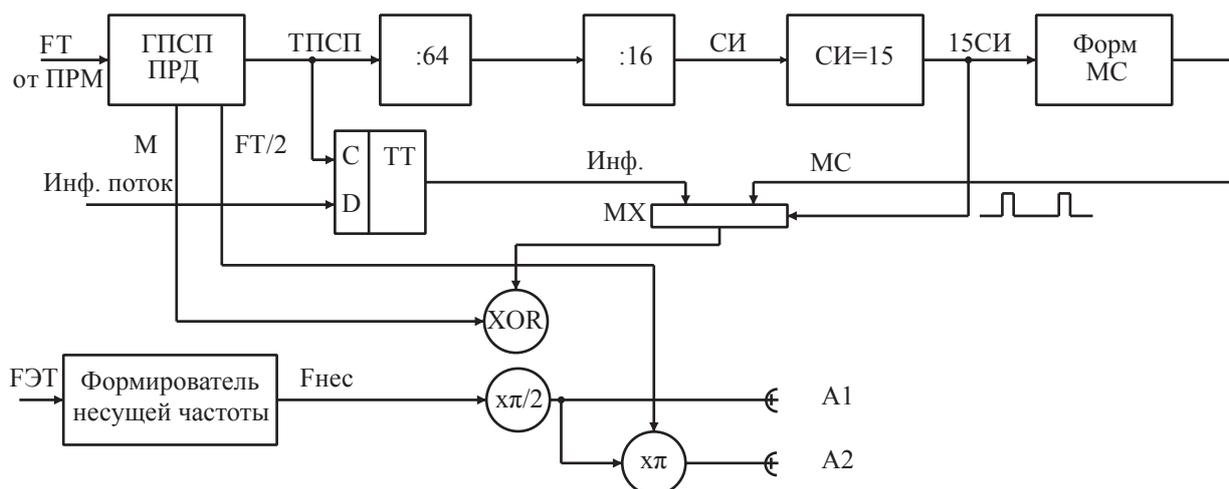


Рис. 1. Упрощенная структурная схема бортового передающего устройства
 Fig. 1. Simplified block diagram of the airborne transmission device

целью обеспечения сферичности диаграммы направленности БА КИС, работает на две диаметрально расположенные на КА антенны, создавая в эфире два радиосигнала. Сигнал одной из антенн БА преобразуется к ортогональному виду для исключения интерференции при приеме этих сигналов наземной станцией. Ортогональность достигается путем дополнительного модулирования фазы радиосигнала на $(0, \pi)$ меандром полутактовой частоты $F_T/2$. [3]

Генератор псевдослучайной последовательности (M -последовательности) передатчика ГПСП ПРД тактируется сигналами F_T , поступающими от ГПСП бортового приемника (ПРМ). ГПСП формирует расширяющую спектр N -разрядную последовательность длиной M символов. Сигнал начала последовательности $T_{ПСП}$ используется для формирования кадровой развертки. Этот сигнал делится на 64, формируя синхроимпульсы циклов обмена СИ. На первых пятнадцати СИ передается полезная информация I , на 16-м интервале передается маркерный сигнал МС.

Поток информации обратного канала БА КИС тактируется $T_{ПСП}$ и, проходя через мультиплексор МХ, складывается с M -последовательностью. Мультиплексор подмешивает к информационному потоку на каждом 16-м СИ маркерный сигнал. Полученная смесь подается на модулятор. Модулятор передатчика представляет собой два фазовых

манипулятора: на 90° и 180° ($\pi/2$ и π манипуляторы).

На $\pi/2$ -манипулятор подается сигнал синусоидальной несущей, сформированный из эталонной частоты $f_{ЭТ}$, и на выходе его образуется широкополосный сигнал с остатком несущей. Широкополосная часть спектра содержит сигналы информации прямого канала, модулированные N -разрядной M -последовательностью. Сигнал несущей остается немодулированным.

Сигнал с таким спектром поступает в антенну А1. Этот же сигнал поступает на второй π -манипулятор, на управляющий (инвертирующий) вход которого поступает меандр полутактовой частоты $F_{T/2}$ ГПСП ПРД. В результате сигнал промоделированной несущей «расщепляется» на две составляющие, а сигнал информации, модулированный M -последовательностью, дополнительно манипулируется полутактовой частотой. Результат перемножения M -последовательности с синфазной полутактовой частотой называется последовательностью M^* .

$$M^* = M \oplus \frac{F_T}{2} \text{ (условная форма записи).}$$

Полученный сигнал излучается второй антенной А2 бортовой аппаратуры.

Можно показать, что без потери общности излученные бортовыми антеннами сигналы представимы в виде

$$U_{A1} = \frac{\sqrt{2}}{2} [\cos(\omega_0 t) \cdot M \cdot I + \sin(\omega_0 t)].$$

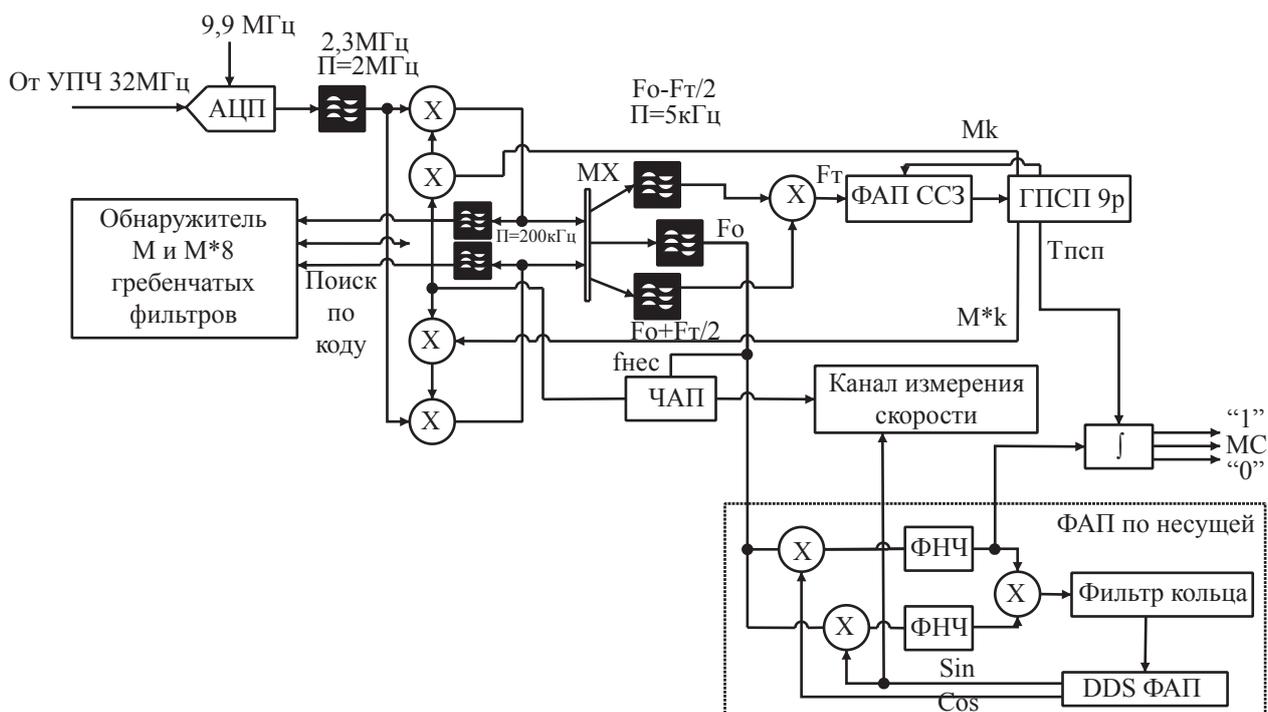


Рис. 2. Упрощенная структурная схема приемного устройства НС КИС
 Fig. 2. A simplified block diagram of the receiver of the ground station of CIS

$$U_{A2} = U_{A1} = \frac{\sqrt{2}}{2} [\cos(\omega_0 t) \cdot M \cdot I + \sin(\omega_0 t) \cdot \text{sign}(\sin[2\pi \cdot f_{T/2} \cdot t])].$$

Эту запись можно интерпретировать следующим образом.

Антенна А1 излучает несущую, модулированную M -последовательностью с наложенной информацией I , и «повернутую» по фазе на 90° немодулированную несущую.

Антенна А2 излучает несущую, модулированную M^* -последовательностью с наложенной информацией I , и «повернутую» по фазе на 90° несущую, π -манипулированную полутактовой частотой (две спектральные составляющие).

Сигналы в двух антеннах не интерферируют между собой, т.к. ортогональны в узком смысле – спектральные составляющие сигналов двух антенн не совпадают: спектральные линии широкополосных частей спектра с двух антенн разнесены на $F_{T/2} M$, а в точках нахождения остатков несущих составляющие соответствующего широкополосного спектра отсутствуют.

На схеме опущен кодер относительности, который инвертирует выходной сим-

вол кодера, если на входе информационная «1», и сохраняет выходной символ кодера, если на входе информационный «0». Такой вид модуляции называется относительной фазовой телеграфией (ОФТ), или модуляцией противоположенными (инверсными) сигналами. Это определяет структуру демодулятора в наземном приемнике [4].

Сигнал от двух антенн БА принимается радиоприемным устройством наземной станции. Упрощенная структурная схема наземного приемного устройства показана на рис. 2.

Сигнал с выхода УПЧ с номинальной частотой 32 МГц поступает на АЦП, который тактируется частотой 9,9 МГц. Фильтр с полосой ≈ 2 МГц вырезает третью зону Найквиста, в которую переносится полезный сигнал. В режиме обнаружения этот сигнал подвергается свертке с кодами M и M^* одновременно в двух каналах. Результат свертки фильтруется фильтрами с полосой 200 кГц, накрывающими диапазон неопределенности по доплеровской частоте. Оба этих сигнала поступают на обнаружитель.

В обнаружителе записывается в память реализация входного сигнала длительностью примерно 1 мс, и затем копия сигнала

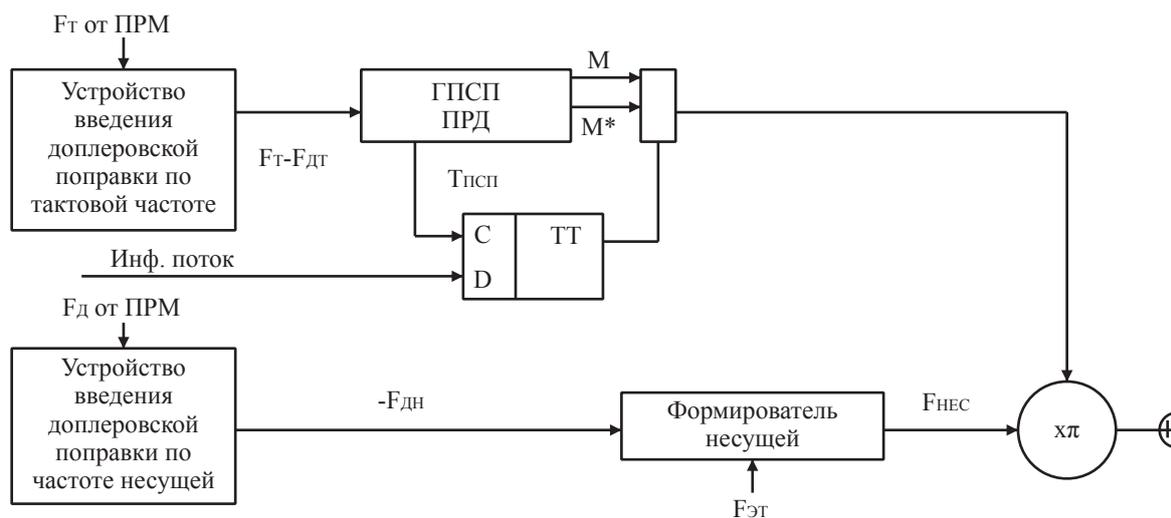


Рис. 3. Упрощенная структурная схема наземного передающего устройства
Fig. 3. A simplified block diagram of terrestrial transmitters

в машинном времени проверяется на свертку со всеми позициями кода ПСП со сдвигами на 250 нс. Полученный массив сверток анализируется с целью выявить максимальный уровень свернутого сигнала. В результате обнаружитель реализует восемь гребенчатых фильтров (4 в канале M и 4 в канале M^*) в диапазоне ± 70 кГц от несущей частоты с парциальными полосами порядка 1,6 кГц.

Если превышение порога не зафиксировано, процедура повторяется с новой копией сигнала, записанной в процессе обработки на предыдущем цикле. Таким образом, процесс обнаружения происходит непрерывно.

При превышении установленного порога в одном из каналов производится проверка на данной частоте (подтверждение), а затем уточнение сдвига по частоте по пяти соседним каналам путем интерполяции. Полученная оценка доплеровского сдвига частоты используется как начальная установка частоты несущей в канале скорости.

Описанный алгоритм обнаружения не использует остаток несущей частоты ни в канале M , ни в канале M^* .

По окончании процесса обнаружения включаются кольца слежения за несущей и задержкой. Дискриминационные характеристики колец построены так, что сигналы ошибки в них независимы, и кольца можно замыкать одновременно. Кольца слежения за несущей и задержкой на схеме рис. 2 не раз-

вернуты, т.к. для рассмотрения процесса выделения сигналов информации существенно лишь наличие синхронизации по коду.

Пусть в результате процедуры обнаружения выбран режим слежения по коду M .

Кольцо слежения за сигналом несущей замыкается следующим путем: входной сигнал через АЦП и фильтр $P = 2$ МГц свертывается с сигналом гетеродина, модулированного кодом M , формируемым ГПСП 9р. Свернутый сигнал через мультиплексор MX попадает в центральный фильтр с полосой 5 кГц. Сигнал на частоте F_0 , содержащий информационные составляющие КИС, поступает в блок кольца частотной автоподстройки (ЧАП). В нем информация КИС сворачивается, и производится слежение по частоте выделенной несущей $F_{нес}$. Петля ЧАП замыкается подачей сигнала $f_{нес}$ на перемножитель с кодом M . Сигнал F_0 , содержащий информацию КИС, поступает на кольцо ФАП по несущей, построенное по схеме Костаса. Это кольцо следит за фазой сигнала F_0 , частота которого не содержит доплеровского сдвига несущей, а смещена от номинального значения F_0 только на величину ошибки в кольце ЧАП. С выхода ГУН ФАП (на схеме – DDS) отфильтрованный сигнал с частотой и фазой F_0 поступает в канал измерения скорости, где исключается ошибка ЧАП и формируются оценки радиальной скорости.

Сигнал на кольцо слежения за задержкой с выхода фильтра $P=2$ МГц в нижнем по

полутактовой частоты $F_{T/2}$. Эти последовательности коммутируются в мультиплексоре MX тактированными символами информации. Тактирование производится импульсами начала последовательности $T_{ПСП}$. Кодированный сигнал содержит последовательность M при передаче информационного символа «0» и последовательность M^* при передаче информационного символа «1».

Информация, кодированная таким образом, поступает на π -манипулятор несущей частоты, которая формируется, опираясь на сигнал эталонной частоты $f_{ЭТ}$ наземной станции.

Кодирование такого типа называется модуляцией ортогональными сигналами. (Коды M и M^* ортогональны в узком смысле). Формирователь кодовой развертки на схеме не показан.

На схеме показаны отдельными блоками устройства введения доплеровских поправок по тактовой частоте и по несущей частоте прямого канала.

Эти устройства формируют частоты несущей и тактовой с упреждением, чтобы на бортовой приемник эти частоты приходили без доплеровских смещений. Для работы формирователя используются суммарные доплеровские смещения в обратном канале – поправка потактовая в системе слежения за задержкой, поправка по несущей – в канале слежения за несущей с учетом отличия несущих частот в прямом и обратном каналах.

Сигнал на бортовое приемное устройство поступает от одной из двух бортовых антенн через антенный коммутатор. Усиленный сигнал промежуточной частоты оцифровывается в АЦП и после фильтра с полосой 2 МГц поступает на два перемножителя свертки. На один перемножитель поступает код M , на другой – код M_* . Коды вырабатываются генераторами псевдослучайной последовательности приемника ГПСЦ ПРМ.

Выходные сигналы перемножителей свертки фильтруются двумя фильтрами с полосой ≈ 5 кГц, настроенными на центральную частоту F_0 . Сигналы фильтров аддитивно складываются и поступают на обнаружитель. Поскольку ожидается, что доплеровского сдвига нет, то независимо от передаваемого

символа информации на выходе сумматора будет иметь место сигнал.

Обнаружитель осуществляет поиск порции кода, при котором наступает свертка. Если уровень свертки превышает установленный порог, то формируется сигнал «Зхв. обнаружителя», по которому замыкается кольцо слежения по задержке. [6]

Выходы перемножителей свертки также суммируются, и полученный сигнал фильтруется двумя фильтрами, разнесенными на величину тактовой частоты F_T . Разность частот этих фильтров содержит сигнал ошибки для кольца ССЗ.

Если на входе присутствует символ с кодом M , то на выходе M -перемножителя имеем сигнал с частотой F_0 , который поступает на обнаружитель, а на выходе M^* -перемножителя имеются две узкополосные составляющие, разнесенные на F_T .

Если входной сигнал меняется на символ с кодом M_* , то спектральные картины на выходе перемножителей меняются местами. Таким образом, независимо от передаваемой информации всегда присутствует сигнал на выходе обнаружителя и всегда формируется сигнал ошибки для ССЗ, или, пользуясь профессиональной терминологией, происходит свертка сигналов информации.

Однако на выходе парциальных фильтров с частотой F_0 сигналы меняются местами при смене символа информации. Детектируя и вычитая друг из друга эти сигналы, получаем биполярный сигнал, знак которого соответствует передаваемому символу. Этот сигнал поступает на интегратор со сбросом, который тактируется сигналами канала M -последовательности $T_{ПСП}$ формируемыми ГПСЦ ПРМ. Перед сбросом опрашивается знак накопленной в интеграторе суммы. Знак суммы идентифицируется нулем или единицей информации. [7]

Выше рассмотрены принципы функционирования основных узлов модуляторов и демодуляторов (приемников и передатчиков) в двухсторонней радиолинии. Для лучшего понимания нижеследующих разделов опишем кратко процесс синхронизации в системе.

Инициатива по вхождению в связь принадлежит бортовой аппаратуре. По про-

грамме включаются бортовой передатчик и бортовой приемник. Бортовой передатчик (рис. 1) излучает сигнал через две своих антенны. Пока сигнал приемником не обнаружен, антенны перестраиваются самим приемником каждые 2 секунды. ГПСП приемника и связанный с ним напрямую ГПСП передатчика тактируются эталонной частотой 1 МГц.

Наземный приемник (рис. 2) производит поиск обоих видов сигнала (M и M^* -последовательностей) одновременно. При обнаружении любого сигнала включаются кольца слежения по несущей и задержке кодовой последовательности. (Одновременно включается система сопровождения объекта по углам, которая на упрощенной схеме (рис. 2) не показана).

После синхронизации следящих колец в наземном приемнике измеряются доплеровские смещения по несущей частоте и тактовой частоте. Доплеровские поправки через устройство формирования поправок (рис. 3) вводятся в ГПСП и формирователь несущей частоты ПК НС КИС. Поправки вводятся таким образом, чтобы скомпенсировать доплеровское смещение в прямом канале, и частоты, принимаемые бортовым приемником, были бы близки к своим номинальным значениям. После этого включается излучение наземного передатчика.

Обнаружение сигнала бортовым приемником запускает формирование кадровой синхронизации на борту и включает бортовое кольцо слежения за задержкой. По достижении синхронизации в кольце тактовая частота ГПСП передатчика через мультиплексор $MX1$ (рис. 4) переключается на частоту ГПСП приемника и далее оба ГПСП работают на единой тактовой частоте синхронно, имеют одинаковую разрядность, но различные образующие полиномы. Сдвиг между начальными состояниями ГПСП, необходимый для расчета дальности, измеряется в приемнике БА КИС и передается на Землю служебной посылкой. Отклонение по частоте несущей бортовым приемником не отслеживается, но его структура инвариантна к небольшим отклонениям частоты несущей от номинального значения. [8]

Переключение тактовой частоты ГПСП бортового передатчика приводит к появлению

одиночного переходного процесса в кольце слежения за задержкой наземного приемника. Параметры колец выбраны таким образом, что этот переходный процесс не оказывает влияния на слежение, т.к. он заканчивается раньше начала режима измерения дальности. Появление захвата в бортовом приемнике включает аппаратуру формирования кадровой развертки. В частности, формируется интервал, на котором бортовой приемник имеет возможность сравнить уровни сигналов, поступающих от двух антенн, с тем, чтобы выбрать антенну с максимальным сигналом. Кадровая развертка устанавливает этот интервал в тот момент, когда в прямом канале не передается полезная информация. Когда маркерный сигнал принимается наземным приемником, он, в свою очередь, запускает кадровую развертку наземной станции. После этого двусторонняя радиосвязь полностью готова к работе во всех режимах и передаче информации в каналах «Земля» – «Борт» и «Борт» – «Земля». [9]

Материал настоящей статьи свидетельствует об образовании системы, которая обеспечивает одновременное выполнение в широкополосном режиме двусторонней передачи данных, измерение радиальной скорости KA , измерение наклонной дальности до KA , автоматическое сопровождение KA по угловым координатам, измерение угловых координат. Наземная станция может работать с неориентированными объектами без интерференции и замираний, автоматически выбирая вид модуляции с большим уровнем сигнала. Бортовой приемник также периодически анализирует сигнал от двух антенн и выбирает максимальный.

Вид модуляции в обратном канале – относительная фазовая телеграфия, техническая скорость передачи K кбит/с. Сигналы информации промодулированы кодом с базой M . Остаток несущей не используется и необходим только для совместимости с наземными средствами прошлых лет разработки.

Вид модуляции в прямом канале – кодирование ортогональными сигналами и эквивалентен двухпозиционной частотной телеграфии [10]. Характеристики прямого канала передачи информации почти такие же, как в обратном канале. Скорость передачи

K кбит/с, для сигнала информации, промодулированного кодом с базой M , немодулированная несущая отсутствует.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Галантерник, М.Ю. Командно-измерительные системы и наземные комплексы управления наземными аппаратами / М.Ю. Галантерник, А.В. Гориш, А.Ф. Калинин. – М.: Росавиакосмос, 2003. – 197 с.
2. Радиотехника // Издательское предприятие редакции журнала «Радиотехника» – 1998. – № 4.
3. Варакин, Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин – М.: Радио и связь, 1985. – 193 с.
4. Гинкул Д.И. Возможность передачи телеметрической информации в обратном радиоканале командно-из-

мерительной системы на основе метода прямой манипуляции несущей частоты» / Д.И. Гинкул // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – №2 (94). – С. 156–160.

5. Спутниковая связь и вещание: Справочник – 3-е изд. / Л.Я. Кантор, В.А. Бартнев, Г.В. Болтов, В.Л. Быков и др.; под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1997. – 528 с.
6. Диксон, Р.К. Широкополосные системы / Р.К. Диксон. – М.: Связь, 1979. – 297 с.
7. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение – 2-е изд. / Б. Склад – М.: Вильямс, 2007. – 1104 с.
8. Методические указания по разработке командно-измерительных систем для перспективных КА – Железнодорожск.: СФУ. – 2012. – № 6.
9. Тарасенко, Ф.П. Прикладной системный анализ: Учеб. пособие / Ф.П. Тарасенко. – М.: КноРус, 2010. – 224 с.
10. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.

SYNCHRONIZATION PROCESS SYNCHRONOUS RADIO COMMAND-MEASURING SYSTEM

Burkov V.D., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); Ginkul D.I., pg. MSFU

burkov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

Space exploration could not be achieved without automated control (radio remote control) of a spacecraft from Earth using the command-measuring systems. This article discusses the principles of receiving and transmitting devices performance, radio command synchronization process of the forward « surface-to-board » and reverse « board-to-surface » information channels. Execution of the two-way transfer of command and program information from the ground station of the command-measuring system to the spacecraft and Response (transaction) posts is provided by a synchronous radio link with a decision feedback equalizer implemented in the onboard equipment of the command-measuring system. The principles of operation of the basic units of modulators and demodulators (transmitter and receiver) in a two-way radio, the basic principles of flow in the radio and synchronization method are discussed. The article describes the problem of synchronization of the radio link, and means to solve it are selected and justified as a system that provides simultaneous execution of the measurement of the radial velocity of the spacecraft, the slant range to the spacecraft, automatic tracking of the spacecraft angular coordinates, the angular coordinates of the spacecraft in a wide-duplex data transmission. The ground station can operate the non-oriented objects without interference and fading, automatically selecting the modulation type with a high level signal. The on-board receiver also analyzes the signal from two antennas and selects the best one. The solution of this problem is shown in the scheme of the receiving device which provides a direct modulation type channel, coding of the orthogonal signals, and is equivalent to a two-stage frequency telegraphy. The scheme also contains the data on the radio transmitter circuit which is provided in a reverse modulation type channel, relative phase telegraphy, technical transfer rate of K kbit/s.

Keywords: receptor transmitting device radio synchronization, modulation, frequency, command-measuring system, manipulation, direct channel, back channel.

References

1. Galanternik M.Yu., Gorish A.V., Kalinin A.F. *Komandno-izmeritel'nye sistemy i nazemnye komplekсы upravleniya nazemnymi apparatami*. [Command-and-measuring systems & ground control complex terrestrial apparatuses]. Moscow: Rosaviakosmos, 2003. 197 p.
2. *Zhurnal Radiotekhnika* [Journal Radio Engineering]. Izdatel'skoe predpriyatие redaktsii zhurnala «Radiotekhnika». 1998. № 4.
3. Varakin L.E. *Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami* [Communication systems with noise-like signals]. Moscow: Radio i svyaz', 1985. 193 p.
4. Ginkul D.I. *Vozmozhnost' peredachi telemetricheskoy informatsii v obratnom radiokanale komandno-izmeritel'noy sistemy na osnove metoda pryamoy manipulyatsii nesushchey chastoty* [The ability to transmit telemetry information in the reverse command radio channel measurement system on the basis of direct manipulation of the carrier frequency]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2013. № 2 (94). pp. 156–160.
5. Kantor L.Ya., Bartenev V.A., Boltov G.V., Bykov V.L. i dr. *Sputnikovaya svyaz' i veshchanie: Spravochnik* [Satellite Communications and Broadcasting: A Handbook]. Moscow: Radio i svyaz', 1997, 528 p.
6. Dikson R.K. *Shirokopolosnye sistemy* [Broadband systems]. Moscow: Svyaz'. 1979. 297 p.
7. Sklyar B. *Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye* [Digital communication. Theoretical basis and practical application]. Moscow: Vil'yams, 2007. 1104 p.
8. *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke komandno-izmeritel'nykh sistem dlya perspektivnykh kosmicheskikh apparatov* [Guidelines on development of command and measuring systems for future spacecraft]. Zheleznogorsk: SFU. 2012. № 6.
9. Tarasenko F.P. *Prikladnoy sistemnyy analiz: Ucheb. posobie* [Applied System Analysis: A Tutorial]. Moscow: KnoRus, 2010. 224 p.
10. Gavrilova T.A., Khoroshevskiy V.F. *Bazy znaniy intellektual'nykh sistem*. [Knowledge base of intelligent systems]. St. Petersburg: Piter, 2001. 384 p.

ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ОБИТАЕМОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ БАЗЫ НА ЛУНЕ

В.Д. БУРКОВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук,*
 В.П. ВАСИЛЬЕВ, *проф. ОАО «НПК СПП», д-р техн. наук,*
 В.А. ЕСАКОВ, *проф. каф. САУ МГУЛ, канд. техн. наук,*
 С.В. ПЕРМИНОВ, *каф. ИИС и ТП МГУЛ, канд. техн. наук,*
 Д.Г. ЩУКИН, *асп. каф. ИИС и ТП МГУЛ,*
 Ю.С. КАПРАНОВ, *начальник отдела ОАО «НПК СПП»,*
 Г.Э. КУФАЛЬ, *начальник отдела ОАО «НПК СПП», канд. техн. наук,*
 А.Б. БУРЛАКОВ, *проф. МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук*

burkov@mgu.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
 141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ
 ООО «Научно-производственная корпорация
 «Системы прецизионного приборостроения», г. Москва, Авиамоторная, 53
 ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова»
 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

В работе рассмотрена потенциальная возможность создания постоянно действующей лунной базы, исходя из современного состояния отечественной космической отрасли. Проведена оценка технических и технологических средств для реализации такого проекта. Отмечается, что, в первом приближении, для создания лунной станции с посадочной массой в 100 т потребуется около 40 запусков ракеты типа «Протон». Стоимость доставки полезного груза, материалов и оборудования для создания лунной базы будет составлять около 3 млрд долларов. Для сокращения энергетики перехода на орбиту искусственного спутника Луны предлагается использование траектории полета от Земли к Луне нового «обходного» типа. Сборка лунного корабля на околоземной орбите в автоматическом режиме, перелет к Луне, перекомпоновка корабля-станции на окололунной орбите, спуск функционального модуля на поверхность Луны в автоматическом режиме займет не более месяца. При этом, в работе уделяется большое внимание первоочередным вопросам, с которыми будут вынуждены сталкиваться сменяемые экипажи обитаемой лунной станции: обеспечение необходимой теплоизоляции функционального блока лунной базы для компенсации перепадов температур в дневное и ночное время; обеспечение надежной защиты оборудования и персонала лунной базы от воздействия ионизирующих излучений космического пространства и излучений от солнечных вспышек. В перспективе проект создания стационарной лунной базы будет являться стартовой площадкой для дальнейшего освоения космического пространства, в частности, марсианских экспедиций и полетов к другим телам Солнечной системы. Большое значение имеет освоение Луны для решения целого ряда научных и прикладных задач, в том числе в плане изучения и отражения астероидной опасности.

Ключевые слова: космические системы, Луна, космические полеты.

В настоящее время перед человечеством стоит множество разнообразных, весьма серьезных задач. Тут и перманентный экономический кризис, и разнообразные угрозы самому существованию привычной нам цивилизации от разгула терроризма до экологических катастроф. Все эти насущные задачи требуют своего разрешения. Авторы не сомневаются, что эти задачи будут так или иначе решены. Но вслед за одними решенными задачами неизбежно возникнут очередные. Какие, мы сейчас даже представить себе не можем, как не мог себе представить житель позапрошлого века проблему вирусного заражения компьютерных сетей. Но все эти задачи, проблемы, кризисы объединяет одно – они порождены на Земле и плоскость решения этих проблем лежит в плоскости земных интересов. Пока

очень немногие пытаются выйти из этого порочного круга и перенести решения сугубо земных проблем в космическое пространство.

Отсутствие общих цивилизационно-значимых целей, отсутствие соответствующей им идеологии заставляет Человечество вновь и вновь возвращаться к решению стандартных задач выживания и сохранения цивилизации в рамках привычных представлений.

Есть ли выход из этого порочного круга? Авторы видят выход для человечества в появлении новых горизонтов для развития, в космической экспансии. Впервые этот путь показал К.Э. Циолковский. С середины 50-х годов XX в. началось освоение околоземного космического пространства и затем первые экспедиции к планетам Солнечной системы [1].

Рассмотрим современное состояние космической отрасли и постараемся определить, способна ли современная космонавтика решать вопросы, которые были подняты в предыдущих абзацах. Авторы полагают, что в настоящее время назрела необходимость в создании долговременного форпоста вне привычных нам околоземных орбит. Таким форпостом может стать постоянная обитаемая лунная база. Начальным этапом непосредственного исследования лунной поверхности явился успешный запуск советской автоматической станции «Луна-9» [2]. Оценим возможность создания постоянно обитаемой лунной базы с точки зрения современных технических возможностей.

Сегодняшний этап развития космонавтики включает в себя, помимо чисто хозяйственных задач, и разработку долгосрочных космических программ [3]. В ряду этих проектов находится и проект создания стационарной лунной базы. Луна является естественной площадкой для дальнейших шагов в области освоения космического пространства, в частности, марсианских экспедиций и полетов к другим телам Солнечной системы. Большое значение имеет освоение Луны для решения целого ряда научных и прикладных задач, в том числе в плане изучения и отражения астероидной опасности [4, 5].

Ответим на основной вопрос – достаточен ли достигнутый к настоящему времени уровень земных технологий для решения задачи создания на Луне стационарной обитаемой базы? Нужны ли специальные разработки новых ракет-носителей?

Известны неудачи в создании лунной ракеты в СССР, не утихают споры о способности ракеты «Сатурн-5» доставлять необходимые грузы на Луну. Но зачем понадобилась разработка новых мощных ракет для доставки человека на ближайшую соседку Земли? Из уравнения Циолковского следует, что соотношение массы ракеты к массе полезного груза не зависит от того, будет ли космический аппарат для полета к Луне сначала выводиться на околоземную орбиту или будет стартовать на Луну непосредственно с поверхности Земли. В самом деле, если приращение ΔV скорости равно

$$\Delta V = U \ln \frac{M}{m}, \quad (1)$$

где U – скорость истечения продуктов сгорания ракетного двигателя;

M и m – начальная и конечная массы ракеты соответственно.

Из чего следует

$$\frac{M}{m} = e^{\frac{\Delta V}{U}}, \quad (2)$$

Следовательно, и при «ступенчатом» старте, когда конечное приращение скорости складывается из орбитальной скорости космического аппарата и скорости полета к Луне, т. е. $\Delta V = V_{\text{спут}} + V_{\text{лун.КА}}$ при соответствующих значениях выводимых масс $m_{\text{спут}}$ и $m_{\text{лун.КА}}$ получим

$$e^{\frac{V_{\text{спут}} + V_{\text{лун.КА}}}{U}} = \frac{M}{m_{\text{спут}}} \cdot \frac{m_{\text{спут}}}{m_{\text{лун.КА}}} = \frac{M}{m_{\text{лун.КА}}}, \quad (3)$$

С точки зрения надежности удобнее выводить космические аппараты (КА), предназначенные для полета к Луне, на околоземную орбиту частями, отдельными функциональными модулями. Впоследствии на монтажной околоземной орбите эти функциональные модули, снабженные собственными маневровыми двигателями, собирать в орбитальные блоки с собственными маршевыми двигателями. Заправка топливом как отдельных блоков, так и КА, предназначенного для полета к Луне, в целом, может быть проведена на той же монтажной орбите. Процедура заправки в космосе, так же как и стыковка отдельных блоков на околоземной орбите, к настоящему времени хорошо отработана. При этом не возникает необходимости разрабатывать и изготавливать новые гигантские ракеты-носители, аналогичные «Н-1», «Сатурн-5» или «Энергия».

Необходимо отметить, что исторически сложилась ситуация, что работы по созданию подобных сверхтяжелых ракет-носителей начались задолго до того, как была осуществлена первая автоматическая стыковка космических аппаратов (октябрь 1967 г.), что и предопределило характер и направленность «лунной гонки», развернувшейся в конце 60-х гг. прошлого века (Черток Б.Е.) [6].

В нынешних условиях, когда стыковка КА стала рутинной операцией при сборке и раз-

вертывании МКС, нет смысла строить новые ракеты-носители сверхтяжелого класса специально для создания стационарной лунной базы. Самый приблизительный расчет показывает, что для перевода КА с орбиты спутника Земли на лунную орбиту требуется четырехкратно увеличить его массу за счет дополнительной двигательной установки и горючего. Таким образом, КА с полезной массой в 20 т, находящийся на околоземной орбите, для старта к Луне должен иметь общую массу около 80 т.

Первый двадцатитонный модуль на окололунной орбите можно собрать за четыре запуска ракеты-носителя типа «Протон». На торможение и посадку на Луну уйдет приблизительно 50 % этой массы.

Следовательно, в первом, самом грубом приближении, для создания лунной станции с посадочной массой в 100 т потребуется около 40 запусков ракеты типа «Протон». Сама доставка полезного груза (материалы и оборудование) для создания лунной базы будет стоить менее 3 млрд долл. Расчет делался в приближении, что коммерческая стоимость одного старта ракеты-носителя типа «Протон» составляет около 70 млн долл. При этом следует отметить, что только разработка ракеты-носителя «Сатурн-5» обошлась в 9 млрд долл. в ценах 60-х гг. прошлого века.

Для непилотируемых космических аппаратов, где не требуется быстрая доставка грузов на Луну, дополнительный выигрыш по экономии топлива можно получить, оптимизируя траекторию полета к Луне [7]. Анализ показывает, что существуют траектории полета от Земли к Луне нового, «обходного» типа. В отличие от «традиционных» траекторий прямого полета с малым временем нахождения в пути, они используют отлет от Земли на большое расстояние, около 1,5 млн км, имеют большое время полета, порядка 100 суток и временный захват Луной КА на эллиптической орбите. Это заметно сокращает энергетику перехода на орбиту искусственного спутника Луны или для посадки на ее поверхность. Полет является полностью пассивным после ухода с околоземной орбиты.

Таким образом, первый из функциональных модулей лунной станции, массой 50–

60 т может быть установлен на лунной поверхности в течение весьма непродолжительного времени. Сборка лунного корабля на околоземной орбите в автоматическом режиме, перелет к Луне, перекомпоновка корабля–станции на окололунной орбите, спуск функционального модуля на поверхность Луны в автоматическом режиме займет не более месяца. Пилотируемый корабль, который доставит первый экипаж лунной станции, может состояться уже через 3–5 месяцев, после завершения тестовых операций на функциональном модуле. Задачей первого экипажа лунной станции, по видимому, будет подготовка модуля к длительному существованию на поверхности Луны. Подготовительные операции в первую очередь должны включать развертывание систем связи «Луна–Земля» и «Луна–орбита–Земля». Сразу же после организации устойчивого канала связи и передачи информации между лунной станцией и наземным центром управления, а скорее всего, и одновременно с этим, необходимо провести операции по развертыванию энергетической установки для обеспечения потребностей лунной базы. На первых порах в качестве такой энергетической установки может быть использована солнечная электростанция на гибких элементах. Пленочные полупроводниковые преобразователи на основе GaAs с КПД более 20 % уже прошли проверку на борту искусственных спутников Земли. Впрочем, в качестве первой энергетической установки для нужд лунной базы могут быть использованы энергетические установки на основе кислород-водородных топливных элементов [8].

По окончании выполнения этих операций первый экипаж лунной станции должен быть эвакуирован на Землю. Для выполнения последующих операций по дальнейшей эксплуатации лунной станции необходимо решить следующие вопросы.

1. Оценить необходимый грузопоток по маршруту Земля–Луна (т/г) с целью его последующей оптимизации.

2. Обеспечить необходимую теплоизоляцию функционального блока лунной базы для компенсации перепадов температур в дневное и ночное время.

3. Обеспечить надежную защиту оборудования и персонала лунной базы от воздействия ионизирующих излучений космического пространства и излучений от солнечных вспышек.

4. Рассмотреть вопрос создания оранжереи при лунной базе для перехода к частичному самообеспечению продовольствием.

5. Решить вопрос утилизации отходов деятельности базы с целью включения их в частично замкнутый кругооборот вещества и энергии.

Данные вопросы уже рассматривались в работах Легостаева В.П. и Перминова А.Н. [7, 8], но решения, предложенные этими авторами, зачастую излишне громоздки и не позволяют оптимизировать как грузопотоки по трассе Земля–Луна, так и энергопотребление собственно лунной базы. Во-первых, если исходить из опыта эксплуатации околоземных орбитальных станций («Салют», «Мир», МКС), то при непрерывной эксплуатации лунной базы необходимо обеспечить грузопоток порядка 100 т/г. При использовании существующих ракет-носителей такой грузопоток приведет к недопустимо высокой нагрузке на экологию Земли, особенно в районах, где будут размещены «лунные» космодромы. В настоящий момент такими космодромами могут стать космодром Байконур, стартовые площадки полигона Куру и космодром во Флориде. Таким образом, снижение потребного грузопотока для обеспечения потребностей лунной базы является приоритетной задачей. Именно поэтому задачи частичного самообеспечения базы продовольствием (оранжерейное хозяйство) и утилизация отходов с вовлечением последних в необходимый массооборот, помогут решить и задачу снижения грузопотока.

Что касается вопросов тепловой и радиационной защиты, то эти задачи тесно взаимосвязаны. Тепловая изолирующая подушка, по данным Легостаева В.П., должна иметь толщину не менее нескольких дециметров, что объясняется низкой теплоемкостью лунного грунта [7], но и защита от космических ионизирующих излучений персонала и оборудования лунной базы должна иметь примерно такую же мощность. При удельном весе рего-

лита примерно $3,5 \text{ г/см}^3$ и необходимом слое защиты около $0,3\text{--}0,4 \text{ кг/см}^2$ получаем толщину защитного слоя от 86 до 115 см. Таким образом, задача тепловой и радиационной защиты основных сооружений лунной базы решаются одновременно. В литературе [6,7] описан метод защиты сооружений и персонала лунной базы слоем реголита. Исходя из примерных размеров функционального модуля обитаемой лунной базы длина 10 м, диаметр – 4 м, необходимо переместить от 75 до 100 м^3 лунного грунта. Такой объем грунта переместить в некомфортных условиях весьма затруднительно (Для сравнения – в земных условиях для относительно мягкого грунта норма выработки для землекопа составляет 8 м^3 за рабочий день). Академик Легостаев В.П. с соавторами [7] предлагает использовать для целей перемещения лунного грунта сборные, доставляемые с Земли механизмы, аналогичные скреперам и экскаваторам. Следует отметить, что помимо значительного собственного веса, эти устройства потребуют собственного независимого энергообеспечения. Кроме того, по данным эксплуатации Луноходов 1 и 2 было выявлено высокое абразивное действие лунного грунта (реголита) [1]. В жестких условиях эксплуатации – перепады температур, ограниченная энерговооруженность и сильное абразивное воздействие перемещаемого грунта следует ожидать низкой эксплуатационной надежности предлагаемых механических средств. Авторы предлагают найти альтернативный способ перемещения значительных объемов реголита, обладающего значительной сыпучестью. Одним из таких способов может служить перемещение грунта посредством направленного взрыва. Как показывают предварительные расчеты, можно подобрать тип взрывчатых веществ, которые обладают низкой скоростью горения (бризантностью) и в то же время вполне применимы в условиях вакуума [9].

Вопрос о создании оранжерей на Луне, получение урожая для нужд персонала и технологических целей пока остается открытым. Развитие живых систем в условиях пониженной гравитации и низкого магнитного поля еще не изучено. Правда, уже есть первые обнадеживающие результаты. В частности,

«эффект Сураева», когда в результате незапланированного эксперимента космонавтом М. Сураевым на борту МКС был получен первый в мире урожай зерновых [10]. Таким образом, вопросы, поставленные авторами в данной работе, вполне могут быть решены даже на современной технологической базе. Ряд конкретных вопросов – освещение жилых и рабочих помещений, утилизация отходов, рекуперация воды не нашли отражения в данной работе. Эти вопросы требуют отдельного подхода и будут рассмотрены в следующий раз.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Мороз, В.И. Планетные экспедиции XX века / В.И. Мороз, В.Т. Хантресс, И.Л. Шевелев // *Космические исследования*, 2002. – Т. 40. – № 5. – С. 451–481.
2. Есаков, В.А. Аналитический обзор исследования Луны космическими аппаратами, запущенными в СССР по лунной программе / В.А. Есаков // *Технический отчет ОКР «Луна-2»*, ЦНИИМАШ-МГУЛ. – 2005. – 93 с.
3. Федеральная космическая программа РФ на 2006–2015 годы. Основные положения. Утверждена постановлением Правительства РФ от 22 октября 2005 г. – № 635. – С. 14.
4. Есаков, В.А. Обзор и анализ использования возможных источников измерительной информации по космическим объектам в работах, связанных с «космическим мусором» / В.А. Есаков // *Технический отчет ОКР «АС-ПОС ОКП»*, ЦНИИМАШ-МГУЛ. – 2006. – 36 с.
5. Бурков, В.Д. Проблема противодействия астероидной опасности космическими средствами / В.Д. Бурков, В.А. Есаков, Г.Э. Куфаль, Ю.С. Капранов, С.В. Перминов, Н.А. Харитонов // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2011. – № 5(81). – С. 157–169.
6. Черток Б.Е. Ракеты и люди: О работе над пилотируемой лунной программой: Воспоминания. Т.4. / Б.Е. Черток. – М.: Машиностроение. 2002. – 569 с.
7. Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы: под ред. В.П. Легостаева, В.А. Лопоты. – М.: РКК «Энергия». 2011. – 584 с.
8. Перминов, А.Н. Перспективы освоения Луны / А.Н. Перминов, Н.Ф. Моисеев, Н.Н. Севастьянов и др. // *Изв. РАН. Энергетика*, 2006. – № 1. – С. 3–14.
9. Эпов, Б.А. Основы взрывного дела / Б.А. Эпов. – М.: Воениздат, 1974. – 224 с.
10. Бурлаков, А.Б. Механизм взаимодействия биологических объектов / А.Б. Бурлаков, Ю.С. Капранов, Г.Э. Куфаль, С.В. Перминов // *Электромагнитные волны и электронные системы*, 2010. – Т. 15. – № 11. – С. 44–53.

POSSIBILITY CREATION OF CONSTANTLY OPERATION THE MOON BASE

Burkov V.D., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Vasiliev V.P.**, Prof. SPC CPR, Dr. Sci. (Tech.); **Esakov V.A.**, Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.); **Perminov S.V.**, MSFU, Ph.D. (Tech.); **Schukin D.G.**, MSFU; **Kapranov J.S.**, SPC SPP; **Kufal G.E.**, SPC CSE, Ph.D. (Tech.); **Burlakov A.B.**, Prof. MSU, Dr. Sci. (biol.)

burkov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia, Research and Production Corporation» Precision Instrumentation Systems, Russia, Moscow, Aviamotornaja 53, Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

The paper considers the potential of creating a permanent lunar base in terms of the state of the domestic space industry. It contains an assessment of the technical and technological resources for the implementation of such a project. It is noted that, as a first approximation, it will take about 40 launches of «Proton» launch vehicle to create a lunar station with the landing mass of 100 tons. The delivery of payload, materials and equipment for building a lunar base would cost about 3 billion \$. To reduce the energetics of the jump to the lunar orbit it is suggested to use the new «bypass» type flight path from the Earth to the Moon. It will not take more than a month to assemble the lunar craft in the Earth orbit in the automatic mode, reach the Moon, transform ship-station in the lunar orbit and perform the descent of the function module to the lunar surface. At the same time, the paper pays great attention to the priority issues exchangeable crews will have to face on manned lunar station: providing the necessary thermal insulation of lunar base function block to compensate the changes in temperature during the day and night; reliable protection of a lunar base equipment and personnel from the effects of ionizing radiation from space and solar flares radiation. In the long term, the establishment of a stationary lunar base is the starting point for further exploration of outer space, in particular, the Mars mission and missions to other planets of the solar system. The mastering of the moon has a great importance for a wide range of scientific and applied tasks, including those in terms of study and reflection of the asteroid hazard.

Keywords: Space systems, the Moon, the space flights.

References

1. Moroz V.I., Huntress V.T., Shevelev I.L. *Planetnye ekspeditsii XX veka* [Planetary expeditions of the XX century]. *Space Research*, 2002, vol. 40, № 5, p. 451–481.
2. Esakov V.A. *Analiticheskiy obzor issledovaniya Luny kosmicheskimi apparatami, zapushchennymi v SSSR po Lunnoi programme* [Analytical review of lunar exploration spacecraft, launched in the Soviet Lunar program]. *Technical report OCD «Luna 2»*, TSNIIMASH-at MSFU, 2005, pp. 93.
3. *Federal'naya kosmicheskaya programma RF na 2006–2015 gody. Osnovnye polozeniya. Utverzhdena postanovleniem Pravitel'stva RF ot 22 oktyabrya 2005 g.* [Federal Space Program of the Russian Federation in 2006–2015. Basics. Approved by the Government of the Russian Federation on October 22, 2005]. № 635. pp. 14.

4. Esakov V.A. *Obzor i analiz ispol'zovaniya vozmozhnykh istochnikov izmeritel'noi informatsii po kosmicheskim ob'ektam v rabotakh, svyazannykh s «kosmicheskim musorom»* [Overview and analysis of the use of possible sources of measurement data on space objects in the work connected with «space debris»]. Technical report OCD «ASPAS GST», TSNIIMASH-at MSFU, 2006, page 37.
5. Burkov V.D., Esakov V.A., Kufal G.E., Kapranov Y.S., Perminov S.V., Kharitonov N.A. *Problema protivodeistviya asteroidnoi opasnosti kosmicheskimi sredstvami* [Problem of counteraction to Asteroid Threat by using space resources]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011, № 5 (81), p. 157–169.
6. Chertok B.E. *Rakety i lyudi: O rabote nad pilotiruemoi lunnoi programmoi: Vospominaniya*. [Rockets and People: about the work on the manned lunar program: Memories] v.4. M.: Mechanical engineering, 2002. 569 p.
7. *Luna – shag k tekhnologiyam osvoeniya Solnechnoi sistemy* [Moon – a step towards the technologies of mastering the Solar System]. Moscow: RSC Energia. 2011. 584 p.
8. Perminov A.N., Moiseev N.F., N.N. Sevastyanov and others *Perspektivy osvoeniya Luny* [Prospects of development of the Moon]. Math. RAS. Energy. 2006. № 1. pp. 3–14.
9. Epov B.A. *Osnovy vzryvnogo dela* [Fundamentals of explosives]. Moscow: Military Publishing, 1974, 224 p.
10. Boatmen A.B., Kapranov Y.S., Kufal G.E., Perminov S.V. *Mekhanizm vzaimodeistviya biologicheskikh ob'ektov* [The mechanism of interaction of biological objects]. Electromagnetic waves and electronic systems, 2010, vol. 15, № 11. pp. 44–53.

ПЛАВУЧЕСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ ИЗ МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРОВ СО ЩЕПОЙ

С.П. КАРПАЧЕВ, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,
Е.Н. ЩЕРБАКОВ, доц. каф. древесиноведения МГУЛ, канд. техн. наук,
Д.В. ШМЫРЕВ, асп. каф. транспорта леса МГУЛ

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Рассматриваются вопросы плавучести транспортных единиц конструкции МГУЛ, сформированных из мягких контейнеров со щепой. Применение мягких контейнеров имеет целый ряд преимуществ: повышение производительности оборудования, улучшенная логистика, возможность применения водного транспорта и др. Эффективность транспортировки контейнеров по воде сплавом определяется их судоводными характеристиками, в частности плавучестью. Рассмотрена плавучесть водонепроницаемого и водопроницаемого контейнера со щепой. Контейнер имеет форму вертикального цилиндра, в основании которого лежит круг. Рассмотрены математические модели нахождения контейнера со щепой с водонепроницаемой и водопроницаемой оболочкой. Установлены зависимости относительной осадки водонепроницаемого контейнера от относительной плотности щепы для разных значений коэффициента полноресурсности щепы. Сложность определения плотности щепы в водопроницаемом контейнере аналитически заключается в том, что не вся щепка одновременно находится в воде. Контейнер погружается в воду постепенно по мере намочения щепы. При этом изменение плотности древесины щепы в контейнере по его высоте будет происходить неравномерно. С учетом сложности процесса в работе расчет изменения плотности древесины щепы в контейнере решено было проводить численными методами. Для решения задачи изменения во времени осадки водопроницаемого контейнера и плотности древесины щепы способом численного моделирования был разработан алгоритм, реализованный в программной среде Delphi 7. Численное моделирование позволило установить характер изменения плотности древесины щепы при нахождении контейнера на воде. Установлено, что средняя плотность древесины щепы при естественном плавании водопроницаемого контейнера будет увеличиваться медленней, чем расчетная, полученная по аналитическим формулам. Изменения средней плотности щепы в водопроницаемом контейнере, которое было получено в результате численного моделирования, и расчетное значение имеют одинаковый характер изменения.

Ключевые слова: лесосечные отходы, плавучесть, мягкие контейнеры.

В настоящей статье рассматриваются вопросы плавучести транспортных единиц конструкции МГУЛ [10], сформированных из мягких контейнеров со щепой. Некоторые подобные транспортные единицы уже рассматривались ранее [1–9]. В статье транспортную единицу будем называть контейнером.

Применение мягких контейнеров имеет целый ряд преимуществ: повышение про-

изводительности оборудования, улучшенная логистика, возможность применения водного транспорта и др.

Эффективность транспортировки контейнеров по воде сплавом определяется их судоводными характеристиками, в частности плавучестью.

Рассмотрим плавучесть водонепроницаемого и водопроницаемого контейнера со щепой.

Пусть контейнер имеет форму вертикального цилиндра, в основании которого лежит круг. Общий вид контейнера со щепой на воде представлен на рис. 1. Весом оболочки контейнера будем пренебрегать.

Условие равновесия герметичного контейнера со щепой

$$G_{\kappa} = P_{\kappa}, \quad (1)$$

где G_{κ} – сила веса контейнера со щепой, Н;

P_{κ} – сила поддержания, Н.

Эти силы равны

$$G_{\kappa} = \rho_{щ} g V_{\kappa} k_{щ} = \rho_{щ} g \times (\pi d_{\kappa}^2) / 4 \times h_{\kappa} k_{щ}, \quad (2)$$

$$P_{\kappa} = \rho_{\text{в}} g V_{\kappa \text{ погр}} = \rho_{\text{в}} g \times (\pi d_{\kappa}^2) / 4 \times T_{\kappa}, \quad (3)$$

где $\rho_{щ}$ – плотность древесины щепы, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

V_{κ} – объем контейнера, м³;

$k_{щ}$ – коэффициент полндревесности щепы;

h_{κ} – высота контейнера, м;

d_{κ} – диаметр контейнера, м;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³;

$V_{\kappa \text{ погр}}$ – объем погруженной части контейнера, м³;

T_{κ} – осадка контейнера, м.

Подставляя в (1) значения (2) и (3), получим в безразмерном виде

$$T_{\kappa} / h_{\kappa} = (\rho_{щ} / \rho_{\text{в}}) k_{щ} \Leftrightarrow T_{\text{отн.к}} = \rho_{\text{отн.щ}} k_{щ}. \quad (4)$$

Для наглядности уравнение (4) представим в виде кривых изменения относительной осадки контейнера от относительной плотности щепы для разных значений коэффициента полндревесности щепы (рис. 2).

Эти зависимости представляют собой прямые линии. Значения относительной осадки, при относительной плотности щепы равной единице, численно равны коэффициенту полндревесности щепы в контейнере.

Оценка плавучести контейнера значительно усложняется, если оболочка контейнера водонепроницаема. В этом случае необходимо учитывать изменение плотности щепы вследствие контакта с водой. Причем, процесс водопоглощения щепы во времени нестационарный.

В этом случае условие равновесия контейнера, с учетом изменения веса водонепроницаемого контейнера со щепой во времени

$$G_{\kappa}(t) = P_{\kappa}(t), \quad (5)$$

где t – время нахождения контейнера в воде, с.

Эти силы будут равны

$$G_{\kappa}(t) = \rho_{щ}(t) g \times (\pi d_{\kappa}^2) / 4 \times h_{\kappa} k_{щ}(t) \quad (6)$$

$$P_{\kappa}(t) = \rho_{\text{в}} g \times (\pi d_{\kappa}^2) / 4 \times T_{\kappa}(t) k_{щ}(t). \quad (7)$$

С учетом (6) и (7) запишем (5) в виде

$$\rho_{\text{отн.щ}}(t) = T_{\text{отн.к}}(t), \quad (8)$$

где $\rho_{щ}(t) / \rho_{\text{в}} = \rho_{\text{отн.щ}}(t)$ – относительная текущая плотность щепы;

$T_{\kappa}(t) / h_{\kappa} = T_{\text{отн.к}}(t)$ – относительная текущая осадка контейнера.

Из соотношения (8) следует, что увеличение плотности щепы приводит к соответствующему увеличению осадки контейнера. За время Δt нахождения водонепроницаемого контейнера в воде происходит увеличение его относительной осадки на величину $\Delta_{\text{отн}}$ вследствие приращения относительной плотности древесины щепы $\Delta \rho_{\text{отн.щ}}$ за то же время.

Для определения относительной плотности щепы можно воспользоваться уравнением водопоглощения щепы, полученным в форме известного уравнения Патякина В.И. [11]

$$\rho_{щ} = \rho_{\text{пр}} - (\rho_{\text{пр}} - \rho_{\text{н}}) e^{-2\zeta \sqrt{t}}, \quad (9)$$

где $\rho_{\text{пр}}$ – предельная плотность древесины щепы;

$\rho_{\text{н}}$ – начальная плотность древесины щепы;

ζ – коэффициент водопоглощения древесины щепы.

Сложность определения плотности щепы в контейнере по формуле (9) в том, что не вся щепка одновременно находится в воде. Контейнер погружается в воду постепенно, по мере намокания щепы. При этом изменение плотности древесины щепы по высоте будет происходить неравномерно.

С учетом сложности процесса в работе расчет изменения плотности древесины щепы в контейнере проводили численными

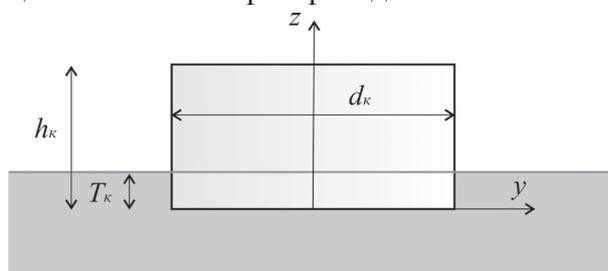


Рис. 1. Общий вид мягкого контейнера со щепой на воде

Fig. 1. General view of the soft container with chips on the water

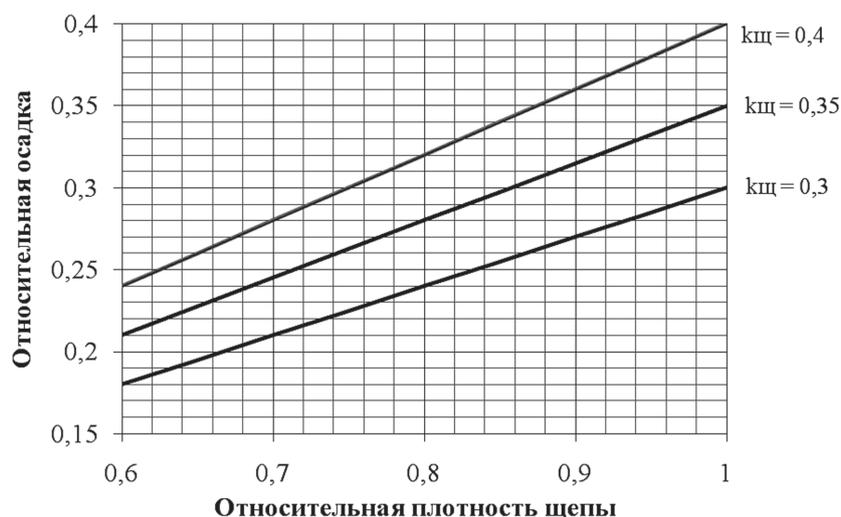


Рис. 2. Изменение относительной осадки контейнера от относительной плотности щепы для разных значений коэффициента полндревесности щепы $k_{щ}$

Fig. 2. Changes in precipitation container on the relative density of chips for different values of the coefficient wood full chips $k_{щ}$

методами. Расчетная схема представлена на рис. 3.

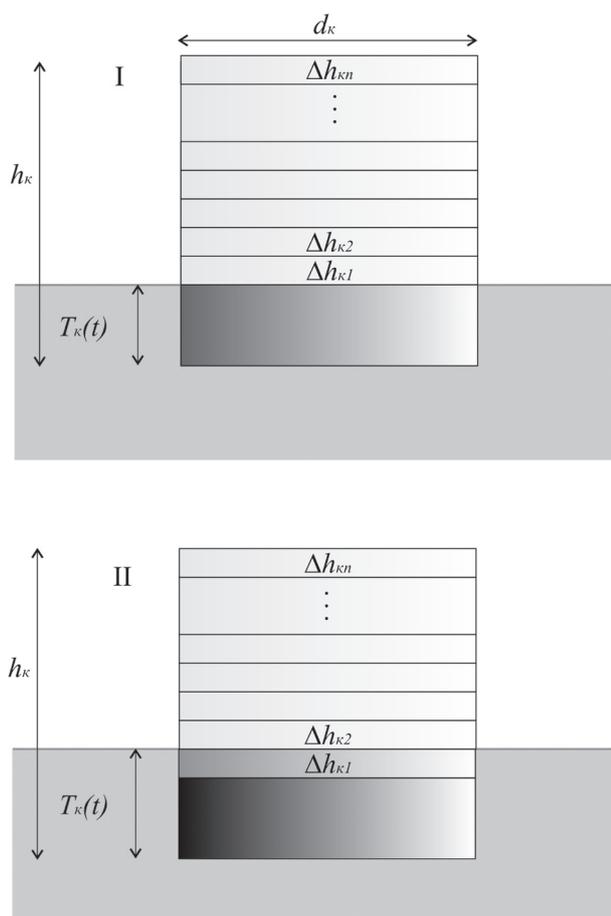


Рис. 3. Схема к расчету плавучести водопроницаемого контейнера

Fig. 3. Scheme of the calculation of buoyancy permeable container

В основу численного подхода положена замена непрерывного погружения контейнера в воду вследствие постепенного изменения плотности древесины щепы на дискретное погружение контейнера слоями Δh за время Δt .

В начальный момент нахождения контейнера в воде плотность древесины щепы $\rho_{н}$ будет одинаковой по всему объему. Осадка контейнера $T_{к}$ может быть определена по формуле

$$T_{к} = (\rho_{щ} / \rho_{в}) h_{к}. \quad (10)$$

В воде слой щепы в пределах осадки будет интенсивно впитывать воду. Плотность древесины через промежуток времени Δt приведет к увеличению плотности древесины щепы на величину $\Delta \rho_{щ}$. Это, в свою очередь, приведет к изменению осадки контейнера на величину $\Delta h_{к1}$. Далее процесс водопоглощения будет продолжаться в слое первоначальной осадки и начнется в новом погруженном слое. Причем, интенсивность водопоглощения в каждом из этих слоев будет разной. Через некоторое время плотность погруженной древесины щепы увеличится и контейнер дополнительно опустится на величину Δ_2 . Так будет продолжаться до тех пор, пока контейнер полностью не погрузится в воду.

Для решения задачи изменения во времени осадки контейнера и плотности дре-

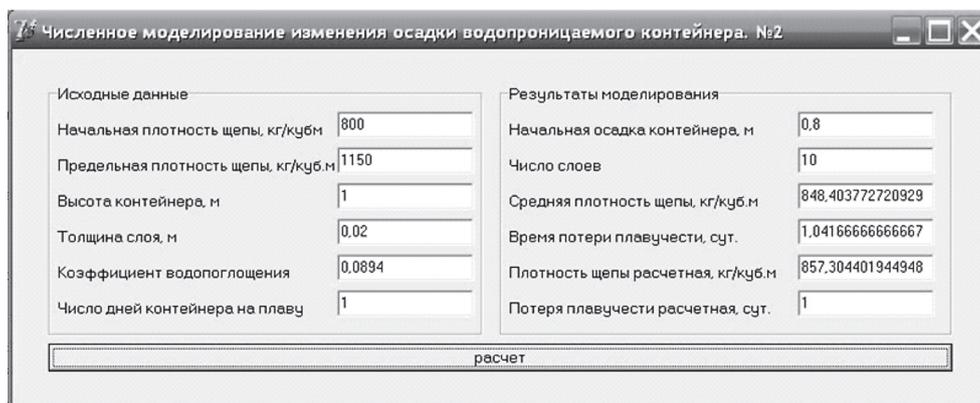


Рис. 4. Интерфейс программы численного моделирования изменения плотности щепы в водопроницаемом контейнере

Fig. 4. The program interface is numerical modeling changes in the density of chips in permeable container

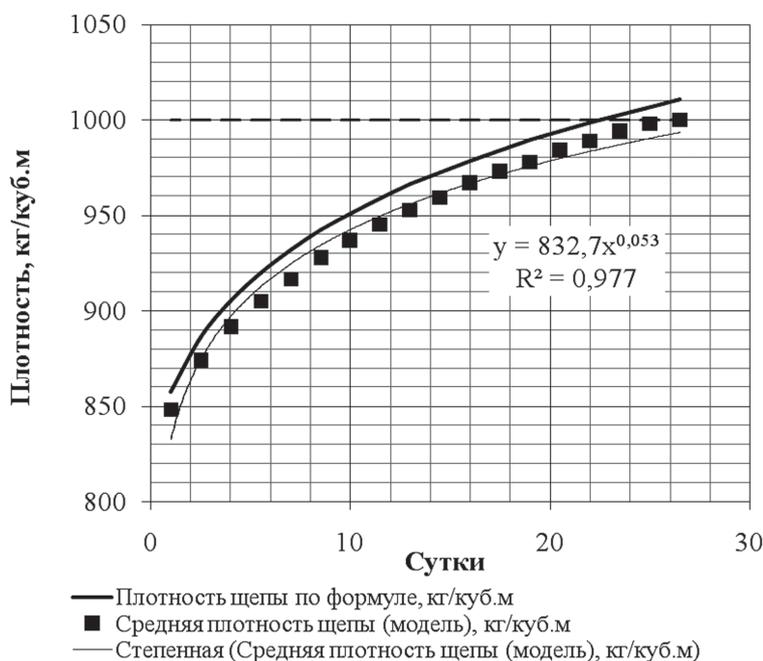


Рис. 5. Зависимости изменения плотности древесины щепы от времени, полученные по формуле и по результатам численного моделирования

Fig. 5. The dependence of the density of wood chips from the time obtained by the formula and the results of numerical simulation

веса щепы описанным выше способом численного моделирования был разработан алгоритм, реализованный в программной среде Delphi 7. Интерфейс программ представлен на рис. 4.

Численное моделирование позволило установить характер изменения плотности древесины щепы при нахождении контейнера на воде. На рис. 5 представлены кривые изменения плотности древесины щепы от времени, полученные по формуле и по результатам численного моделирования. Для сравнения на этот же график поместим кривую изменения

плотности древесины щепы, полученную по формуле (9). Исходные данные для представленного графика:

- начальная плотность древесины щепы – $\rho_{\text{щп}} = 800 \text{ кг/м}^3$,
- фракция щепы – 10–20 мм.

Отметим, что программы численного моделирования позволяют использовать любые значения исходных данных.

Как видно из графика, средняя плотность древесины щепы при естественном плавании контейнера будет увеличиваться медленней, чем расчетная.

Интересно отметить одинаковый характер изменения средней плотности щепы в контейнере, которое было получено в результате численного моделирования, и расчетное значение.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, И.Д. Грачев // Лесопромышленник, 2009. – № 49. – С. 23.
2. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Комяков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, № 4 (73). – 2010. – С. 107–111.
3. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Г.Е. Приоров // Лесопромышленник, февраль–март, 2009. – № 1 (49).
4. Карпачев, С.П. Производство дров для жилищно-коммунального хозяйства лесных поселков и городов / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Г.Е. Приоров // Лесопромышленник, апрель–июнь, 2010, № 2 (54).
5. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из леса для биоэнергетики / С.П. Карпачев // Ученые записки РГСУ. Экологическая безопасность и природопользование. № 5 – 2009г., с. 130–138.
6. Карпачев, С.П. Моделирование логистических систем лесных материалопотоков / С.П. Карпачев, В.В. Лозовецкий, Е.Н. Щербаков // Транспорт: наука, техника, управление. / Научный информационный сборник. РАН ВИНТИ – 2011. – № 8. – С. 16–20.
7. Комяков, А.Н. Применение большегрузных плавучих контейнеров для нужд биоэнергетики / А.Н. Комяков, С.П. Карпачев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010, № 4 (73). – С. 104–107.
8. Карпачев, С.П. Моделирование технологических процессов освоения древесины на ложе водохранилищ / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Е.В. Солдатова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013, № 1. – С. 56–61.
9. Карпачев, С.П. Транспортная единица для лесосплава / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков и др. – Патент № 2013147054/11(073109) от 31.03.2014.
10. Карпачев, С.П. Транспорт технологической щепы по воде в мягких контейнерах: дисс. ... канд. техн. наук / С.П. Карпачев. – М., 1985. – С. 17.

BUOYANCY OF TRANSPORT UNITS FROM FLEXIBLE CONTAINERS WITH CHIPS

Karpachev S.P., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); Sherbakov E.N., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); Shmyrev D.V., gr. MSFU

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischy, Moscow reg., Russia

The article considers the issues of buoyancy transport units designed at MSFU formed from flexible containers with chips. The use of flexible containers has a number of advantages: improved performance, improved logistics, the application of water transport etc. The efficiency of container transport by water rafting is determined by their shipping characteristics, in particular, buoyancy. The article discusses the buoyancy of a waterproof and water-permeable container with wood chips. The container has the shape of a vertical cylinder with a circle in the basement. This paper presents a mathematical model of the location of the container with chips in the waterproof and permeable environment. The dependence of the relative precipitation of a waterproof container on the relative density of wood chips for different values of the coefficient of chips completeness. The complexity of determining the density of the chips in the waterproof container is analytically in the fact that not all chips are in the water at the same time. The container is immersed in the water gradually wetting the chips. Thus the density of the wood chips in the container will change unevenly. Given the complexity of the process, the calculation of the changes in the density of the wood chips in the container was to be calculated by numerical methods. For solving the problem of the changes in the time of precipitation of a waterproof container and density of the wood chips by way of numerical simulation, an algorithm has been developed. This algorithm was implemented in the programming environment Delphi 7. The numerical simulation has allowed to establish the nature of changes in the density of the wood chips when the container is on the water. It has been established that the average density of wood chips with a natural swimming of a waterproof container will increase more slowly than estimated by analytical formulas. The changes in the average density of the wood chips in a waterproof container, which was obtained in the numerical simulation, and the calculated value have the same nature of change.

Keywords: wood chips, buoyancy, flexible containers

References

1. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Grachev I.D. *Nekotorye voprosy tekhnologii osvoeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some of the issues of technology development of bio-resources of forests for bioenergy]. Lesopromyshlennik. 2009. No. 49. p.23.
2. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Komyakov A.N. *Nekotorye voprosy osvoeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some questions the OS is properly absorbed biological resources from the forest for bioenergy]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, No. 4 (73). 2010. pp. 107–111.
3. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Priorov G.E. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syr'ya v Rossii* [Problems of development of bio-energy from wood raw materials in Russia]. Lesopromyshlennik, February–March 1 (49). 2009.
4. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Priorov G.E. *Proizvodstvo drov dlya zhilishchno–kommunal'nogo khozyaistva lesnykh poselkov i gorodov* [The production of wood for housing and utilities of forest villages and towns]. Lesopromyshlennik, April–June 2 (54). 2010.

5. Karpatchev S.P. *Nekotorye voprosy tekhnologii osvoeniya i vodnogo transporta bioresursov iz lesa dlya bioenergetiki* [Some issues of technology development and water transport of biological resources from forests for bioenergy]. Moscow: Scientific notes RGSU. Environmental security and environmental management. № 5. 2009. pp. 130-138.
6. Karpatchev S.P., Lozovatsky V.V., Scherbakov E.N. *Modelirovanie logisticheskikh sistem lesnykh materialopotovok* [Modeling the log-socialist systems of forest material flow. M //Transport: science, technology, management] Scientific information collection. VINITI RAS – 2011, No. 8, pp. 16-20.
7. Komyakov A.N., Karpatchev S.P. *Primenenie bol'shegruznykh plavuchikh konteinerov dlya nuzhd bioenergetiki* [The Use of heavy floating containers for bioenergy] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, No. 4 (73), 2010. pp. 104-107.
8. Karpatchev S.P., Scherbakov E.N., Soldatova E.V. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov osvoeniya drevesiny na lozhe vodokhranilishch* [Modeling of techno-logical development of wood on the bed of the reservoir] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, No. 1. 2013. pp. 56-61.
9. Karpatchev S.P., Scherbakov E.N. and others. *Transportnaya edinita dlya lesosplava* [Transport unit for rafting]. Patent No. 143038 from 09.06.2014
10. Karpatchev S.P. *Transport tekhnologicheskoi shchepy po vode v myagkikh konteinerakh* [Transport of wood chips on the water in soft containers]. The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences. Specialty 05.21.01 Technology and machine harvesting and forestry. Moscow, 1985. pp. 17.

ПЕРЕХОДНЫЙ РЕЖИМ ПРИ ПОВОРОТЕ КОЛЕСНОЙ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В.А. МАКУЕВ, проф. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, член-кор. РАЕН, д-р техн. наук,
 В.Е. КЛУБНИЧКИН, доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук,
 Е.Е. КЛУБНИЧКИН, доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук,
 А.В. ШНЯКОВ, старший преподаватель каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ

makuev@mgul.ac.ru, vklubnichkin@mgul.ac.ru, klubnichkin@mgul.ac.ru, shnyakov@mgul.ac.ru
 ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
 141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Рассмотрены процессы, происходящие при повороте шарнирно-сочлененной колесной лесозаготовительной машины. При включенных обоих мостах происходит закручивание трансмиссии между раздаточной коробкой и ведущими колесами. В процессе входа в поворот нагружаются колеса переднего моста, а заднего – разгружаются. При выходе из поворота наблюдается обратное явление. При дальнейшем движении колесной лесозаготовительной машины происходит рассеивание (перераспределение) ранее возникших упругих сил. Возникает вопрос, какой путь должна пройти колесная лесозаготовительная машина после входа в поворот или после выхода из поворота, чтобы силы, вызванные подкатыванием модулей, пришли в соответствие с кинематикой поворота. Были проведены экспериментальные исследования на колесной лесозаготовительной машине третьего класса тяги, в ходе которых были получены расчетные значения изменения постоянной S_0 в зависимости от давления воздуха в шинах. Анализ данных показывает, что экспериментальные исследования подтверждают теоретические положения. С увеличением давления воздуха в шинах от 91,8 кН/м² до 196,2 кН/м² постоянная S_0 уменьшается от 0,551 м до 0,314 м и путь, соответствующий 95 % перераспределения моментов, уменьшается с 1,65 м до 0,94 м. С повышением податливости приводов ведущих колес путь переходного режима увеличивается. Основное перераспределение моментов на колесной лесозаготовительной машине происходит на пути 1–1,5 м.

Ключевые слова: лесозаготовительная машина, движение, ходовая система, грунт, опорная поверхность, поворот, колесо, шарнир, рама, модуль, трансмиссия

При повороте шарнирно-сочлененной колесной лесозаготовительной машины происходит подкатывание модулей навстречу друг другу [1, 2, 7]. При включенных обоих мостах будет происходить закручивание трансмиссии между раздаточной коробкой и ведущими колесами [9, 10]. В процессе входа в поворот нагружаются колеса переднего моста, а заднего – разгружаются. При выходе из поворота наблюдается обратное явление. При дальнейшем движении колесной лесозаготовительной машины происходит рассеивание (перераспределение) ранее возникших

упругих сил. Возникает вопрос, какой путь должна пройти колесная лесозаготовительная машина после входа в поворот или после выхода из поворота, чтобы силы, вызванные подкатыванием модулей, пришли в соответствие с кинематикой поворота.

При наличии межколесных конических дифференциалов мостов (трением в дифференциалах пренебрегаем) для анализа относительного движения мостов целесообразно пользоваться приведенными коэффициентами пропорциональности тангенциальных сил и радиусами качения колес мостов [3]. При этом ка-

сательные силы P_k , вызванные подкатыванием модулей в процессе неустановившегося поворота, будут приложены на приведенных колесах, расположенных по центру мостов и направленных по линии, соединяющей эти центры. Из условия тягового баланса они равны по величине и противоположны по направлению. Силы P_k можно разложить на две составляющие: по вертикальной поперечной плоскости симметрии мостов модулей P_{ky} и по вертикальной продольной плоскости симметрии модуля $P_{кx}$. Силы P_{ky} будут вызывать боковой увод колес мостов, а силы $P_{кx}$ – закручивание трансмиссии. Значения этих сил на приведенных колесах переднего и заднего мостов соответственно равны

$$P_{кx1} = P_k \cos \theta_1; P_{кx2} = P_k \cos \theta_2.$$

где θ_1 и θ_2 – углы между вертикальными плоскостями симметрии переднего и заднего модулей и линией, соединяющей центры мостов, значения которых зависят от положения вертикального шарнира рамы и угла θ поворота колесной лесозаготовительной машины.

При l_1/l_2 равным 1,35–0,75 (l_1 и l_2 – длины соответственно переднего и заднего модулей от оси вертикального шарнира рамы до центров мостов) и θ равным 0–45° $\cos \theta_1$ будет отличаться от $\cos \theta_2$ не более чем на 2–5%. На существующих колесных лесозаготовительных машинах они отличаются не более 1–2%. Поэтому с достаточной точностью можно принять $P_{кx1} = P_{кx2}$.

Приведенные радиусы качения переднего и заднего мостов в процессе переходного режима равны

$$R_{п1} = R_{к1} - \lambda_1 \cdot P_{кx}; R_{п2} = R_{к2} + \lambda_2 \cdot P_{кx},$$

где $R_{к1}$ и $R_{к2}$ – приведенные радиусы качения колес мостов в конце переходного режима,

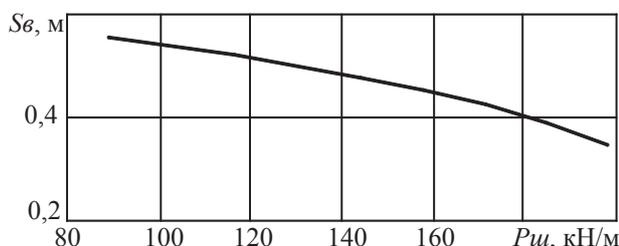


Рис. 1. Изменение постоянной S_0 в зависимости от давления воздуха в шинах

Fig. 1. Changing constant S_0 depending on the air pressure in the tires

$P_{кx}$ – текущие силы на приведенных колесах мостов в процессе переходного режима, которые должны перераспределяться.

Пусть при движении лесозаготовительной машины в переходном режиме центр переходного моста проходит путь dS_1 , заднего – dS_2 . При этом углы поворота приведенных колес мостов находятся из равенств

$$d\varphi_1 = \frac{dS_1}{R_{к1} - \lambda_1 \cdot P_{кx}}; d\varphi_2 = \frac{dS_2}{R_{к2} + \lambda_2 \cdot P_{кx}}. \quad (1)$$

Разность их составит угол закручивания трансмиссии.

Угол закручивания трансмиссии можно определить также через касательные силы на колесах и податливость приводов

$$c_1 r_{d1} dP_{кx} + c_2 r_{d2} dP_{кx} = d\varphi_2 - d\varphi_1, \quad (2)$$

где c_1 и c_2 – податливость переднего и заднего привода от раздаточной коробки до приведенных ведущих колес, включая шины;

r_{d1} и r_{d2} – средние динамические радиусы колес переднего и заднего мостов.

Решая совместно уравнения (1) и (2), получаем

$$(c_1 \cdot r_{d1} + c_2 \cdot r_{d2}) dP_{кx} = \frac{dS_1}{R_{к2} + \lambda_2 \cdot P_{кx}} - \frac{dS_2}{R_{к1} + \lambda_1 \cdot P_{кx}}. \quad (3)$$

При повороте колесной лесозаготовительной машины на угол $\theta = \text{const}$ $dS_2 = dS_1 \cdot R_2/R_1$ где R_1 и R_2 – радиусы поворотов центров мостов колесной лесозаготовительной машины. После преобразования уравнения (3) получим

$$(c_1 \cdot r_{d1} + c_2 \cdot r_{d2}) \times \frac{[R_{к1} \cdot R_{к2} + P_{кx} \cdot (R_{к1} \cdot \lambda_2 - R_{к2} \cdot \lambda_1) - P_{кx}^2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2] \cdot dP_{кx}}{(R_{к1} \cdot \frac{R_2}{R_1} - R_{к2}) - (\lambda_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} + \lambda_2) \cdot P_{кx}} = dS_1. \quad (4)$$

Уравнение (4) решается, однако его можно упростить. В числителе значение $P_{кx} (R_{к1} \lambda_2 - R_{к2} \lambda_1) - P_{кx}^2 \lambda_1 \lambda_2$ составляет не более 5–6% от $R_{к1} R_{к2}$. В знаменателе $R_{к1} R_2 / R_1 - R_{к2} = 0$, поскольку $R_{к1} R_2 / R_1$ представляет собой радиус качения приведенного колеса переднего моста, приведенный к радиусу поворота заднего моста. Учитывая изложенное, при решении уравнения (4) получим

$$\frac{(c_1 \cdot r_{d1} + c_2 \cdot r_{d2}) \cdot R_{к1} \cdot R_{к2}}{\lambda_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} + \lambda_2} \cdot \ln P_{кx} + C = S_1$$

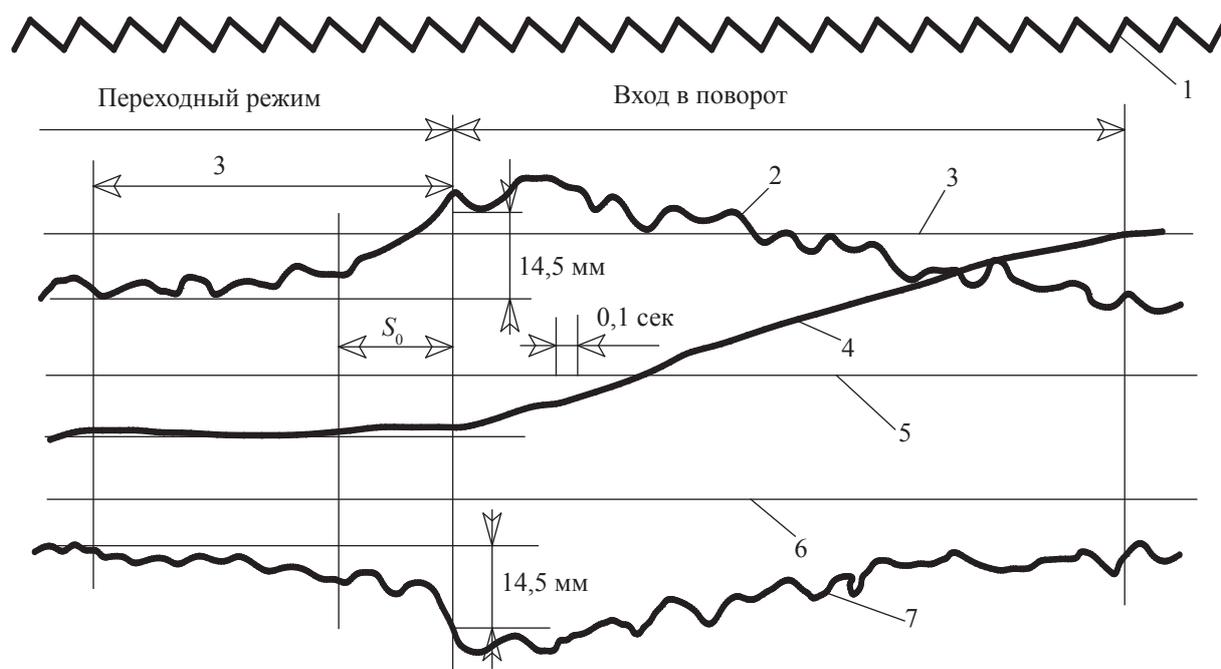


Рис. 2. Осциллограмма переходного режима колесной лесозаготовительной машины третьего класса тяги. 1 – отметки оборотов пятого колеса; 2 и 7 – моменты на карданах соответственно переднего и заднего мостов; 3, 5 и 6 – нулевые линии соответственно угла поворота колесной лесозаготовительной машины, моментов на карданах переднего и заднего мостов; 4 – угол поворота колесной лесозаготовительной машины $S_0 = 0,465$ м

Fig. 2. The waveform transient wheeled harvester third-class traction. 1 rpm mark the fifth wheel; 2 and 7 - moments on the universal joints, respectively, front and rear axles; 3, 5 and 6 - the zero line, respectively, the angle of rotation of the wheel harvester, moments on cardan front and rear axles; 4 - the angle of rotation of the wheel harvester $S_0 = 0,465$ m

При $S_1 = 0$ $P_{кx} = P_{кxmax}$, откуда

$$S_1 = \frac{(c_1 \cdot r_{d1} + c_2 \cdot r_{d2}) \cdot R_{к1} \cdot R_{к2}}{\lambda_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} + \lambda_2} \cdot \ln \frac{P_{кx}}{P_{кxmax}} \quad (5)$$

Учитывая, что динамические радиусы колес в зависимости от касательных сил изменяются незначительно, а податливости шин и их коэффициенты пропорциональности тангенциальных сил до 0,6 – 0,7 максимальных сил по сцеплению практически постоянны [4, 5, 6, 8], выражение, стоящее перед логарифмом уравнения (5), можно принять за постоянную величину. Путь переходного режима после входа колесной лесозаготовительной машины из поворота равен бесконечности.

Исследуем, как будут перераспределяться силы $P_{кx}$ в процессе переходного режима. Для этого обозначим выражение, стоящее перед логарифмом уравнения (5), через S_0 и запишем его в виде

$$P_{кx} = P_{кxmax} e^{-\frac{S_1}{S_0}} \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что характер перераспределения сил $P_{кx}$ будет определять-

ся постоянной S_0 . При $S_1/S_0 = 1,5$ перераспределение будет равно 78%, и при $S_1/S_0 = 3$ оно достигнет 95%. И только 5% будет перераспределяться изменением S_1/S_0 от 3 до бесконечности.

Экспериментальные исследования были проведены на колесной лесозаготовительной машине третьего класса тяги. На рис. 1 приведены расчетные значения S_0 для этой колесной лесозаготовительной машины, укомплектованной шинами 18,4/15-24 мод. Я-252 Б в зависимости от давления воздуха p в них. Данные для расчетов получены в результате проведенного эксперимента. На рис. 2 приведена одна из осциллограмм переходного режима после входа в поворот колесной лесозаготовительной машины на сухой грунтовой поверхности при давлении воздуха в шинах передних колес – 196,2 кН/м², задних – 91,8 кН/м². При этом передний мост работает в ведущем режиме, задний – в тормозном. К концу входа в поворот колесной лесозаготовительной машины крутящие моменты на карданах (должны рассеяться при $\theta = const$), вызванные подкаты-

ванием модулей, переднего моста составляют – 142 мм, заднего – 145 мм.

Анализ показывает, что экспериментальные исследования подтверждают теоретические положения. С увеличением давления воздуха в шинах от 91,8 кН/м² до 196,2 кН/м² постоянная S_0 уменьшается от 0,551 м до 0,314 м и путь, соответствующий 95% перераспределения моментов, уменьшается с 1,65 м до 0,94 м. При этом податливость колес уменьшается, а коэффициенты пропорциональности тангенциальных сил их растут. С увеличением податливости приводов ведущих колес путь переходного режима увеличивается. Основное перераспределение моментов на колесной лесозаготовительной машине происходит на пути 1–1,5 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. 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.
2. 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.
3. Егоров, Л.И. Колеса и шины лесотранспортных машин [учебно-методическое пособие для бакалавров] / Л.И. Егоров, В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин. – М.: МГУЛ, 2013. – 36 с.
4. Клубничкин, В.Е. Оценка влияния внешних условий на лесозаготовительные машины / В.Е. Клубничкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – №6. – С. 119 – 123.
5. Котиков, В.М. К вопросу о методике исследования нагрузки гусеничных цепей колесных машин с тандемными тележками / В.М. Котиков, Е.Е. Клубничкин // Естественные и технические науки. № 3. 2010. С. 321 – 326.
6. Клубничкин, В.Е. Общая методика исследования проходимости колесных машин с тандемными тележками, оснащёнными гусеничными цепями / В.Е. Клубничкин, В.М. Котиков, Е.Е. Клубничкин // Естественные и технические науки. № 3. 2010. С. 327 – 334.
7. Макуев, В.А. Обучение человека-оператора как основная задача управления зарубежной лесозаготовительной техники / В.А. Макуев, Ф.А. Дац, В.Е. Клубничкин // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. 2. С. 36 – 38.
8. Агейкин, Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
9. Ксенович, И.П. Наземные тягово-транспортные системы Том 3. / И.П. Ксенович, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. Энциклопедия. – М.: Машиностроение, 2003. – 788 с.
10. Котиков, В.М. Лесозаготовительные и трелевочные машины / В.М. Котиков, Н.С. Еремеев, А.В. Ерхов. – М.: Лесная пром-сть, 2004. – 336с.

TRANSITION MODE BY TURNING THE ARTICULATED WHEELED FORESTRY MACHINE

Makuev V.A., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Klubnichkin V.E.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Klubnichkin E.E.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Shnyakov A.V.**, Senior Lecturer MSFU

makuev@mgul.ac.ru, vklubnichkin@mgul.ac.ru, klubnichkin@mgul.ac.ru, shnyakov@mgul.ac.ru
Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

In this paper the processes occurring at the turn of the wheel articulated forestry machine were reviewed. With both axles working there will be twisting transmission between the transfer case and the drive wheels. Entering into the turn the wheels of the front axle loaded and the rear - unloaded. At the end of the turn the opposite phenomenon is observed. With further movement of the wheel forestry machine dispersal (redistribution) of the previously encountered elastic forces occurs. The question arises, which path should the wheel forestry machine pass after entering the turn or after exiting the turn so that the forces caused by the rolling up of the modules come into line with the kinematics of the rotation. Experimental studies have been conducted on the wheel forestry machine of the third class of traction, in which the calculated values of the changes in the constant S_0 depending on the air pressure in the tires were obtained. The analysis of the data shows that the experimental studies confirm the theoretical propositions. With an increase in air pressure in the tires from 91.8 kN/m² to 196.2 kN/m² the constant S_0 decreases from 0.551 m to 0.314 m and the way with 95% of redistribution of the points decreases from 1.65 m to 0.94 m. As the compliancy of the traction wheel drive gear increases the transient-state path increases also. The main redistribution moment at the wheel forestry machine comes in the way of 1 – 1.5 m.

Keywords: forest machine; movement; suspension system; ground; bearing surface; turning; wheel; hinge; frame; module; transmission.

References

1. Voskoboynikov I.V., Kondratyuk V.A., Krylov V.M., Kondratyuk D.V., Klubnichkin E.E. *Mnogooperatsionnyye lesnyye mashiny* [Multioperational forest machines]. Monograph. Volume 1. 2013. p. 480.
2. Voskoboynikov I.V., Kondratyuk V.A., Krylov V.M., Kondratyuk D.V., Klubnichkin E.E. *Mnogooperatsionnyye lesnyye mashiny*. [Multioperational forest machines]. Monograph. Volume 2. 2013. p. 496.
3. Egorov L.I., Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E. *Kolesa i shiny lesotransportnykh mashin* [Wheels and tires forest machines]. Moscow, MGUL, 2013, p. 36.
4. Klubnichkin V.E. *Otsenka vliyaniya vneshnikh usloviy na lesozagotovitel'nyye mashiny* [Evaluation of the influence of external conditions on forest machines] Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik. №6, 2010 pp. 119-123.

5. Kotikov V.M., Klubnichkin E.E. *K voprosu o metodike issledovaniya nagruzhenosti gusenichnykh tsepey kolesnykh mashin s tandemnymi tezhkami* [On the problem of the method research of loading tracked chains of wheeled vehicles with Bogies] *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and engineering sciences]. № 3, 2010 pp. 321-326.
6. Klubnichkin V.E., Kotikov V.M., Klubnichkin E.E. *Obshchaya metodika issledovaniya prokhodimosti kolesnykh mashin s tandemnymi tezhkami, osnashchennymi gusenichnymi tsepyami* [General technique of research passableness wheeled vehicles with a bogie axle, equipped with tracks chains.] *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and engineering sciences]. № 3, 2010 pp. 327-334.
7. Makuev V.A., Dats F.A., Klubnichkin V.E. *Obuchenie cheloveka-operatora kak osnovnaya zadacha upravleniya zarubezhnoy lesozagotovitel'noy tekhniki* [Education of the human operator as the main task of managing foreign logging machines] *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium reliability and quality]. Т. 2. 2010 pp. 36-38.
8. Ageykin, Ya.S. *Vezdekhodnye kolesnye i kombinirovannye dvizhiteli* [Rough terrain wheels and dual propellers] – Moscow, *Mashinostroenie* [Engineering], 1972. p. 184.
9. Ksenevich I.P., Goberman V.A., Goberman L.A. *Nazemnye tyagovo-transportnye sistemy* [Ground trailer transport systems]. Volume 3. Encyclopedia. – Moscow, *Mashinostroenie* [Engineering], 2003. p. 788.
10. Kotikov V.M., Ereemeev N.S., Erkhov A.V. *Lesozagotovitel'nye i trelevochnye mashiny* [Forestry and skidding machines] – Moscow, *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 2004. p. 336.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОГО КОЛЕСНОГО ШАССИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В.А. МАКУЕВ, проф. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, член-кор. РАЕН, д-р техн. наук,
 В.Е. КЛУБНИЧКИН, доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук,
 Е.Е. КЛУБНИЧКИН, доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук,
 А.В. ШНЯКОВ, старший преподаватель каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ

makuev@mgul.ac.ru, vklubnichkin@mgul.ac.ru, klubnichkin@mgul.ac.ru, shnyakov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Сегодня во всем мире, в том числе и России, эксплуатируется большое количество колесных лесозаготовительных машин – форвардеры, харвестеры, лесопогрузчики, скиддеры и т.д. различных фирм, к примеру Ponsse, JohnDeer, Valmet, Амкадор, Четра, Rottne, LKT, Caterpillar. Данные машины в большинстве представляют собой шарнирно-сочлененное шасси, состоящее из переднего и заднего модулей, на которые монтируются: двигатель, элементы трансмиссии, различное технологическое оборудование (манипулятор, лебедка, коники) в зависимости от назначения машины, кабина, топливные и гидравлические баки и т.д. Для обеспечения оптимального режима работы и безопасных условий труда для оператора устойчивости колесных шарнирно-сочлененных лесозаготовительных машин уделяется большое внимание. В работе рассматривается устойчивость каждого модуля колесной лесозаготовительной машины с шарнирной рамой с незаблокированным горизонтальным шарниром. Проводится определение порядка расчета опорных реакций на колесах порожней лесозаготовительной машины, а также определение устойчивости лесозаготовительной машины с пачкой сортиментов и определение порядка расчета опорных реакций пути при установившемся движении лесозаготовительной машины на подъем с пачкой сортиментов.

Ключевые слова: лесозаготовительная машина, движение, ходовая система, грунт, опорная поверхность, устойчивость, колесо, шарнир, рама, модуль.

Устойчивость каждого модуля лесозаготовительной машины с шарнирной рамой с незаблокированным горизонтальным шарниром рассматривается относительно опорного контура [1, 2, 9, 10], представляющего треугольник, две вершины которого расположены в центрах площадок контакта колес модуля с опорной плоскостью, а третья – на пересечении оси горизонтального шарнира с вертикальной плоскостью, проходящей через ось колес противоположного модуля (рисунок). Для задней тележки трёхосной лесозаготовительной машины за ось колес условно принята ось балансирной тележки. Основные

геометрические соотношения для опорных контуров приведены в табл. 1.

Машина считается статически устойчивой под действием постоянных по времени сил, если все опорные реакции на колесах положительны [4, 5]. За расчетные положения приняты такие, когда одна из сторон опорного контура модуля перпендикулярна линии наибольшего склона площадки.

Для определения опорных реакций на колесах лесозаготовительной машины используется метод приведения сил веса к опорам машины [3, 6, 7]. Расчетные формулы определения опорных реакций порожней

Основные геометрические соотношения для опорных контуров
Basic geometric relations for the support contour

Обозначение	Формула
L_1	$L_1 = (l_1 + a_1) \times \cos\psi + l_2 \times \cos\varphi - \frac{a_1}{\cos\psi}$
L_2	$L_2 = \frac{l_1}{\cos\beta} + l_2$
Φ	$\operatorname{tg}\varphi = \frac{(l_1 + a_1) \times \sin\beta}{(l_1 + a_1) \times \cos\beta + l_2}$
Ψ	$\Psi = \beta - \varphi$
Ξ	$\operatorname{tg}\xi = \frac{l_1 \times \sin\beta + \beta \cos\beta}{l_2 + l_1 \times \cos\beta - b \sin\beta}$
Λ	$\lambda = \xi - \varphi$
N	$\operatorname{tg}v = \frac{b}{L_2}$

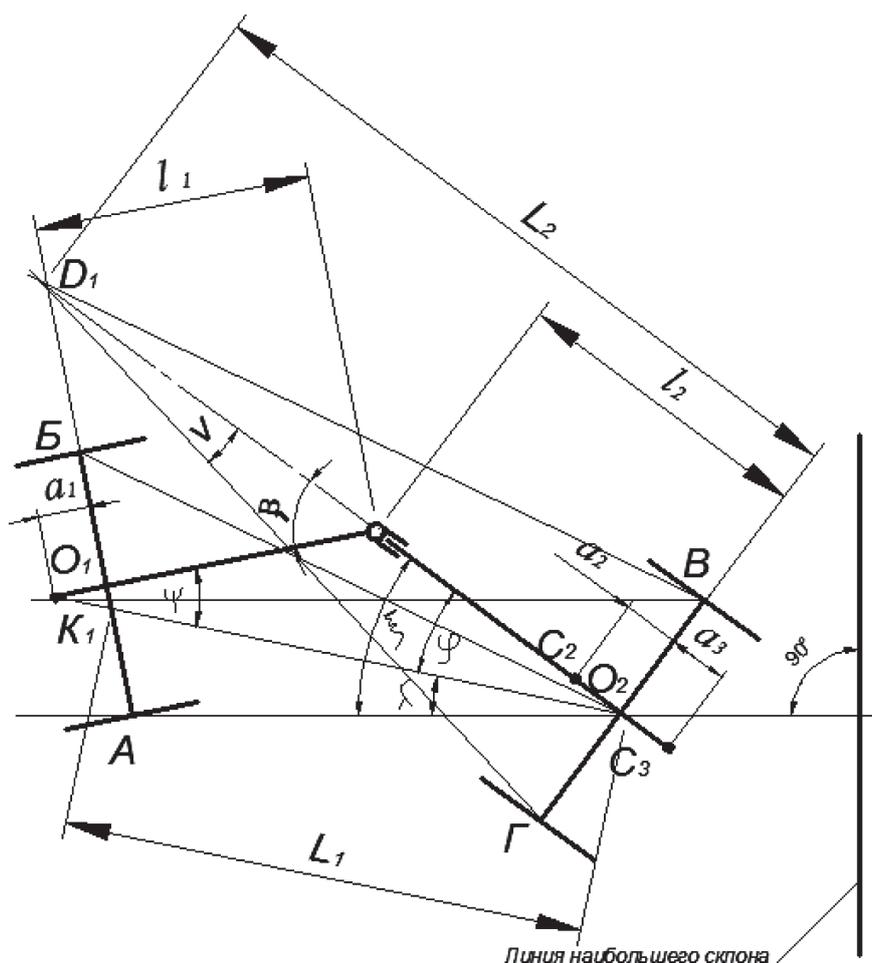


Рисунок. Расчетная схема к определению углов собственной устойчивости шарнирно-сочленённой колесной лесозаготовительной машины с незаблокированным шарниром

Fig. The calculation scheme for determining the angular own sustainability articulated wheeled harvester with unlocked hinge

Порядок расчета опорных реакций пути порожней лесозаготовительной машины
The procedure for calculating the support reactions path empty harvester

Небалансирный (передний) модуль	Балансирный (задний) модуль
$G_{11B}^H = G_1 \frac{(L_1 + \frac{a_1}{\cos\psi})(b - a_1 \operatorname{tg}\psi)}{2bL_1} \times \cos\alpha$	$G_{22B}^H = G_2 \frac{(L_2 - a_2)}{2L_2} \times \cos\alpha$
$G_{11B}^{K1} = -G_1 \frac{h_1(b - a_1 \operatorname{tg}\psi)}{2bL_1} \times \sin\alpha \times \sin\lambda$	$G_{22B}^{K1} = -G_2 \frac{h_2}{2L_2} \times \sin\nu \times \sin\alpha$
$G_{11B}^{K2} = -G_1 \frac{(h_1 - h_\delta)L_1 + h_\delta(L_1 + \frac{a_1}{\cos\psi})}{2bL_1} \times \cos\lambda \times \cos(\beta - \xi) \sin\alpha$	$G_{22B}^{K2} = -G_2 \frac{(L_2 - a_2)h_2}{2bL_2} \times \cos\nu \times \sin\alpha$
$G_{21B}^H = G_2 \frac{a_2(L_1 \operatorname{tg}\beta + b)}{2bL_2} \times \cos\alpha$	$G_{12B}^H = -G_1 \frac{a_1}{L_1 \cos\psi} \times \cos\alpha$
$G_{21B}^{K1} = -G_2 \frac{h_2(L_1 \operatorname{tg}\beta + b)}{2bL_2} \times \sin\xi \times \sin\alpha$	$G_{12B}^{K1} = -G_1 \frac{h_1}{2L_1} \times \sin(\beta + \nu - \psi) \times \sin\alpha$
$G_{21B}^{K2} = -G_2 \frac{a_2 h_\delta}{2bL_2} \times \cos\beta \times \cos\xi \times \sin\alpha$	$G_{12B}^{K2} = -G_1 \frac{a_1}{2bL_1 \cos\psi} \times \cos\varphi \times \cos(\beta + \nu - \psi) \times \sin\alpha$
$\sum +G_i = G_{11B}^H + G_{21B}^H$	$\sum +G_i = G_{22B}^H$
$\sum -G_i = G_{11B}^{K1} + G_{11B}^{K2} + G_{21B}^{K1} + G_{21B}^{K2}$	$\sum -G_i = G_{22B}^{K1} + G_{22B}^{K2} + G_{12B}^H + G_{12B}^{K1} + G_{12B}^{K2}$

лесозаготовительной машины приведены в табл. 2.

Для определения устойчивости лесозаготовительной машины с пачкой сортиментов нужно выбрать расчетное положение. Трелевка поперек склона запрещена по правилам техники безопасности [8, 11], поэтому в качестве расчетного положения при трелевке принято движение на подъем, когда продольная ось заднего модуля параллельна линии наибольшего склона, а угол складывания модулей в плане максимален.

Технологические силы, действующие на машину от пачки сортиментов, при расчете приняты условно постоянными. Опыт показывает, что продольному опрокидыванию машины относительно задних колес препятствует потеря устойчивости переднего модуля. Формулы расчета опорных реакций без учета момента сопротивления на колесах движителей приведены в табл. 3.

Индексы приведенных сил имеют следующие значения: первый индекс внизу обозначает номер модуля, к которому приводится

сила, буквенный индекс – точка приведения, буквенные индексы сверху: Н – нормальная сила, К – касательная.

Обозначения в формулах:

G_1 и G_2 – вес соответственно переднего и заднего модуля;

a_1 и a_2 – расстояние по горизонтали соответственно от передней и задней осей до центров тяжести модулей относительно опорной плоскости;

h_1 и h_2 – высота центров тяжести модулей относительно опорной плоскости;

l_1 и l_2 – расстояние от осей до вертикального шарнира;

L – база машины;

$2b$ – колея;

β – максимальный угол складывания модулей в плане;

h_δ – высота оси горизонтального шарнира;

h_3 – высота точки приложения технологической силы.

За угол устойчивости принимается угол склона, при котором одна из реакций на колесах обращается в ноль.

**Порядок расчета опорных реакций пути при установившемся движении
лесозаготовительной машины на подъем с пачкой сортиментов**
The procedure for calculating the support reactions in the steady path of movement
harvester on the rise with a bundle of logs

№	Небалансирный (передний) модуль
1	$G_{11B}^H = G_1 \frac{(L_1 + \frac{a_1}{\cos\psi})(b - a_1 \operatorname{tg}\psi)}{2bL_1} \times \cos\alpha$
2	$G_{11B}^{K1} = -G_1 \frac{h_1(b - a_1 \operatorname{tg}\psi)}{2bL_1} \times \cos(\beta - \psi) \times \sin\alpha$
3	$G_{11B}^{K2} = -G_1 \frac{(h_1 - h_\delta)L_1 + h_\delta(L_1 + \frac{a_1}{\cos\psi})}{2bL_1} \times \cos\psi \times \sin(\beta - \psi) \times \sin\alpha$
4	$G_{21B}^H = G_2 \frac{a_2(L_1 \operatorname{tg}\beta + b)}{2bL_2} \times \cos\alpha$
5	$G_{21B}^{K1} = -G_2 \frac{h_2(L_1 \operatorname{tg}\beta + b)}{2bL_2} \times \sin\alpha$
6	$N_{21B}^z = -N^z \frac{a_3(L_1 \operatorname{tg}\beta + b)}{2bL_2}$
7	$N_{21B}^x = -N^x \frac{h_3(L_1 \operatorname{tg}\beta + b)}{2bL_2}$
8	$\sum +G_i = G_{11B}^H + G_{21B}^H$
9	$\sum -G_i = G_{11B}^{K1} + G_{11B}^{K2} + G_{21B}^{K1} + N_{21B}^z + N_{21B}^x$

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. 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.
2. 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.
3. Егоров, Л.И. Колеса и шины лесотранспортных машин [учебно-методическое пособие для бакалавров] / Л.И. Егоров, В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин. – М.: МГУЛ, 2013. – 36 с.
4. Клубничкин, Е.Е. Определение нагруженности ходовой системы многооперационной лесосечной машины / Е.Е. Клубничкин, В.А. Макуев, В.Е. Клубничкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – №3. – С. 175–177.
5. Клубничкин, В.Е. Оценка влияния внешних условий на лесозаготовительные машины / В.Е. Клубничкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – №6. – С. 119–123.
6. Котиков, В.М. К вопросу о методике исследования нагруженности гусеничных цепей колесных машин с тандемными тележками / В.М. Котиков, Е.Е. Клубничкин // Естественные и технические науки. – № 3. – 2010. – С. 321–326.
7. Клубничкин, В.Е. Общая методика исследования проходимости колесных машин с тандемными тележками, оснащёнными гусеничными цепями / В.Е. Клубничкин, В.М. Котиков, Е.Е. Клубничкин // Естественные и технические науки. – № 3. – 2010. – С. 327–334.
8. Макуев, В.А. Обучение человека-оператора как основная задача управления зарубежной лесозаготовительной техники / В.А. Макуев, Ф.А. Дац, В.Е. Клубничкин // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2010. – Т. 2. – С. 36–38.
9. Ксенович, И.П. Наземные тягово-транспортные системы Том 3. / И.П. Ксенович, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. Энциклопедия. – М.: Машиностроение, 2003. – 788 с.
10. Котиков, В.М. Лесозаготовительные и трелевочные машины / В.М. Котиков, Н.С. Еремеев, А.В. Ерхов. – М.: Лесная промышленность, 2004. – 336 с.
11. Клубничкин, В.Е. Разработка перспективной ходовой системы для колесных машин лесопромышленного комплекса / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, Е.В. Шишов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. №3–2 (8–2). – С. 249–252.

ON EVALUATION OF THE STABILITY OF THE ARTICULATED WHEELED UNDERCARRIAGE FOREST MACHINE

Makuev V.A., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Klubnichkin V.E.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Klubnichkin E.E.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Shnyakov A.V.**, Senior Lecturer MSFU

makuev@mgul.ac.ru, vklubnichkin@mgul.ac.ru, klubnichkin@mgul.ac.ru, shnyakov@mgul.ac.ru
Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischy, Moscow reg., Russia

Today in the whole the world including Russia a large number of wheeled forestry machines, including forwarders, harvesters, log loaders, skidders, etc. of different manufacturers, for example Ponsse, JohnDeer, Valmet, Amkador, CHETRA, Rottne, LKT, Caterpillar etc. are exploited. These machines are for the most part articulated chassis consisting of a front and rear module on which the motor, transmission components, cabin, fuel, hydraulic tanks, various technological equipment (crane, hoist, conics, etc.) depending on the destination of the machine etc. are mounted. Much attention is paid to the issues of the optimal operation and a safe working environment for the stability operator of a wheel articulated forestry machine with a hinged frame with a horizontal hinge unlocked. The calculation order of support reactions on the wheels of the empty forest machine, of sustainability of the wheeled forestry machine with a bundle of logs and of support reactions at steady motion path of forestry machines on the rise with a pack of logs has been developed.

Keywords: forest machine; movement; suspension system; ground; bearing surface; sustainability; wheel; hinge; frame; module.

References

1. Voskoboynikov 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.
2. Voskoboynikov 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.
3. Egorov L.I., Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E. *Kolesa i shiny lesotransportnykh mashin* [Wheels and tires forest machines]. Moscow, MGUL, 2013, p. 36.
4. Klubnichkin E.E., Makuev V.A., Klubnichkin V.E. *Opreделение nagruzhennosti khodovoy sistemy mnogooperatsionnoy lesosechnoy mashiny* [Determination of loading suspension systems multioperational harvesting machine] Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik. №3, 2013 pp 175-177.
5. 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.
6. Kotikov V.M., Klubnichkin E.E. *K voprosu o metodike issledovaniya nagruzhennosti gusenichnykh tsepey kolesnykh mashin s tandemnymi teleshkami* [On the problem of the method research of loading tracked chains of wheeled vehicles with Bogies] *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and engineering sciences]. № 3, 2010 pp 321-326.
7. Klubnichkin V.E., Kotikov V.M., Klubnichkin E.E. *Obshchaya metodika issledovaniya prokhodimosti kolesnykh mashin s tandemnymi teleshkami, osnashchennymi gusenichnymi tsepyami* [General technique of research passableness wheeled vehicles with a bogie axle, equipped with tracks chains.] *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and engineering sciences]. № 3, 2010 pp 327-334.
8. Makuev V.A., Dats F.A., Klubnichkin V.E. *Obuchenie cheloveka-operatora kak osnovnaya zadacha upravleniya zarubezhnoy lesozagotovitel'noy tekhniki* [Education of the human operator as the main task of managing foreign logging machines] *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the international symposium reliability and quality]. T. 2. 2010 pp 36-38.
9. Ksenevich I.P., Goberman V.A., Goberman L.A. *Nazemnye tyagovo-transportnye sistemy* [Ground trailer transport systems]. Volume 3. Encyclopedia. – Moscow, *Mashinostroenie* [Engineering], 2003. p. 788.
10. Kotikov V.M., Ereemev N.S., Erkhov A.V. *Lesozagotovitel'nye i trelevochnye mashiny* [Forestry and skidding machines] Moscow, *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 2004. p. 336.
11. Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Shishov E.V. *Razrabotka perspektivnoy khodovoy sistemy dlya kolesnykh mashin lesopromyshlennogo kompleksa* [Development of perspective suspension system for wheeled vehicles of timber industry complex] *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Recent research trends of the XXI century: theory and practice]. T. 2. №3-2 (8-2). 2014 pp 249-252.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПЛАВУЧЕСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ ИЗ МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРОВ СО ЩЕПОЙ С ПОМОЩЬЮ ПОДПЛАВА

С.П. КАРПАЧЕВ, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,
Е.Н. ЩЕРБАКОВ, доц. каф. древесиноведения МГУЛ, канд. техн. наук,
Д.В. ШМЫРЕВ, асп. каф. транспорта леса МГУЛ

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Рассматриваются вопросы использования подплава для стабилизации плавучести транспортных единиц конструкции МГУЛ, сформированных из мягких контейнеров со щепой. Особенностью рассматриваемой транспортной единицы является наличие подплава и поддона. Поддон предохраняет оболочку контейнера от повреждений на мелководье, а подплав необходим для стабилизации плавучести в случае повреждения оболочки контейнера. Контейнер с водонепроницаемой оболочкой имеет небольшую осадку (в пределах 0,2–0,4 от высоты контейнера). Однако в случае повреждения оболочки осадка контейнера сразу увеличится в 2–4 раза. Контейнер потеряет плавучесть в течение 20–25 дней. Для обеспечения плавучести контейнера на более длительный срок необходим подплав. Аналитическим путем установлено, что при любых возможных на практике значениях коэффициента полндревесности щепы и плотности материала подплава (до 50 кг/м³), минимальная доля подплава не превышает 7%. С учетом возможного веса оболочки контейнера и такелажа можно рекомендовать минимальную долю подплава 8%. Начальная осадка будет тем больше, чем больше коэффициент полндревесности щепы. Это можно объяснить увеличением веса контейнера с ростом коэффициента полндревесности при постоянном объеме подплава. Относительный диаметр подплава резко увеличивается с ростом допустимой осадки. При этом относительная плотность щепы возрастает. Доля подплава возрастает, поскольку объем определяется не только диаметром, но и высотой.

Ключевые слова: лесосечные отходы, плавучесть, мягкие контейнеры, подплав.

В настоящей статье рассматриваются вопросы использования подплава для стабилизации плавучести транспортных единиц конструкции МГУЛ [10], сформированных из мягких контейнеров со щепой (рис. 1). Подобные транспортные единицы уже рассматривались ранее [1–9].

Особенностью рассматриваемой транспортной единицы является наличие подплава и поддона. Поддон предохраняет оболочку контейнера от повреждений на мелководье, а подплав необходим для стабилизации плавучести в случае повреждения оболочки контейнера.

В дальнейшем в статье транспортную единицу будет называться контейнером.

Контейнер с водонепроницаемой оболочкой имеет небольшую осадку (в пределах 0,2–0,4 от высоты контейнера). Однако в случае повреждения оболочки осадка контейнера сразу увеличится в 2–4 раза. Далее, вследствие водопоглощения щепы, осадка контейнера будет увеличиваться. Контейнер потеряет плавучесть в течение 20–25 дней. Для обеспечения плавучести контейнера на более длительный срок необходим подплав.

Определим объем подплава и исследуем его работу. Расчетная схема контейнера с подплавом приведена на рис. 1.

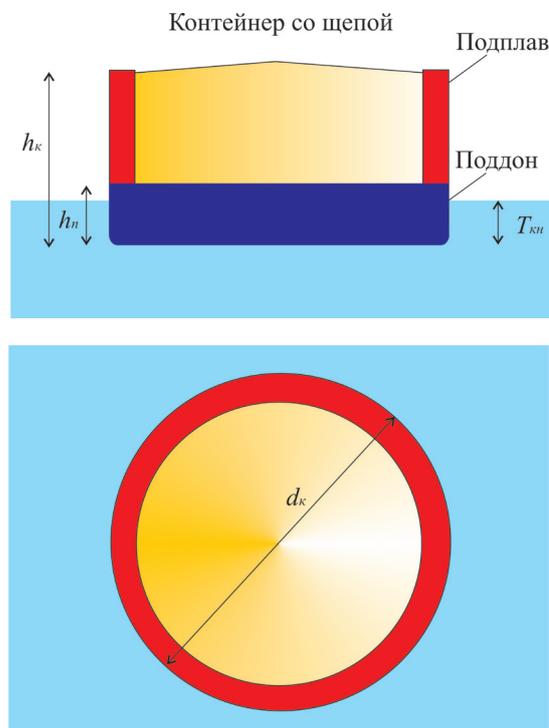


Рис. 1. Общий вид мягкого контейнера со щепой и подплавом на воде

Fig. 1. General view of the soft container with chips and the buoyancy aid fleet on the water

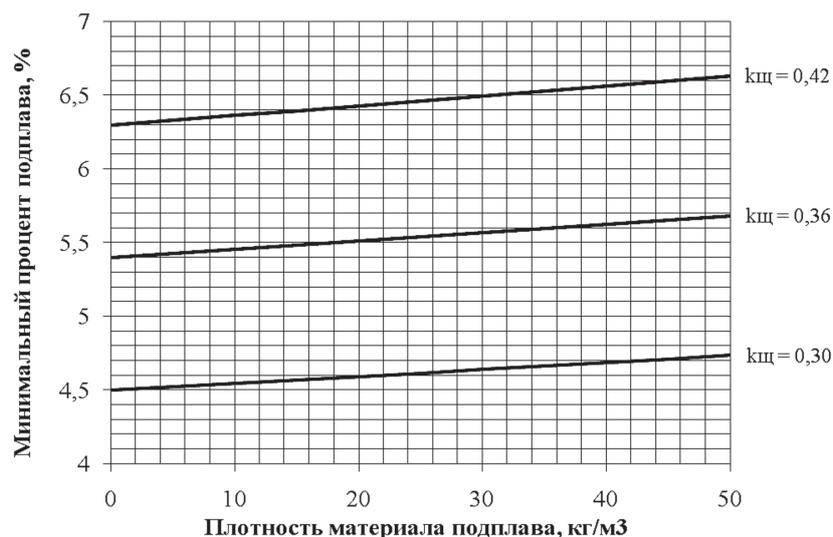


Рис. 2. Зависимости минимального относительного объема подплава от плотности его материала
 Fig. 2. Dependence of the minimum relative volume podplava on the density of the material

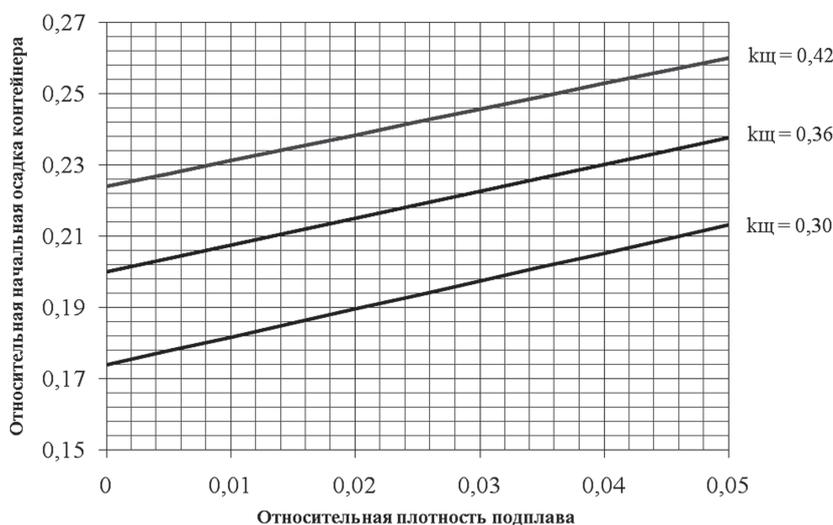


Рис. 3. Зависимости относительной начальной осадки контейнера от относительной плотности материала подплава для относительной плотности щепы 0,8 и 8 % подплава
 Fig. 3. Relative initial draft of the container on the relative density of the material buoyancy aid for the relative density of 0,8 chips and 8 % buoyancy aid

Расчет плавучести контейнера на воде будем вести, сделав ряд допущений относительно подплава:

- подплав имеет форму цилиндра кольцевого поперечного сечения;
- высота подплава равна высоте контейнера.

Определим минимально необходимый объем подплава для случая предельной плотности щепы. Запишем уравнение равновесия контейнера

$$G_k + G_n = P_k + P_n, \quad (1)$$

где P_n – сила поддержания от подплава, Н;
 G_n – вес подплава, Н.

Эти силы равны

$$G_k = \rho_{щ} k_{щ} V_k, \quad (2)$$

$$P_k = \rho_g V_k k_{щ}, \quad (3)$$

$$G_n = \rho_n V_n, \quad (4)$$

$$P_n = \rho_g V_n, \quad (5)$$

где V_k – объем контейнера, м³;
 V_n – объем подплава, м³.

Тогда условие равновесия (1) запишется в виде

$$\rho_{щ} k_{щ} V_k + \rho_n V_n = \rho_g V_k k_{щ} + \rho_g V_n. \quad (6)$$

Откуда в безразмерном виде

$$V_{отн n} = k_{щ} (\rho_{щ} / \rho_g - 1) / (1 - \rho_n / \rho_g), \quad (7)$$

где $V_{отн n} = V_n / V_k$ – относительный объем подплава, м³.

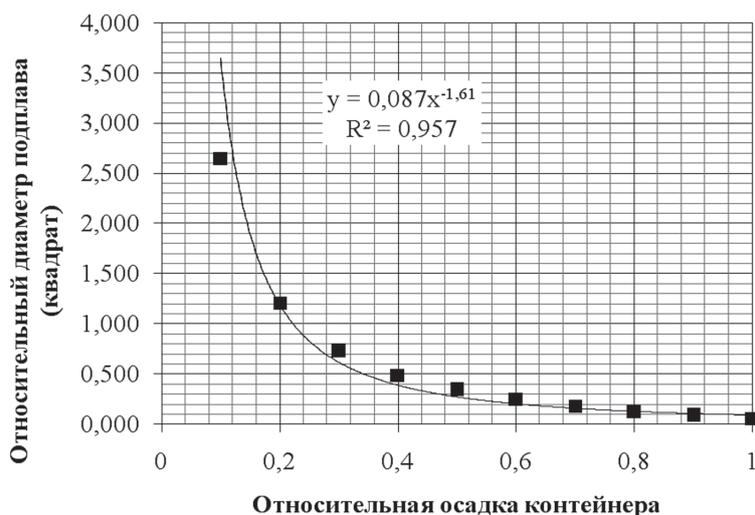


Рис. 4. Зависимость изменения относительной осадки контейнера от относительного диаметра (квадрата) подплава (для пневмоподплава и начальной плотности древесины щепы 800кг/м³)
 Fig. 4. The dependence of the relative change in rainfall from the container relative diameter (square) buoyancy aid (for pnevmopodplava and the initial density of wood chips 800kg / m³)

Или, с учетом рис. 1, будем иметь

$$d_{отн.н} = \sqrt{\frac{k_{щ} \cdot \left(\frac{\rho_{щ,пред}}{\rho_g} - 1 \right)}{1 - \frac{\rho_n}{\rho_g}}}, \quad (8)$$

где

$$d_{отн.н} = \sqrt{\frac{d_n^2 - d_k^2}{d_k^2}}$$

– относительный диаметр подплава, м

В случае, когда подплав изготовлен из материалов типа пенополистирол, имеющих плотность более 10 кг/м³, необходимо учитывать его вес. Для наглядности на рис. 2 представлены графики зависимости изменения минимального относительного объема подплава от плотности его материала для различных значений коэффициента полндревесности щепы.

Как следует из графика (рис. 2) и формул (7) и (8), для контейнера $d_k = 1$ м, $h_k = 1$ м с коэффициентом полндревесности щепы $k_{щ} = 0,36$, минимальный объем подплава и его диаметр будут равны

$$V_n = 1,054 \text{ м}^3 \text{ или } 5,4 \%; \quad d_n = 1,027 \text{ м}.$$

Заметим, что при любых возможных на практике значениях коэффициента полндревесности щепы и плотности материала (до 50 кг/м³) минимальная доля подплава не превы-

шает 7%. С учетом возможного веса оболочки контейнера и такелажа можно рекомендовать минимальную долю подплава, при которой контейнер все еще остается на плаву, равную 8%.

Диаметр подплава при доле 8%, можно определить из формул (8) и (7)

$$d_n = 1,04 d_k, \quad (9)$$

Следовательно, диаметр подплава должен быть на 4% больше, чем диаметр контейнера. Например, для контейнера диаметром 1 м диаметр подплава должен быть равен 1,04 м.

Исследуем работу подплава.

Обозначим

$\rho_{щ}/\rho_g = \rho_{отн.щ}$ – относительная начальная плотность щепы;

$T_{кн}/h_k = T_{отн.кн}$ – относительная начальная осадка контейнера;

$\rho_n/\rho_g = \rho_{отн.н}$ – относительная плотность подплава;

$(d_n^2 - d_k^2)/d_n^2 = d_{отн.н}^2$ – относительный диаметр подплава.

Тогда начальная осадка водонепроницаемого контейнера со щепой и подплавом определится из условия

$$T_{отн.кн} = (\rho_{отн.щ} k_{щ} + \rho_{отн.н} d_{отн.н}^2) / (k_{щ} + d_{отн.н}^2). \quad (10)$$

Для доли подплава 8% (9) и относительной начальной плотности щепы 0,8, формула (10) будет иметь более простой вид

$$T_{отн.кн} = (0,8 k_{щ} + \rho_{отн.н} 1,08) / (k_{щ} + 1,08). \quad (11)$$

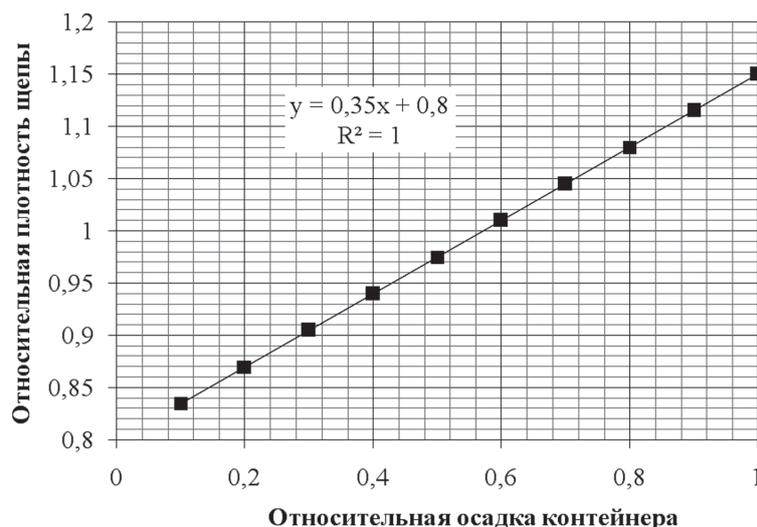


Рис. 5. Зависимость изменения относительного диаметра (квадрата) подплава от относительной осадки контейнера (для пневмоподплава и начальной плотности древесины щепы 800 кг/м³)
 Fig. 5. Dependence of the relative change in diameter (square) podplava the relative rainfall container (for pnevmopodplava and the initial density of wood chips 800 kg/m³)

Представим формулу (11) в виде графика на рис. 3. Из приведенного графика видно, что начальная осадка контейнера увеличивается с увеличением плотности подплава. Интересно, что начальная осадка будет тем больше, чем больше коэффициент полндревесности щепы. Это можно объяснить увеличением веса контейнера с ростом коэффициента полндревесности при постоянном объеме подплава.

Важным является не только объем, но и местоположение подплава. Положение подплава в контейнере должно обеспечивать заданную осадку, при этом контейнер должен обладать достаточным запасом плавучести и устойчивостью.

Относительную осадку контейнера можно определить по формуле (10). Зафиксируем относительную осадку как заданную величину. Тогда

$$d_{отн.л}^2 = (T_{отн.к} k_{щ} - \rho_{отн.щн} k_{щ}) / (\rho_{отн.к} - T_{отн.кн}). \quad (12)$$

В формуле (4.44) относительную плотность щепы можно определить для предельной плотности погруженной части щепы. Тогда

$$\rho_{отн.щ} = T_{отн.к} \rho_{отн.щ пр} + (1 - T_{отн.к}) \rho_{отн.щн}. \quad (13)$$

Представим формулу (12), с учетом (13), в виде графика на рис. 4.

Как видно из приведенного графика, относительный диаметр подплава резко увеличивается с ростом допустимой осадки. При этом

относительная плотность щепы с увеличением допустимой осадки возрастает (рис. 5). Доля подплава возрастает, поскольку объем подплава определяется не только диаметром, но и высотой, а в нашем случае высота равна осадке.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, И.Д. Грачев // Лесопромышленник, 2009. – № 49. – С. 23.
2. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Комяков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, № 4 (73). – 2010. – С. 107–111.
3. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Г.Е. Приоров // Лесопромышленник, февраль–март, 2009. – № 1 (49).
4. Карпачев, С.П. Производство дров для жилищно-коммунального хозяйства лесных поселков и городов / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Г.Е. Приоров // Лесопромышленник, апрель–июнь, 2010, № 2 (54).
5. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из леса для биоэнергетики / С.П. Карпачев // Ученые записки РГСУ. Экологическая безопасность и природопользование. № 5 – 2009г., с. 130–138.
6. Карпачев, С.П. Моделирование логистических систем лесных материалопотоков / С.П. Карпачев, В.В. Лозовецкий, Е.Н. Щербаков // Транспорт: наука, техника,

- управление. / Научный информационный сборник. РАН ВИНТИ – 2011. – № 8. – С. 16–20.
7. Комяков, А.Н. Применение большегрузных плавучих контейнеров для нужд биоэнергетики / А.Н. Комяков, С.П. Карпачев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010, № 4 (73). – С. 104–107.
 8. Карпачев, С.П. Моделирование технологических процессов освоения древесины на ложе водохранилищ / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Е.В. Солдатова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013, № 1. – С. 56–61.
 9. Карпачев, С.П. Транспортная единица для лесосплава / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков и др. – Патент № 2013147054/11(073109) от 31.03.2014
 10. Карпачев, С.П. Транспорт технологической щепы по воде в мягких контейнерах: дисс. ... канд. техн. наук / С.П. Карпачев. – М., 1985. – С. 17.

STABILIZATION OF BUOYANCY OF TRANSPORT UNITS OF FLEXIBLE CONTAINERS WITH CHIPS WITH THE MEANS TO MAINTAIN BUOYANCY

Karpachev S.P., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Scherbakov E.N.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Shmyrev D.V.**, gr. MSFU

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

This article covers the use of the means of buoyancy aid to stabilize the buoyancy of transport units, formed from flexible containers with chips. The peculiarity of the transport unit discussed in this article is the presence of buoyancy aid and a flat tray. The tray protects the shell of the container from damage in the shallow water, and the buoyancy aid is necessary for stabilizing buoyancy in case of damage to the shell of the container. A container with a water-resistant shell has a small draught (within 0.2-0.4 of the height of the container). However, in case of damage to the shell of the container, the draught of the container will increase by 2-4 times. The container will lose buoyancy in 20-25 days. To ensure the buoyancy of the container for a longer period it is necessary to use buoyancy. It has been analytically established that at all possible in practice values of the coefficient of the completeness of the chips and density of the buoyancy aid material (up to 50 kg/m³), the minimum share of the buoyancy aid does not exceed 7%. Considering the weight of the shell of the container and rigging, it is recommended that the minimum proportion of the buoyancy aid, in which the container is still afloat, should be equal to 8%. will be greater, The greater the coefficient of completeness chips is, the greater is the initial sediment. This can be explained by the increase in the weight of the container with the growth factor of completeness at constant volume of the buoyancy aid. The relative diameter of the buoyancy aid sharply increases with the growth of the permissible draft. The relative density of wood chips increases. The share of the buoyancy aid increases, as the volume is determined not only by diameter but by its height also.

Keywords: wood chips, buoyancy, flexible containers, buoyancy aid.

References

1. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Grachev I.D. *Nekotorye voprosy tekhnologii osvoeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some of the issues of technology development of bio-resources of forests for bioenergy]. Lesopromyshlennik. 2009. No. 49. p.23.
2. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Komyakov A.N. *Nekotorye voprosy osvoeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some questions the OS is properly absorbed biological resources from the forest for bioenergy]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, No. 4 (73). 2010. pp. 107-111.
3. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Priorov G.E. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syr'ya v Rossii* [Problems of development of bio-energy from wood raw materials in Russia]. Lesopromyshlennik, February-March 1 (49). 2009.
4. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Priorov G.E. *Proizvodstvo drov dlya zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva lesnykh poselkov i gorodov* [The production of wood for housing and utilities of forest villages and towns]. Lesopromyshlennik, April-June 2 (54). 2010.
5. Karpachev S.P. *Nekotorye voprosy tekhnologii osvoeniya i vodnogo transporta bioresursov iz lesa dlya bioenergetiki* [Some issues of technology development and water transport of biological resources from forests for bioenergy]. Moscow: Scientific notes RGSU. Environmental security and environmental management. № 5. 2009. pp. 130-138.
6. Karpachev S.P., Lozovatsky V.V., Scherbakov E.N. *Modelirovanie logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Modeling the log-socialist systems of forest material flow. M //Transport: science, technology, management] Scientific information collection. VINITI RAS – 2011, No. 8, pp. 16-20.
7. Komyakov A.N., Karpachev S.P. *Primenenie bol'shegruznykh plavuchikh konteynerov dlya nuzhd bioenergetiki* [The Use of heavy floating containers for bioenergy] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, No. 4 (73), 2010. pp. 104-107.
8. Karpachev S.P., Scherbakov E.N., Soldatova E.V. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov osvoeniya drevesiny na lozhe vodokhranilishch* [Modeling of techno-logical development of wood on the bed of the reservoir] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, No. 1. 2013. pp. 56-61.
9. Karpachev S.P., Scherbakov E.N. and others. *Transportnaya edinita dlya lesosplava* [Transport unit for rafting]. Patent No. 143038 from 09.06.2014
10. Karpachev S.P. *Transport tekhnologicheskoi shchepy po vode v myagkikh konteynerakh* [Transport of wood chips on the water in soft containers]. The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences. Specialty 05.21.01 Technology and machine harvesting and forestry. Moscow, 1985. pp. 17.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКРЕАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИМ. Н.В. ЦИЦИНА РАН В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО РАЗВИТИЯ ПРИЛЕГАЮЩИХ ГОРОДСКИХ КВАРТАЛОВ

Т.С. САНАЕВА, доц. МГУЛ, канд. с.-х. наук,
Е.В. КУТЬЕВА, асп. каф. ЛА и СПС МГУЛ

tsanaeva@gmail.com, ekaterina.kutyeva@gmail.com

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Озелененные территории являются важной составляющей повседневной жизни. Вопросы формирования комфортной среды для жизни в городах и, в частности, развитие озелененных территорий в настоящее время приобрели особую актуальность. В Северо-Восточном административном округе г. Москвы стержнем, объединяющим пространственные решения городского ансамбля, является «зеленый оазис» площадью 520 га, сформированный из таких объектов, как Останкинский парк, Всероссийский выставочный центр, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук. ГБС РАН является самым крупным из вышеперечисленных объектов зеленым массивом и занимает площадь 331,5 га, он на равных с другими парками своего округа несет все нагрузки, связанные с урбанизацией. Коллекции сада привлекают не только специалистов – ежегодно в сад приходят более полумиллиона посетителей. Территория ботанического сада активно используется не только в просветительских, но и в рекреационных целях, является центром притяжения и неотъемлемой частью жизни горожан. Концентрация посетителей в особо привлекательных местах очень велика. Они вытаптывают напочвенный покров и лесную подстилку, оставляют мусор, появляются несанкционированные входы, велосипедисты активно используют не предназначенные для велосипедов грунтовые тропы, уплотняя тем самым почву, недобросовестные посетители растаскивают растения из коллекций. Рекреационное использование любого озелененного пространства требует определенного уровня благоустройства как с точки зрения посетителей, так и с точки зрения охраны насаждений (установление специальных режимов пользования для отдельных участков, выделение и сохранение ядер экологического равновесия, обеспечение устойчивой структуры насаждений). В статье рассмотрены вопросы изучения рекреационных зон территории ботанического сада. Представлен анализ развития территорий, прилегающих к ботаническому саду. Рассмотрены недостатки существующих норм для расчета рекреационной нагрузки.

Ключевые слова: оценка, ботанический сад, лесопарк, рекреационная нагрузка, посещаемость, транспортно-пересадочный узел.

Сегодня в связи с растущими темпами урбанизации в России остро стоит вопрос, как сделать города удобными и комфортными для жизни людей. Озелененные территории являются важной составляющей повседневной жизни. По данным декана Высшей школы урбанистики НИУ ВШЭ А.А. Высоковского, озвученным на Ландшафтном форуме «Городской парк» 25.03.2013г., 58 % людей, посещающих парк, ходят туда ежедневно или несколько раз в неделю [1]. Вопросы формирования комфортной среды для жизни в городах и, в частности, развитие озелененных территорий в настоящее время приобрели особую актуальность. Повышение содержания углекислого газа в атмосфере и переуплотнение почвы, жесткое монолитное покрытие улиц, наличие подземных коммуникаций и сооружений в зоне корневой системы растений, круглосуточное освещение, механические и химические повреждения, интенсивная рекреация — все

это оказывает постоянное негативное влияние на декоративные качества и жизнедеятельность растений в условиях урбанизированной среды [2]. Возникла острая необходимость экологической реконструкции городских зеленых рекреационных пространств — фрагментов городской среды, имеющих важный градостроительный статус: насаждения в качестве полноправного конструктивного элемента участвуют в организации городского пространства. Так, в Северо-Восточном административном округе стержнем, объединяющим пространственные решения городского ансамбля, является «зеленый оазис» площадью 520 га, сформированный из таких объектов, как Останкинский парк, Всероссийский выставочный центр (ВВЦ, ВДНХ), Главный ботанический сад Российской академии наук (ГБС РАН) им. Н.В. Цицина.

Парки, составляющие систему «зеленого оазиса», выполняют множество функций:

участвуют в формировании архитектурно-художественного облика города, обеспечивают рекреационные потребности населения, защищают от транспортного и других шумов, поглощают токсины, углекислый газ, насыщают воздух кислородом, регулируют микроклимат в пределах объекта и на прилегающих территориях, а также создают условия, способствующие устойчивому развитию самого насаждения. ГБС РАН является самым крупным из вышеперечисленных объектов зеленым массивом и занимает площадь 331,5 га. Он на равных с другими парками своего округа несет все нагрузки, связанные с урбанизацией, однако главная цель и задача ботанических садов – сохранение разнообразия флоры и осуществление научно-просветительской деятельности. Согласно Федеральному закону от 14 марта 1995 г. N 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях», ботанические сады являются особо охраняемыми природными территориями, созданными для формирования специальных коллекций растений в целях сохранения растительного мира и его разнообразия. На территориях ботанических садов запрещена деятельность, не связанная с выполнением их задач и влекущая за собой нарушение сохранности флористических объектов. Территория ГБС РАН уникальна не только обширной коллекцией растений, но и редким для Москвы массивом векового дуба, значительная часть которого объявлена заповедной [3].

Первоначально предполагалось разместить ГБС РАН на Воробьевых горах, где до середины прошлого века находился питомник сада. Но выбрали Останкино, где сохранились естественные лесные массивы – Ерденьевская роща, Останкинская дубрава и Леоновский лес. Первое упоминание этих мест в хрониках датируется 1584 г. Это земли, принадлежавшие князьям Черкасским, а с 1743 г. они стали собственностью Шереметьевых. В тот момент был установлен заповедный режим на территории. К концу XIX в. из-за активного застраивания территории дачами состояние лесных массивов заметно ухудшилось. Благодаря строительству ГБС РАН территории возвращался заповедный статус [4]. Так, в центральной части территории оказалась уникальная дубрава,

средний возраст деревьев которой превышает 150 лет, но можно встретить и двухсотлетние экземпляры. Чтобы оставить по возможности нетронутыми уникальные лесные массивы, биологи и архитекторы отошли от канонов и разместили основные коллекции растений не в центральной части, как высаживается в большинстве ботанических садов, а вокруг дубравы, по ее периферии. Дубрава отгорожена от остальной территории сада, вход в нее доступен только для научных сотрудников, контролирующих изменения растительного покрова и подлеска. Такой образец нетронутой природы в черте огромного мегаполиса – явление уникальное, требующее особо бережного отношения и постоянного контроля за состоянием леса в условиях интенсивного антропогенного воздействия [5].

Собранные за годы существования ГБС РАН коллекции – это богатейший музей, его фонды насчитывают 17 тыс. видов сортов и форм растений. Коллекции сада привлекают не только специалистов – ежегодно в сад приходят более полумиллиона посетителей [5]. Территория ГБС РАН активно используется не только в просветительских, но и в рекреационных целях, является центром притяжения и неотъемлемой частью жизни горожан. Ежедневно, а особенно по выходным дням, сотни жителей города и туристов посещают ГБС РАН. Концентрация посетителей в особо привлекательных местах очень велика. Они вытаптывают напочвенный покров и лесную подстилку, оставляют мусор, появляются несанкционированные входы, велосипедисты активно используют не предназначенные для велосипедов грунтовые тропы, уплотняя тем самым почву, недобросовестные посетители растаскивают растения из коллекций. Рекреационное использование любого озелененного пространства требует определенного уровня благоустройства как с точки зрения посетителей (площадки различного назначения, автомобильные стоянки, пешеходные дорожки, организованные входы), так и с точки зрения охраны насаждений (установление специальных режимов пользования для отдельных участков, выделение и сохранение ядер экологического равновесия, обеспечение устойчи-

вой структуры насаждений). Как говорилось ранее, основные цели и задачи ГБС РАН – это сохранение разнообразия генофонда флоры как части биологического разнообразия и осуществление научной, учебной и просветительской деятельности. Большую часть территории ГБС РАН занимают экспозиционные участки и заповедный лесной массив. Но обеспеченность ландшафтно-рекреационными территориями в районе невысокая, и ГБС РАН является крупнейшим «зеленым» рекреационным ядром, которое притягивает достаточно большое количество посетителей с западной и северо-западной границы. Основные посетители в будни – это жители района, в выходной день нагрузка увеличивается, так как добавляются приезжающие из других районов и туристы.

Для понимания противоречий сложившейся ситуации следует процитировать текст Федерального закона от 14 марта 1995 г. N 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях»

Статья 29. Режим особой охраны территорий дендрологических парков и ботанических садов

1. На территориях дендрологических парков и ботанических садов запрещается всякая деятельность, не связанная с выполнением их задач и влекущая за собой нарушение сохранности флористических объектов.

2. Территории дендрологических парков и ботанических садов могут быть разделены на различные функциональные зоны, в том числе:

а) экспозиционную, посещение которой разрешается в порядке, определенном соответствующими органами и учреждениями, осуществляющими управление дендрологическими парками или ботаническими садами;

б) научно-экспериментальную, доступ в которую имеют только научные сотрудники дендрологических парков или ботанических садов, а также специалисты других научно-исследовательских учреждений;

в) административную.

Постоянный рост города и его изменения в пространстве и во времени, а также изменения в обществе и в потребностях горожан, приводят к тому, что окружающая сре-

да должна своевременно трансформироваться и переоцениваться, чтобы удовлетворять нужды жителей. На данный момент вопрос развития буферных территорий Главного ботанического сада для удовлетворения нужд рекреации жителей окружающих районов и предотвращение неконтролируемой рекреации на охраняемых функциональных зонах – одна из острых проблем, стоящих перед администрацией сада и города.

Перспективы развития городских территорий, граничащих с ГБС РАН, также требуют пристального внимания специалистов. Так, на 2015 и 2016 гг. ОАО «Московская кольцевая железная дорога» (ОАО МКЖД) запланировано строительство двух транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) обеспечивают взаимодействие различных видов транспорта и связь транспортной инфраструктуры со средой агломерации с целью оптимизации перевозочного процесса), граничащих с ГБС РАН. Один – у ст.м. Ботанический сад общей площадью 14,5 га, ожидаемый пассажиропоток – 9,4 тыс. чел./час в час пик, с запада к территории примыкают водоохранная, береговая и прибрежная зоны реки Яуза, с юга – ГБС РАН. Второй – у ст. м. Владыкино общей площадью 20,2 га, пассажиропоток – 10,5 тыс. чел./ч в час пик. Основные планировочные и транспортные связи: Алтуфьевское ш., ул. Ботаническая и Станционная, Сигнальный проезд [6].

Формирование ТПУ и развитие прилегающих к ТПУ территорий (утвержден проект планировки жилого комплекса на территории бывшего зеркального комбината, по результатам реализации проекта прогнозируемое количество жителей квартала составит 4,7 тыс. чел.) предполагает увеличение пассажиропотока до 300 тыс. чел./день, что, в свою очередь, приведет к увеличению антропогенной нагрузки на уникальную территорию ГБС РАН. Вследствие этого возникла необходимость пересмотра целого ряда традиционных методов исследования и представлений о менеджменте и содержании Ботанического сада. Появилась потребность анализа перспективного развития городских кварталов, прилегающих к ботаническому саду, для оп-

Регистрация посетителей [6]
Visitor registration [6]

Дата наблюдения	Время наблюдения	День недели	Общая площадь пробных площадей	Единовременное количество посетителей на всех пробных площадях
29/04/2014	10 ⁰⁰ –12 ⁰⁰	вторник	10 га	186
29/04/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	вторник	10 га	293
03/05/2014	11 ⁰⁰ –13 ⁰⁰	суббота	10 га	456
03/05/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	суббота	10 га	563
06/05/2014	10 ⁰⁰ –12 ⁰⁰	вторник	10 га	204
06/05/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	вторник	10 га	248
10/05/2014	11 ⁰⁰ –13 ⁰⁰	суббота	10 га	496
10/05/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	суббота	10 га	596
13/05/2014	10 ⁰⁰ –12 ⁰⁰	вторник	10 га	211
13/05/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	вторник	10 га	271
17/05/2014	11 ⁰⁰ –13 ⁰⁰	суббота	10 га	591
17/05/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	суббота	10 га	686
20/05/2014	10 ⁰⁰ –12 ⁰⁰	вторник	10 га	152
20/05/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	вторник	10 га	183
24/05/2014	11 ⁰⁰ –13 ⁰⁰	суббота	10 га	565
24/05/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	суббота	10 га	664
27/05/2014	10 ⁰⁰ –12 ⁰⁰	вторник	10 га	179
27/05/2014	17 ⁰⁰ –19 ⁰⁰	вторник	10 га	206

Ориентировочный уровень предельной рекреационной нагрузки
Indicative rate limiting recreational loading

Тип рекреационного объекта населенного пункта	Предельная рекреационная нагрузка – число единовременных посетителей в среднем по объекту, чел./га	Радиус обслуживания населения (зона доступности)
Лес	Не более 5	–
Лесопарк	Не более 50 доступн.	15–20 мин. трансп.
Сад	Не более 100	400–600 м
Парк (многофункционал.)	Не более 300	1,2–1,5 км
Сквер, бульвар	100 и более	300–400 м

Примечание: 1. На территории объекта рекреации могут быть выделены зоны с различным уровнем предельной рекреационной нагрузки. 2. Фактическая рекреационная нагрузка определяется замерами, ожидаемая – рассчитывается по формуле $R = Ni/S_i$, где R – рекреационная нагрузка, Ni – количество посетителей, S_i – площадь рекреационной территории (количество посетителей, одновременно находящихся на территории рекреации, рекомендуется 10–15 % от численности населения, проживающего в зоне доступности объекта рекреации)

ределения дальнейшей стратегии развития зон рекреации.

Один из важнейших критериев оценки антропогенного воздействия на природную среду – рекреационная нагрузка, т.е. максимальное количество посетителей парка на единицу его площади за определенный промежуток времени [8].

На первом этапе исследования перед нами стояла задача подсчета существующей рекреационной нагрузки для сравнения с предельно допустимой. Для фактического под-

счета посетителей на территории ГЭС РАН был выбран регистрационно-измерительный метод, который предназначен для проведения наблюдений и основан на регистрации посетителей и времени пребывания на пробных площадях [6]. Для определения более характерных пробных площадей были исследованы границы территории ГЭС РАН, а также проанализирована поведенческая активность посетителей и характер распределения данной активности на территории – интенсивность движения посетителей. Выделены места лока-

лизации рекреационного спроса. Наибольшее количество посетителей попадает на территорию через главный вход и вход со стороны метро Владыкино. Из неофициальных входов большей популярностью пользуется вход с ул. Сельскохозяйственная по восточной границе сада. В качестве пробных площадей (1 га каждая) были выбраны участки, прилегающие к входам (санкционированным и не санкционированным), и выявленные участки притяжения посетителей ГБС РАН. Регистрация проводилась 2 раза в неделю в будни и выходные дни по 2 раза в сутки – утром и вечером в период с 29.04.14 по 27.05.14 (табл. 1)

Фактическая рекреационная нагрузка на пробных площадях в период наблюдения с 29.04.14 по 27.05.14 – 37,5 чел./га

Для определения предельно допустимой и ожидаемой рекреационной нагрузки мы воспользовались приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 27 декабря 2011 г. № 613 (табл. 2) [7].

Границей исследования для подсчета ожидаемой рекреационной нагрузки является территория в рамках радиуса пешеходной доступности 1 км или 15 мин – максимальное расстояние (время), необходимое для достижения гражданами озелененной территории. На севере с ГБС РАН граничит железная дорога, которая является мощнейшим труднопреодолимым разделителем территории и препятствием для доступа посетителей. Градостроительное окружение с западной стороны представлено жилой застройкой района «Марфино» и гостиничными корпусами. С юга территория граничит с территорией ВДНХ и Останкинским парком. По результатам вышеизложенного анализа градостроительной ситуации, можно сделать вывод, что на данный момент основными потребителями рекреационной функции ГБС РАН являются жители района Марфино. Район занимает территорию в 268 га, в нем насчитывается 13 улиц и 1 станция метро (Владыкино). Численность населения составляет порядка 22 тыс. чел. [9]. Если количество посетителей, одновременно находящихся на территории ГБС РАН, принять 15 % от численности населения района Марфино, то расчет ожидаемой

рекреационной нагрузки выглядит следующим образом

$$Ni = 3300; S_i = 331,5;$$

$$R = N/S_i = 3300/331,5 = 9,95.$$

Фактическая и ожидаемая рекреационная нагрузка определялись без учета посетителей, осуществляющих на территории сада учебную и научно-просветительскую деятельность, так как целью исследования было определение фактического числа посетителей, посещающих ГБС РАН с целью рекреации.

Согласно приказу Министерства регионального развития Российской Федерации от 27 декабря 2011 г. № 613 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке норм и правил по благоустройству территории муниципальных образований» рекреационная нагрузка 25–50 чел./га предполагает среднерегулируемый режим использования территории посетителями. Для предотвращения деградации растительности на объекте следует предусмотреть следующие проектные мероприятия: организация дорожно-тропиночной сети плотностью 12–15 %, прокладка экологических троп, создание на опушках полян буферных и почвозащитных посадок, применение устойчивых к вытаптыванию видов травянистой растительности, создание загущенных защитных полос вдоль автомагистралей, пересекающих массив или идущих вдоль границ. Мероприятия по благоустройству для ботанических садов не предусмотрены, так как их основная функция – сохранение генофонда флоры и интродукция растений. Деятельность, влекущая за собой нарушение флоры на территории, запрещена.

ГБС РАН является объектом с приоритетом научных исследований, результаты которых в оценке эффективности работы относятся к основному показателю. Несмотря на этот общепризнанный факт, сад обладает большими территориями, которые активно посещаются жителями. Главный ботанический сад РАН в структуре московского мегаполиса защищен охранным законодательством, в рамках которого ведется хозяйственная и коммерческая деятельность: проведение экскурсий на коллекционные участки, проведение семинаров и конференций, продажа комнатных растений.

Интенсивность деятельности невысока, что говорит о низкой эффективности использования территории. Структурные изменения последних лет в московских парках, а также проведенные нами исследования ООПТ Москвы подтверждают сформировавшийся социальный запрос активного городского населения. Горожане готовы потреблять многочисленные услуги, предлагаемые в парках: прокат оборудования, кружки, выставки, лекторий, кафе, каток. Однако не все виды можно применить на территориях таких объектов, как ботанические сады. Необходима осторожность в регулировании рекреационной нагрузки на заповедных и коллекционных участках. Системные исследования вопросов интеграции объектов природного и культурного наследия садово-паркового искусства и ботанических садов ряда стран говорят о больших возможностях взаимовыгодного развития территорий.

Таким образом, следует провести междисциплинарное исследование, которое позволит спланировать размещение внутренних центров притяжения для посетителей, ориентированных на активное рекреационное использование. Конечной целью исследований является комплекс долгосрочных мероприятий по устойчивому с экологической и научной точек зрения развитию ГБС РАН, где будут отражены потребности посетителей сада и соответствия сформировавшемуся социальному запросу [10].

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Кутьева, Е.В. Оценка возможностей развития и потенциала внутригородских зеленых территорий на основе сравнительных показателей результативности / Е.В. Кутьева // Сб. научных статей докторантов и аспирантов МГУЛ. – Вып. 364. – М.: МГУЛ, 2013. – С. 60–63.
2. Ерохина, В.И. Озеленение населенных мест: Справочник / В.И. Ерохина, Г.П. Жеребцова, Т.И. Вольфтруб. – М.: Стройиздат, 1987. – С. 6–9.
3. Рысин, Л.П. Урболесоведение / Л.П. Рысин, С.Л. Рысин. – М.: Товарищество научных изданий КМК. – 2012. – С. 233.
4. Скворцов, А.К. Предыстория / А.К. Скворцов // Природа, 2005. – № 12. – С. 4–6.
5. Демидов, А.С. Главный сад России / А.С. Демидов, В.Г. Шатко // Природа, 2005. – № 12. – С. 7–24.
6. Стандарт отрасли ОСТ 56-100-95 «Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы» (утв. приказом Рослесхоза от 20 июля 1995 г. N 114)
7. Официальный сайт ОАО «Московская кольцевая железная дорога» <http://mkzd.ru/project/proekty-tpu/severo-vostochnyy-administrativnyy-okrug.php>
8. Теодоронский, В.С. Озеленение населенных мест. Градостроительные основы / В.С. Теодоронский, Г.П. Жеребцова. – М.: Академия, 2010. – 256 с.
9. Официальный сайт управы Марфино <http://mosopen.ru/region/marfino>
10. Фролова, В.А. Особенности формирования коммерческих центров притяжения посетителей в ботанических садах / В.А. Фролова, Е.В. Кутьева // Материалы VI научно-практической конференции «Ландшафтная архитектура в ботанических садах и дендропарках». Никитский ботанический сад, г. Ялта, Республика Крым, 2014. – С. 94.

RESEARCH OF RECREATIONAL ACTIVITY ON THE TERRITORY GBG OF TSITSINA RAS IN CONDITIONS OF INTENSIVE DEVELOPMENT OF THE ADJACENT CITY BLOCKS

Sanaeva T.S., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Agricultural); Kutyova E.V., pg. MSFU

tsanaeva@gmail.com, ekaterina.kutyeva@gmail.com,

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischy, Moscow reg., Russia

Green spaces are an important part of everyday life. The issues of ensuring comfortable environment for the city life and the development of green areas in particular recently acquired special importance. The core element of the urban ensemble of the North-Eastern Administrative District of Moscow is a «green oasis» area of 520 hectares, including such objects as the Ostankino Park, the All-Russian Exhibition Centre, the Tsitsin Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. The Botanical Garden of the Academy of Sciences is the largest of these areas and is a green array which covers an area of 331.5 hectares, and it bears all the loads associated with urbanization on par with other parks his district. The Garden collections attract not only the specialists - annually over half a million visitors come to the garden. The Botanical Garden is widely used not only for education, but also for recreational purposes, is the center and an integral part of the city life. Concentration of visitors in the particularly attractive places is very high. They trample the ground cover and litter; unauthorized entrances appear; cyclists actively use the earth trails not designed for bikes compacting the soil, unscrupulous visitors take away the plant from the collections. Recreation use of any green space requires a certain level of redevelopment both in terms of visitors and of plant protection (the site for various purposes, car parks, footpaths, organized entrances, the establishment of the special modes of use for the individual sites, the selection and preservation of core environmental equilibrium, sustainable patterns of plantations). The article lists the issues of recreational zones territories research. The development analysis of the territories adjoining to botanical garden is submitted. The disadvantages of the existing norms for calculating the recreation of loads are considered.

Keywords: assessment, botanical garden, forest park, recreational loading, attendance, transport and transfer knot.

References

1. Kut'eva E.V. *Otsenka vozmozhnostey razvitiya i potentsiala vnutrigradskikh zelenykh territoriy na osnove sravnitel'nykh pokazateley rezul'tativnosti* [Assessment of development opportunities and potential intra-green areas on the basis of comparative performance indicators]. Moscow: MSUF, 2013, pp. 60-63.
2. Erokhina V.I., Zherebtsova G.P., Vol'frub T.I. *Ozelenenie naselennykh mest*: [Gardening of places: Directory]. Moscow: Stroyizdat, 1987. p. 6-9.
3. Rysin L.P., Rysin S.L. *Urbolesovedenie* [Urbolesovedenie] Moscow.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012, pp. 233.
4. Skvortsov A.K. *Predystoriya* [Background] Priroda Publ., 2005. № 12. pp. 4–6.
5. Demidov A.S., Shatko V.G. *Glavnyy sad Rossii* [The main garden Russia] Priroda Publ. 2005. № 12. pp.7–24.
6. *Standart otrasli OST 56-100-95 Metody i edinitsy izmereniya rekreatsionnykh nagruzok na lesnye prirodnye komplekсы* [Methods and units recreational pressure on the natural complex] utv. prikazom Rosleskhoza ot 20 iyulya 1995 g. № 114.
7. *Ofitsial'nyy sayt OAO Moskovskaya kol'tsevaya zheleznaya doroga* [Moscow Ring Railway] <http://mkzd.ru/project/proekty-tpu/severo-vostochnyy-administrativnyy-okrug.php>.
8. Teodoronskiy V.S., Zherebtsova G.P. *Ozelenenie naselennykh mest. Gradostroitel'nye osnovy* [Greening populated areas. Town planning framework.] Moscow: Akademiya Publ, 2010. 256 p.
9. *Ofitsial'nyy sayt upravy Marfino* [Official site of the council Marfino] [elektronnyy resurs] :<http://mosopen.ru/region/marfino>
10. Frolova V.A., Kut'eva E.V. *Osobennosti formirovaniya kommercheskikh tsentrov prityazheniya posetiteley v botanicheskikh sadakh* [Features of formation of the commercial centers of attraction of visitors to the botanical gardens]. *Materialy VI nauchno-prakticheskoy konferentsii «Landschaftnaya arkhitektura v botanicheskikh sadakh i dendroparkakh»*. Nikitskiy botanicheskiy sad [Proc. 6th Int. Symp. «Landscape Architecture in the botanical gardens and arboretum.» Nikita Botanical Garden] Yalta, Respublika Krym, 2014, pp. 94.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ОТ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

В.Ф. ДАВЫДОВ, проф. каф. БЖД МГУЛ, канд. техн. наук,

Ю.П. БАТЫРЕВ, доц. каф. ИИС и ТП МГУЛ, канд. техн. наук

batyrev@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Существующие способы оценки состояния атмосферного воздуха с точки зрения определения объема выбросов от природных пожаров имеют ряд ограничений – невозможность непосредственного использования для площадных источников, к которым относится природный пожар, большая величина методической ошибки, равная сумме относительных ошибок каждого параметра исходной формулы, локальность получаемых результатов измерений, привязанная только к трассе узкого луча зондирования, однокомпонентная оценка загрязнения атмосферы углекислым газом, в то время как выбросы природного пожара содержат множество вредных веществ, в основном высокодисперсные аэрозоли. В статье рассматривается способ определения объема выбросов в атмосферу от природных пожаров дистанционным методом с использованием цифровой видеосъемки и гиперспектрометра, установленных на борту космического аппарата. Обработка полученных изображений состоит в выделении методами пространственного дифференцирования функции яркости $I(x,y)$ градиентного контура пожара на видеоизображении и расчет концентрации q_{Σ} (мг/м³) вредных выбросов от пожара по измеренному гиперспектрометром эталонному затуханию светового луча, построение гистограммы яркости пикселей внутри контура и их калибровку в значениях измеренной концентрации для пикселей центрального участка кадра видеоизображения.

Ключевые слова: природные пожары, дистанционный мониторинг, объем выбросов, загрязнение атмосферы, функция яркости.

Промышленный прогресс неизбежно связан с увеличением выбросов в атмосферу, так называемых «парниковых газов», вызывающих положительный тренд средней температуры Земли. Последнее обуславливает значительный рост природных пожаров в глобальном масштабе. Последствия природных пожаров (лесных, торфяных) привели к образованию смогов в европейской части России в 2010 г. продолжительностью до 2 месяцев, повысивших уровень ежедневной смертности в Москве в несколько раз.

Контроль загрязнения атмосферы является составной частью обязанностей государств, подписавших Киотский протокол по экологическому мониторингу природных сред.

Оценка состояния атмосферы проводится путем расчета индекса состояния. Обычно индекс состояния q_{Σ} рассчитывают для пяти составляющих, определяющих основную вклад в загрязнение атмосферы [1]

$$q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 \left[\frac{m_i}{CH_i} \right]^j,$$

где m_i – средняя за год концентрация i -го вещества в атмосфере, мг/м³;

CN_i – предельно допустимая санитарная норма i -го вещества в атмосферном воздухе, согласно [2];

j – показатель степени изоэффективности вредного вещества, равный 0,85; 1; 1,3; 1,5 для веществ, соответственно, IV, III, II и I классов опасности.

Существует способ решения обратных задач по определению мощности выброса источника M (мг/с) по заданному уровню максимальной приземной концентрации C_k (г/м³) при прочих фиксированных параметрах выброса [3]

$$M = \frac{C_k \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V_1 \Delta T},$$

где H – высота источника выброса (для наземных источников $H = 2$ м);

A – метеорологический коэффициент высотной стратификации атмосферы, при котором концентрация вредных веществ в атмосфере максимальна. Для Московской, Тульской, Рязанской, Костромской, Владимирской, Ивановской обл. $A = 140$;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере [для мелкодисперсных аэрозолей $F = 1$, для крупнодисперсных $F \approx 3$];

m, n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья (для природных пожаров $m, n \rightarrow 1$);

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (для перепада высот до 50 м $\eta \rightarrow 1$);

$V_1 = \pi D^2 / 4 \times \omega_0$ – расход газовой смеси, D (м) – диаметр устья, ω_0 – средняя скорость выхода газов воздушной смеси;

ΔT – разность между температурами газовой смеси и окружающего воздуха.

Недостатками такого подхода являются:

– невозможность непосредственного использования формулы для площадных источников, к которым относится природный пожар;

– большая величина методической ошибки, равная сумме относительных ошибок каждого параметра исходной формулы, что делает неприемлемым непосредственное использование такого подхода.

Существуют также другие способы определения концентрации выбросов в атмосферном воздухе, в том числе дистанционными методами [4–9]. Так в [4] путем лабораторных наземных измерений выбирают равное количество смежных спектральных полос поглощения кислорода O_2 и углекислого газа CO_2 в ближнем инфракрасном диапазоне, осуществляют с космического носителя спектрометрические измерения на выбранных спектральных полосах светового потока, отраженного от подстилающей поверхности и дважды прошедшего атмосферу, рассчитывают энергию регистрируемых сигналов в полосе кислорода

$$W(O_2) = \sum_n \left[\frac{I_i(O_2)}{\lambda_{i_i}(O_2)} \right]^2$$

и углекислого газа

$$W(CO_2) = \sum_n \left[\frac{I_i(CO_2)}{\lambda_{i_i}(CO_2)} \right]^2,$$

вычисляют суммарные потери на затухание в полосах O_2 и CO_2 как разницу между энергией эталонного, по Планку, солнечного спектра в тех же полосах $W_{\text{этал}}(O_2)$ и $W_{\text{этал}}(CO_2)$ и энергией зарегистрированных сигналов

$$\Delta W(O_2) = W_{\text{этал}}(O_2) - W(O_2);$$

$$\Delta W(CO_2) = W_{\text{этал}}(CO_2) - W(CO_2),$$

а концентрацию углекислого газа в атмосфере по трассе полета носителя в каждом кадре спектрометрических измерений рассчитывают из соотношения

$$CO_2(\%) = O_2(\%) \Delta W(CO_2) / \Delta W(O_2),$$

где $O_2(\%)$ – концентрация кислорода в атмосфере, равная 21 %,

$I_i(O_2), I_i(CO_2)$ – амплитуды регистрируемых сигналов каждого из газов,

λ_{i_i} – средняя длина волны спектральной линии,

n – количество спектральных линий в каждой полосе.

Недостатками такого подхода можно считать:

– локальность получаемых результатов измерений, привязанная только к трассе узкого луча зондирования;

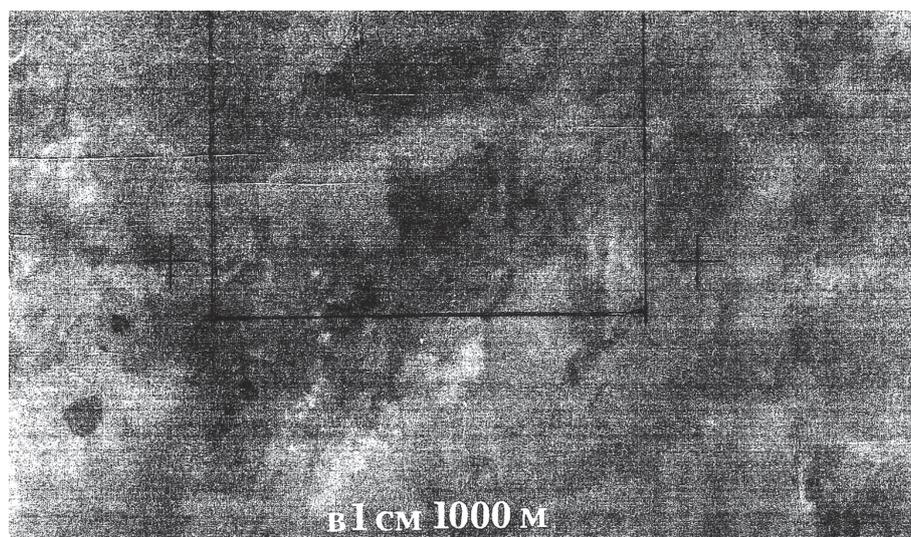


Рис. 1. Исходное видеоизображение пожара с соосным положением щели спектрометра в кадре
Fig. 1. Starting a fire with the video coaxial position of the spectrometer slit in the frame

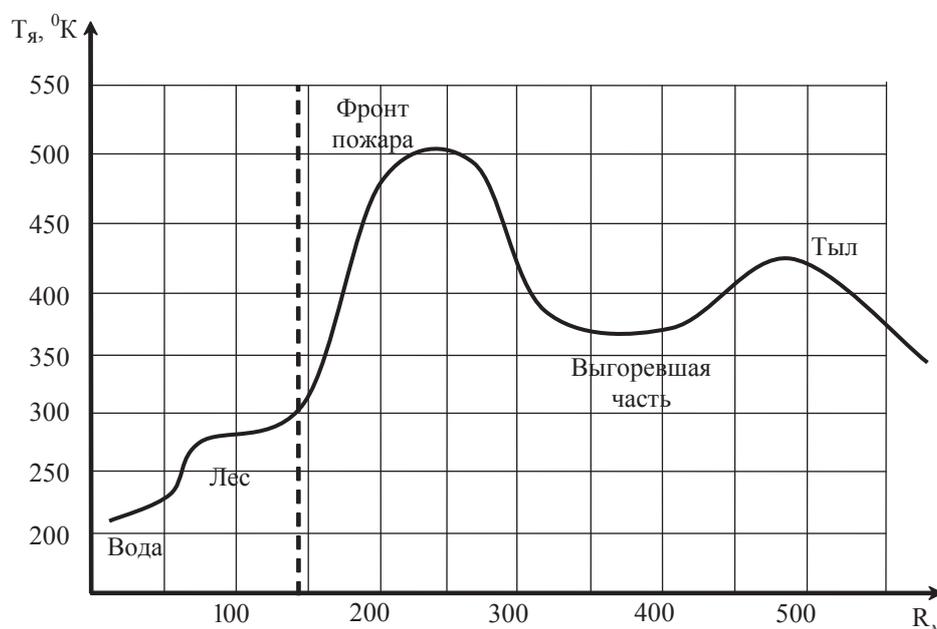


Рис. 2. Характерный профиль радиоярких температур над пожаром
Fig. 2. The typical profile of brightness temperature over a fire

– однокомпонентность оценки загрязнения атмосферы углекислым газом, в то время как выбросы природного пожара содержат множество вредных веществ, в том числе, в основном, высокодисперсные аэрозоли.

Способ, предлагаемый авторами, состоит в выделении контура пожара на генерализованном изображении подстилающей поверхности с калибровкой пикселей яркости внутри контура пожара по эталонным спектрометрическим измерениям в значениях суммарного загрязнения атмосферы q_{Σ} (мг/м³) и

расчет объема выбросов V (т) как произведения площади S контура пожара, на среднестатистическое значение m_{Σ} (мг/м³) суммарного загрязнения и метеорологический коэффициент стратификации атмосферы $A = 140$ и высоту H (м) источника выбросов.

Таким образом, предлагаемый способ определения объема выбросов в атмосферу от природных пожаров включает синхронную съемку подстилающей поверхности цифровой видеокамерой и гиперспектрометром, установленными на космическом носителе,

с положением входной щели спектрометра соосно центральному участку кадра видеоизображения. Дальнейшая обработка состоит в выделении методами пространственного дифференцирования функции яркости $I(x,y)$ градиентного контура пожара на видеоизображении и расчет концентрации q_{Σ} вредных выбросов от пожара по измеренному гиперспектрометром эталонному затуханию светового луча, дважды прошедшего атмосферу в полосе поглощения кислорода 761–767 нм, концентрация которого в атмосфере считается известной, и его затуханию в видимом диапазоне, построение гистограммы яркости пикселей внутри контура и их калибровку в значениях измеренной концентрации для пикселей центрального участка кадра видеоизображения. Определение объема выбросов производится по формуле

$$V = m_{\Sigma} \cdot S \cdot A \cdot H, \text{ т}$$

где m_{Σ} – средняя концентрация суммарного загрязнения по всем прокалиброванным пикселям контура пожара, мг/м³,

S – площадь контура пожара, м²,

A – метеорологический коэффициент высотной температурной стратификации атмосферы,

H – высота источника выбросов, м.

Природные пожары возникают при антициклональных условиях, малооблачной или безоблачной погоде. Селектируемым признаком лесного (торфяного) пожара является шлейф дыма, который хорошо просматривается на изображении при безоблачной погоде и площадь которого в десятки раз превышает площадь возгорания. В отраженном солнечном излучении шлейф дыма представляется более светлой (белесой) полосой, начинающейся от фронта пожара (рис. 1). Кроме шлейфа дыма пожар характеризуется раскаленной поверхностью горящей древесины (пламя фронта) и остывающими углями (выгоревшая, тыловая часть).

В соответствии с законом смещения Вина, длина волны, соответствующая максимуму теплового излучения нагретого тела, определяется из соотношения λ_{\max} (мкм) = $(c = 2898 \text{ (мкм)})/T_{\max} \text{ (K)}$. Более 99 % энергии излучения пожара приходится на не-

видимую инфракрасную область спектра. Максимум теплового излучения пожара $T \in [1000^{\circ} \dots 1500^{\circ}]$ приходится на интервал 2–3 мкм. Поэтому в диапазоне длин волн $\lambda < 2$ мкм пожар не оказывает влияние на отраженное солнечное излучение. Дымы пожаров – это высокодисперсные аэрозоли с твердыми частицами. По изменению спектральной яркости определяют полосу размывания дыма по мере удаления от фронта источника. Изображение пожара содержит всю информацию о мощности источника: размер площади задымления, концентрации аэрозолей и других вредных продуктов горения.

Визуальное восприятие образа человеком-оператором происходит на уровне контурного рисунка. Контурный рисунок шлейфа дыма от пожара получают путем вычисления градиента скалярной функции яркости $I(x,y)$ видеоизображения в каждой точке изображения как [10]

$$\text{grad } I(x,y) = \frac{dI}{dx} \cdot i + \frac{dI}{dy} \cdot j.$$

Производные по направлению функции яркости задают векторное поле градиентов. Для получения контурного рисунка выбирают регулярный оператор с апертурой окна 2×2 элемента

i, j	$i, j+1$
$i+1, j$	$i+1, j+1$

Элементы окна связаны по диагоналям (двум взаимно ортогональным направлениям) операцией вычитания. Вычисляют оператор Робертса в каждой точке $R(i, j) = |I(i, j) - I(i+1, j+1)| - |I(i+1, j) - I(i, j+1)|$ и выводят на экран точки, для которых $R(i, j) \geq$ порог [11].

При больших значениях пороговой величины возможна потеря существенной информации, пропадание края контурного рисунка. При малых значениях порога появляется недопустимое число ложных линий, многоконтурность. Величину порога в каждом конкретном случае выбирают исходя из интервала значений функции яркости изображения. Выделенные контуры на изображении пожара (рис. 1) иллюстрируются рис. 3. Исходя из масштаба изображения, определяют разрешение одного пиксела. Число пикселей изображения пожара,

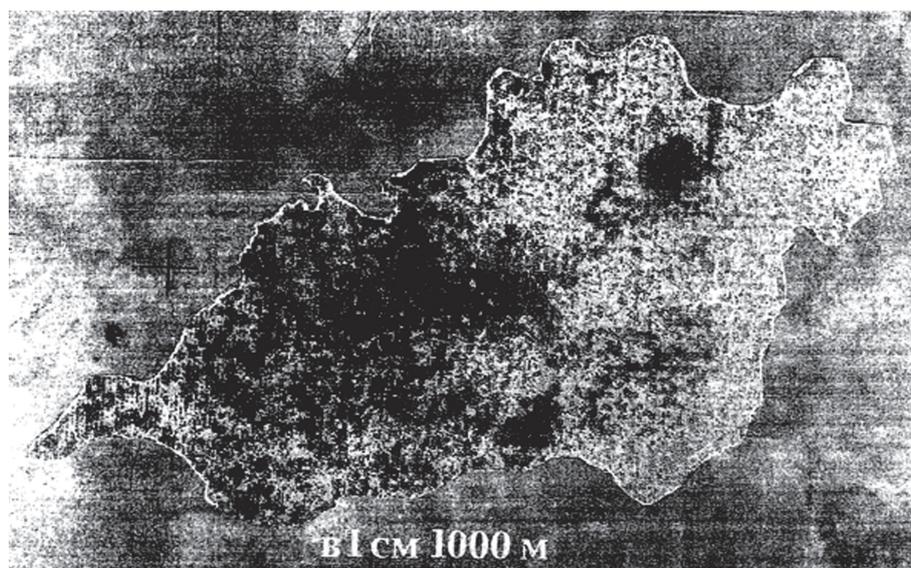


Рис. 3. Выделенные контуры градиентов функции яркости видеоизображения
Fig. 3. Path Selection gradients of brightness video

выделенного на фоне подстилающей поверхности, определяет площадь (S) распространения продуктов горения и мощность источника выбросов.

Яркость пикселей внутри выделенного контура зависит от мощности выбросов, размеров пожара и шлейфа, фронтальной или тыловой части пожара, отображаемых в кадре [12]. Следующей задачей является калибровка пикселей яркости в значениях концентрации вредных выбросов от пожара. В заявленном способе измерение концентрации вредных выбросов осуществляют по операциям ближайшего аналога на основе анализа поглощения светового луча, дважды прошедшего атмосферу в полосе поглощения кислорода (O_2), концентрация которого в атмосфере равна 21 %, и его поглощения вредными выбросами в видимом диапазоне. Способ спектрометрических измерений поглощения светового потока, дважды прошедшего атмосферу, иллюстрируется рис. 4. Для исчисления абсолютной величины затухания сигналов по трассе распространения в спектральных полосах измерений необходим эталон для сравнения. В качестве эталона используют функцию солнечного спектра $I(\lambda)$ по Планку. Эталонная (по Планку) функция солнечного спектра, нормированная по интенсивности, иллюстрируется графиком рис. 5.

Энергию затухания светового потока за счет поглощения вредными выбросами по

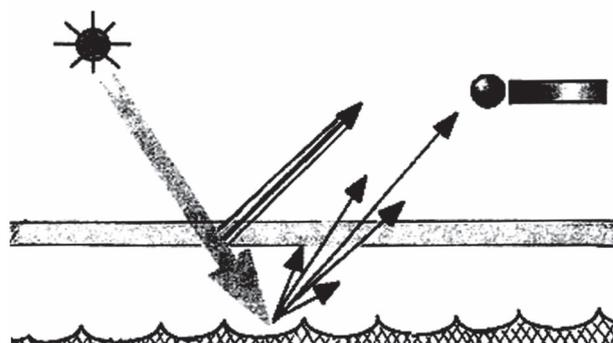


Рис. 4. Метод измерений затухания светового потока, дважды прошедшего атмосферу
Fig. 4. The method of measuring the attenuation of the light flux, twice the atmosphere of the past

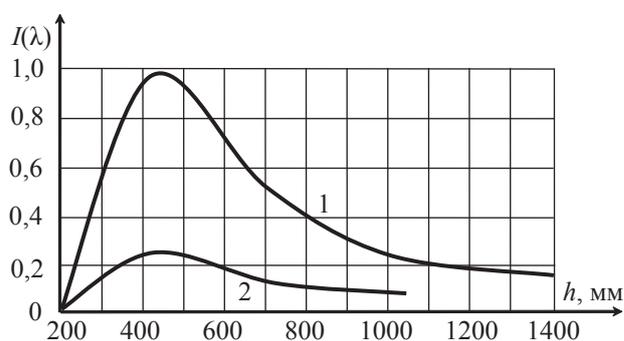


Рис. 5. Эталонный, по Планку, солнечный спектр (1), нормированный относительно максимума, и спектрограмма (2) реального пожара (одна из реализаций)
Fig. 5. benchmark by Planck, the solar spectrum (1), normalized relative to the maximum, and spectrogram (2) real fire (an implementation)

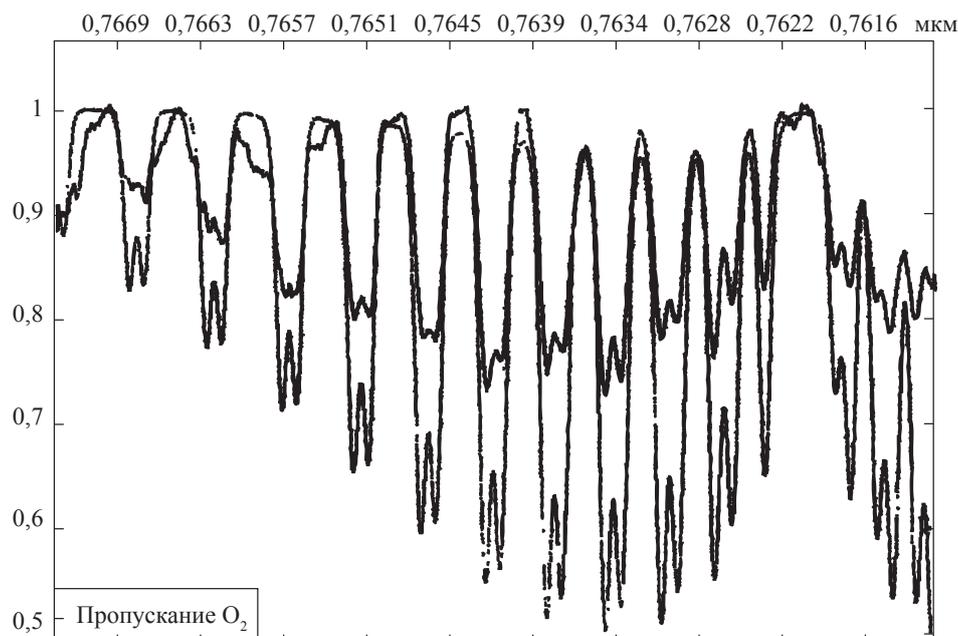


Рис. 6. Полоса поглощения светового потока молекулами кислорода атмосферы
 Fig. 6. The absorption band of the luminous flux of atmospheric oxygen molecules

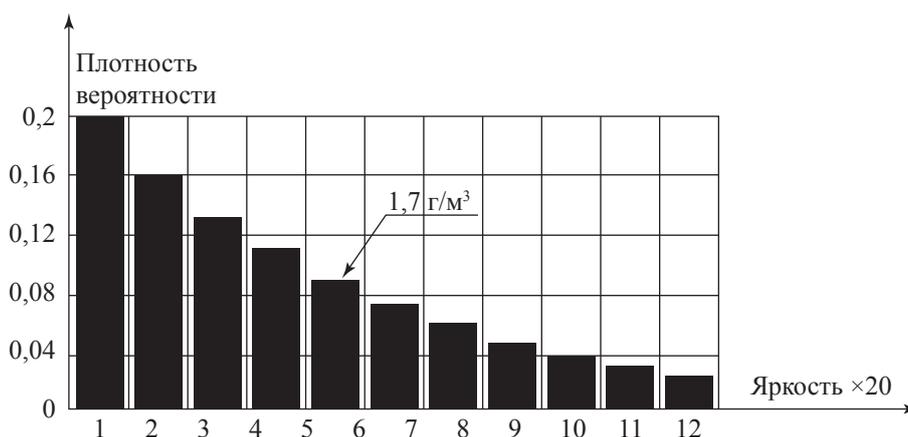


Рис. 7. Гистограмма пикселей яркости в контуре пожара и их калибровка в значениях концентрации вредных примесей, мг/м³
 Fig. 7. Histogram of pixel brightness in the loop of fire and their calibration values of the concentration of harmful impurities, mg/m³

трасе распространения, дважды прошедшего атмосферу, рассчитывают из соотношений

$$\Delta W(O_2) = W_{\text{этал}} - W(O_2);$$

$$\Delta W(\text{пож}) = W_{\text{этал}} - W(\text{пож}),$$

где $W(i)$ – энергия сигналов в спектральных полосах измерений,

$W_{\text{этал}}$ – энергия эталонного (по Планку) солнечного спектра в тех же спектральных полосах.

Энергия одного кванта (по квантовой теории Планка) $w = h\nu$, где h – постоянная Планка, ν – частота. Поскольку длина волны $\lambda = c/\nu$ (c – скорость света), то энергия кванта

$w = hc/\lambda$. Полную эталонную энергию светового потока вычисляют по соотношению Рэлея [13]

$$W_{\text{этал}} = \sum_i^n \left[\frac{I(\lambda_i)}{\lambda_i} \right]^2,$$

где $I(\lambda_i)$ – амплитуда эталонного сигнала на спектральной линии λ_i ;

n – количество спектральных линий в полосе затухания, на которых проводят измерения.

Устойчивость результата измерений, независимого от систематических ошибок, высоты Солнца, азимута зондирования, до-

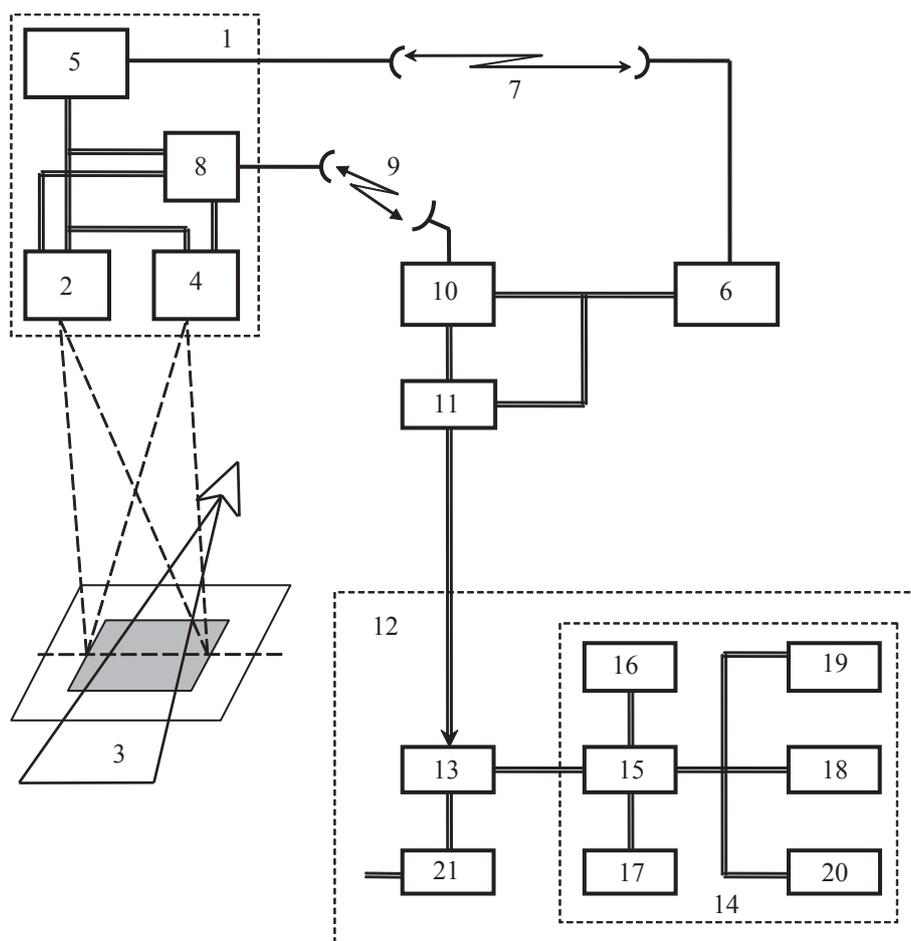


Рис. 8. Функциональная схема устройства
Fig. 8. Functional diagram of the device

стигается также использованием метода отношений измеряемых величин

$$q_{\Sigma} (\%) = O_2 (\%) \Delta W(\text{пож}) / \Delta W(O_2).$$

С учетом изложенного, приоритетное значение приобретает правильный выбор спектральных полос поглощения для кислорода (O_2) и вредных выбросов пожаров.

В качестве канала сравнения выбрана полоса поглощения атмосферного кислорода ≈ 764 нм, наиболее близкая к полосе видимого диапазона. Полоса поглощения (пропускания) кислорода иллюстрируется графиком рис. 6.

По расчетной суммарной концентрации вредных выбросов, для пикселей центрального участка кадра видеоизображения, осуществляют их калибровку для всего выделенного контура. Гистограмма яркости пикселей и расчетные значения суммарного загрязнения пикселей центрального участка иллюстрируются графиком рис. 7. Конкретные расчеты величин представлены в примере реализации.

Предложенный способ может быть реализован по схеме, показанной на рис. 8. Функциональная схема устройства содержит космический аппарат (КА) наблюдения 1, типа «Ресурс». На космическом аппарате установлена цифровая видеокамера 2, для получения изображения подстилающей поверхности 3 видимого диапазона (типа «DCS 760») и соосный гиперспектрометр 4 (типа «Астрогон») с положением входной щели, соответствующей центральному участку изображения видеокамеры. Трассовую по кадровую съемку запланированных регионов 3 осуществляют по командам от бортового комплекса управления (БКУ) 5 из Центра управления полетом (ЦУП) 6 по радиолинии командного управления 7. Результаты измерений записывают в буферное запоминающее устройство 8 и по командам БКУ, в зонах радиовидимости КА с наземных пунктов, сбрасывают по мобильному каналу связи 9 на пункты приема информации (ППИ) 10. После предварительной обработки

Расчетные величины параметров
The calculated values of the parameters

Тракт измерений	Полоса измерений, нм	Энергия эталонного сигнала, отн. ед.	Энергия регистрируемого сигнала	ΔW , затухание сигнала	Концентрация, %
O ₂	Ближ. ИК диапазон 7	0,14	0,08	0,06	21 %
Выбросы от пожаров	Видимый диапазон 300	0,454	0,4494	0,0046	1,6 %

кадров по служебным признакам (номер витка, время съемки, координаты участка) на средствах 11, информацию передают в Центр тематической обработки 12, где через устройство ввода 13 она вводится в ПЭВМ 14 в стандартном наборе элементов: процессор 15, винчестер 16, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) 17, дисплей 18, принтер 19, клавиатура 20. Результаты измерений концентрации вредных примесей по трассе полета КА выводятся на сервер 21 сети Интернет.

Гиперспектрометр «Астрогон-1» имеет три параллельных спектральных канала, в видимом 0,3–0,4; 0,4–0,65 мкм и ближнем инфракрасном диапазоне 0,65–0,9 мкм со спектральным разрешением 1–50 нм, разрядностью квантования 12 бит и углом поля зрения 0,11 [14].

Минимальная яркость пикселей внутри контура изображения составила: $I_{\min} = 19$, максимальная $I_{\max} = 242$, средняя $I_{\text{cp}} = 116$. При исходных данных трактов зондирования и полос поглощения кислорода (рис. 6), эталонной по Планку функции солнечного спектра (рис. 5(1)) и измеренным гиперспектрометром амплитудам (рис. 5(2)) расчетные величины параметров приняли значения, представленные таблице.

По измеренному процентному содержанию вредных примесей пожара в атмосфере воздуха рассчитывают их максимальную концентрацию для пикселей центрального участка кадра изображения, в которых измерялось эталонное затухание светового потока в кислороде атмосферы.

Известно, что один моль любого газа занимает объем, равный 22,4 л. Молярные веса окислов продуктов горения: CO₂ = 44 г, NO₂ = 46 г, SO₂ = 64 г.

В первом приближении (с учетом высокодисперсных аэрозолей) средний моляр-

ный вес продуктов горения принят равным ~ 50 г/моль. Концентрацию вредных примесей исчисляют из соотношения

$$m_{\max} (\text{мг/м}^3) = (1000 \text{ л} = 1 \text{ м}^3) \times \times \text{молярный вес} / 22,4 \text{ м} \times (\%);$$

$$m_{\max} = 1000 / 22,4 \times 50 \text{ г/моль} \times 1,6 \% = 3,5 \text{ г/м}^3.$$

Минимальная концентрация вредных примесей по размытым краям шлейфа дыма $m_{\min} = 0,29 \text{ г/м}^3$. Средняя концентрация вредных примесей внутри контура пожара $\bar{m}_{\Sigma} = 1,72 \text{ г/м}^3$.

Масштаб снимка видеоизображения на рис. 1 М:1 см = 1000 м. Площадь контура пожара (количество пикселей \times разрешение пикселя) составляет $S = 56 \cdot 10^6 \text{ м}^2$. Средняя высота (древостоя) источника выбросов $H = 15 \text{ м}$. Объем выброса загрязняющих веществ пожара $V = \bar{m}_{\Sigma} \cdot S \cdot A \cdot H \approx 1,45 \cdot 10^3 \text{ т}$.

Эффективность предлагаемого способа характеризуется возможностью дистанционного определения объема выбросов от природных пожаров и документальностью (регистраграммы измерений + видеоизображение пожара) результатов оценок.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе веществ, содержащихся в выбросах предприятий: Общесоюзный нормативный документ ОНД-86: Л.: Гидрометеоздат, 1987 г. – С. 4–5.
2. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе веществ, содержащихся в выбросах предприятий: Общесоюзный нормативный документ ОНД-86: Л.: Гидрометеоздат, 1987 г. – С. 17.
4. Давыдов, В.Ф. Способ определения концентрации углекислого газа в атмосфере : Пат. 2422807 РФ / В.Ф. Давыдов и др. – опубл. 27.06.2011 г.

5. Давыдов, В.Ф. Способ определения загрязнения атмосферы мегаполисов вредными газами : Пат. 2460059 Российская Федерация / Давыдов В.Ф. и др. – опубл. 27.08.2012 г.
6. Давыдов, В.Ф. Способ определения источников выбросов в атмосферу по изображениям мегаполисов : Пат. 2463630 Российская Федерация / Давыдов В.Ф. и др. – опубл. 10.10.2012 г.
7. Давыдов, В.Ф. Способ верификации системы наземных измерений состояния атмосферы мегаполисов: пат. 2463556 Российская Федерация / Давыдов В.Ф. и др. – опубл. 10.10.2012 г.
8. Давыдов, В.Ф. Дистанционное определение деградации почвенного покрова / В.Ф. Давыдов, Ю.П. Батырев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 9 (92). – С. 115–121.
9. Курбанов, Э.А. Оценка лесных гарей Чувашии методами дистанционного зондирования / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник ИрГСХА. – № 54. – 2013. – С. 80–97.
10. Дифференциальное и интегральное исчисления для ВТУЗов. в 2 т., т.1. / Н.С. Пискунов. – М.: Наука, 1964. – С. 264–268. – Производная по направлению.
11. Дуда, Р.О. Распознавание образов и анализ сцен / Р.О. Дуда, П.Е. Харт // перев. с англ. – М.: Мир, 1976. – С. 287–288.
12. Чапурский, Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400–2500 нм. Ч. I. Мин. Обороны СССР. – 1986. – С. 105–107.
13. Заездный, В.М. Основы расчетов по статистической радиотехнике. – М.: Связьиздат, 1964. – С. 93–94.
14. Малый космический аппарат «Вулкан-Астрогон» с гиперспектрометром высокого разрешения: Инженерная записка: РАКА, ФГУП НИИЭМ, НТЦ Реагент. – 2002. – С. 8–10.

METHOD FOR DETERMINING THE VOLUME EMISSIONS FROM WILDFIRES

Davydov V.F., Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); Batyrev Y.P., Assoc. Prof. MSFU, (Tech.)

batyrev@mgu.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The existing methods for assessment of the air in terms of determining the volume of emissions from wildfires have certain limitations – the inability to be used directly for area sources, which include natural fire, the large value of systematic error, which is equal to the sum of the relative errors of each parameter of the original formula, the locality of the results of the measurements tied only to the route of the narrow sounding beam, the one-component estimation of the carbon dioxide pollution, while wildfire emissions contain a lot of harmful substances, including, mainly, superfine aerosols. In this paper, a method of calculating the volume of emissions from wildfires with a remote method using digital video and hyperspectrometer installed on board of the spacecraft has been developed. The processing of the image is to streamline the gradient in the video circuit of fire and concentration calculation q_{Σ} (mg/m³) of harmful emissions of a fire by the measured attenuation of a hyperspectrometer reference light beam, the calculation of the brightness histogram of pixels within the contour and their calibration within the values of the measured concentration for the pixels of the central portion of the video frame by a spatial differentiation of luminance $I(x, y)$.

Keywords: wildfires, remote monitoring, emissions, air pollution, the function of brightness.

References

1. *Obshcheyuznyy normativnyy dokument OND-86. Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatii* [Method of calculation of concentrations in the air of the substances contained in industrial emissions]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, pp. 4-5.
2. *GOST 12.1.005-88. Sistema standartov bezopasnosti truda. Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozdukh rabochey zony*. [State Standard 12.1.005-88. Occupational safety standards system. General sanitary requirements for working zone air]. Moscow, Standartinform Publ., 2006, 48 p.
3. *Obshcheyuznyy normativnyy dokument OND-86. Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatii*. [Method of calculation of concentrations in the ambient air of substances contained in industrial emissions]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, p. 17. Reshenie obratnykh zadach, formula 2.41.
4. Davydov V.F., e.a. *Sposob opredeleniya kontsentratsii uglekislogo gaza v atmosfere*. [Method for determining the concentration of carbon dioxide in the atmosphere]. Patent RF, no 2422807, 2011.
5. Davydov V.F., e.a. *Sposob opredeleniya zagryazneniya atmosfery megapolisov vrednymi gazami*. [Method for determining air pollution megacities harmful gases]. Patent RF, no. 2460059, 2012.
6. Davydov V.F., e.a. *Sposob opredeleniya istochnikov vybrosov v atmosferu po izobrazheniyam megapolisov*. [Method of determining the sources of emissions to the atmosphere through the images of megacities]. Patent RF, no. 2463630, 2012.
7. Davydov V.F., e.a. *Sposob verifikatsii sistemy nazemnykh izmereniy sostoyaniya atmosfery megapolisov*. [The process of verification of ground-based measurements of atmospheric conditions megacities]. Patent RF, no. 2463556, 2012.
8. Davydov V.F., Batyrev Yu.P. *Distsionnoe opredelenie degradatsii pochvennogo pokrova* [Remote identification of degradation of soil]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik, 2012, no 9 (92), pp. 115-121.
9. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A. *Otsenka lesnykh garey Chuvashii metodami distantsionnogo zondirovaniya* [Assessment of forest burnt Chuvashia methods of remote sensing] Vestnik IrGSKhA, no. 54, 2013, pp. 80-97.
10. Piskunov N.S. *Differentsial'noe i integral'noe ischisleniya dlya VTUZov* [Differential and integral calculus for technical colleges] Vol. 1, Moscow, Nauka, 1964, pp. 264-268. Proizvodnaya po napravleniyu.
11. Duda R.O., Khart P.E. *Raspoznavanie obrazov i analiz stsen* [Detection and Scene Analysis], Moscow, Mir, 1976, § 7-3 Prostranstvennoe differentsirovanie, pp. 287-288, ris. 7.3.
12. Chapurskiy L.I. *Otrazhatel'nye svoystva prirodnykh ob'ektov v diapazone 400-2500 nm* [The reflective properties of natural objects in the range of 400-2500 nm], Vol. I, Min. Oborony SSSR, 1986, pp. 105-107. Rezul'taty izmereniy i raschetov KSYa vozdushnoy dymki.
13. Zaezdnyy V.M. *Osnovy raschetov po statisticheskoy radiotekhnike* [Basis of calculations by the statistical radio engineering], Moscow, Svyaz'izdat, 1964, pp. 93-94.
14. *Malyy kosmicheskiy apparat «Vulkan-Astrogon» s giperspektrometrom vysokogo razresheniya* [Small spacecraft «Vulcan Astrogon» with high resolution hyperspectrometer], Inzhenernaya zapiska: RAKA, FGUP NIEM, NTTs Reagent. 2002, pp. 8-10.

УСТРОЙСТВО КОРРЕКЦИИ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ

В.Ф. ДАВЫДОВ, проф. каф. БЖД МГУЛ, канд. техн. наук,
В.И. КУЧЕРЯВЫЙ, доц. каф. БЖД МГУЛ, канд. техн. наук,
Ю.П. БАТЫРЕВ, доц. каф. ИИС и ТП МГУЛ, канд. техн. наук

batyrev@mgu.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Вопросы по изучению возможности воздействия на внешнюю среду с целью изменения погодных условий являются крайне актуальными как с локальной, так и с глобальной точки зрения. Главной проблемой при таком воздействии оказывается отношение затратности воздействия к произведенному этим воздействием результату. В статье рассматривается способ воздействия на атмосферные воздушные массы устройством коррекции погодных условий, основанный на физическом явлении гидратации первичных ионов, сопровождающимся выделением энергии (скрытой теплоты испарения) с созданием конвективного потока, а также дается краткое описание устройства коррекции, его состава и принципа взаимодействия функциональных блоков. Указаны основные преимущества данного устройства, заключающиеся в возможности оперативного и целенаправленного воздействия на воздушные массы.

Ключевые слова: циркуляции воздушных масс, гидратация ионов, скорость теплового потока, сила Лоренца, теплота конденсации.

Важным вопросом метеорологии является целенаправленное изменение естественной циркуляции воздушных масс при антициклональных погодных условиях.

Учитывая, что энергия атмосферных процессов весьма велика, использование прямых методов воздействия на них с энергетической точки зрения нецелесообразно. Основным принципом, реализуемым при активных методах воздействия на метеорологические процессы, является создание условий, исполняющих роль «спускового крючка» в запуске естественных лавинообразных процессов.

Известны два основных способа изменения погодных условий:

– рассеивание в облаках химических реагентов с самолетов или обстрел облаков высокоточным оружием;

– электрический метод генерации в атмосфере ионов коронирующего электрического разряда.

Для решения подобных задач было предложено устройство коррекции погодных условий [1–3], схематически показанное на рис. 1.

Устройство содержит линейный ускоритель 1 для бомбардировки молекул воздуха коллимированным пучком высокоэнергетичных электронов в вертикальной плоскости, включающий в себя секцию инъекции электронов 2, выходную секцию 3 регулировки энергии пучка посредством аттенюатора 4.

Излучающий торец 5 выходной секции 3 охвачен витками соленоида 6, расположенного в вертикальной плоскости и электрически включенного в цепь заземлителя 7 источника питания 8 ускорителя. Стойка-стеллаж 9 предназначена для монтажа и размещения устройства на местности и изготовлена из композиционного высокопрочного изоляционного материала.

Установленным является физическое явление гидратации первичных ионов, состоящее в присоединении дипольных молекул воды (из водяного пара воздуха) к несущим электрический заряд ионам. Концентрация водяного пара в атмосфере проиллюстрирована на рис. 2. Процесс гидратации ионов и последующей коагуляции (обволакивания) сопровождается выделением энергии (скрытой теплоты испарения), что и создает конвективный поток в тропосфере [4, 5].

Быстротечность процесса зависит от концентрации генерируемых ионов в определенном объеме и длительности воздействия. В случае резкого увеличения скорости ионизации, как это имеет место при облучении атмосферы мощным пучком элементарных частиц, гидратация ионов приобретает взрывной характер (в литературе этот процесс называют ионостимулированной нуклеацией) и образуются крупные ионные кластеры размером несколько микрометров. В результате происходит конденсация во-

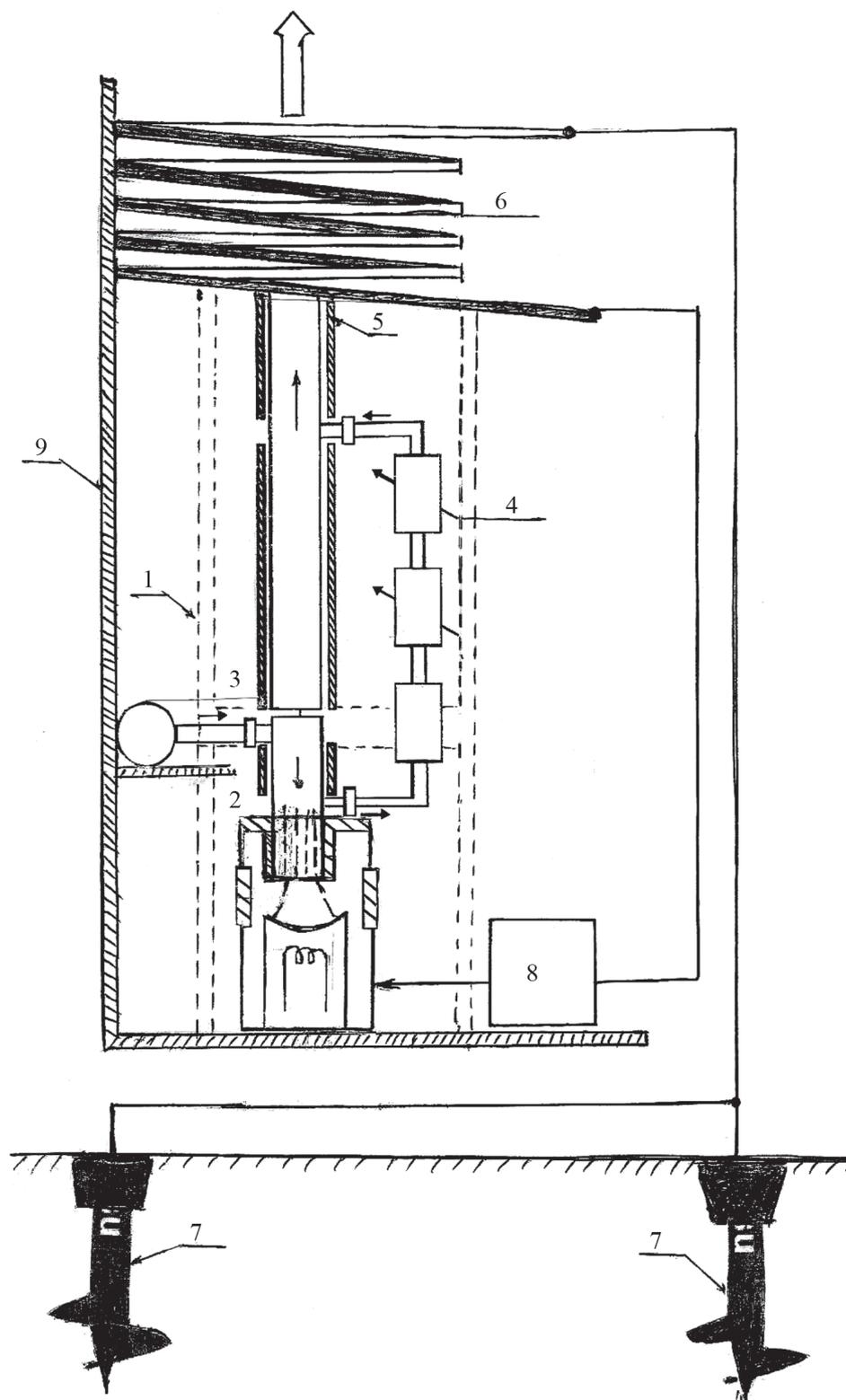


Рис. 1. Устройство коррекции погодных условий
Fig. 1. Apparatus correction weather

дяного пара, при которой выделяется скрытая теплота испарения. В одном м³ воздуха содержится (рис. 2) примерно один моль водяного пара (один моль H₂O равен 18 г.),

при конденсации которого выделяется энергия, равная 9,7 ккал (теплота парообразования воды 539 ккал/кг, в пересчете на моль 539 (кал/г) × 18 (г) = 9702 кал). Выделение

тепловой энергии приводит к образованию восходящего конвективного потока.

При превышении числа Ричардсона (градиента скорости теплового потока на концентрацию ионов) [6] происходит сдвиг антициклона и выпадение осадков. Критическими факторами, способствующими инициированию лавинообразных процессов в атмосфере, являются интенсивность ионного потока и его температурный градиент. Интенсивность потока пропорциональна величине ионного тока, а температурный градиент определяется скоростью образования ионных пар в единице объема или величиной высвобождаемой энергии, скрытой теплоты конденсации.

Для генерации ионов используют процесс ударной ионизации молекул воздуха облучением пучком высокоэнергетичных электронов от линейного ускорителя с регулируемой энергией электронов в диапазоне от 3 до 14 МЭВ [7]. Ускорители элементарных частиц (электронов, позитронов, ионов), получившие название «Pelletron», работают при напряжениях порядка нескольких МВ и токах в пределах единиц мА [8].

Скорость образования ионных пар в единице объема зависит от начальной энергии электронов в пучке E_0 (МЭВ), энергии ионизации одной пары $\Delta E_{ion} \approx 0,035$ кЭВ, концентрации молекул воздуха (плотность воздуха у поверхности земли $\approx 1,3$ кг/м³, что составляет ≈ 43 моля/м³) и величины тока ионизации [9].

Применительно к параметрам вышеуказанных ускорителей $E_0 \approx 14$ МЭВ, ток $\approx 0,5$ мА, тогда скорость образования ионных пар оценивается величиной



Рис. 2. Концентрация водяного пара в атмосфере
Fig. 2. The concentration of water vapor in the atmosphere

$$q \approx (E_0 / \Delta E_{ion}) \times I \approx (14 / 0,035 \times 10^{-3}) \times 0,5 \times 10^{-3} \approx 2 \times 10^{21} \text{ (1/сек.)}$$

Плотность концентрации ионов в восходящем потоке достигается также их завихрением в магнитном поле соленоида 6. Известно, что на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле действует сила Лоренца [10]

$$F = q \times v \times B,$$

где q — величина заряда частицы $1,6 \times 10^{-19}$ Кл,

v — скорость движения ≈ 400 м/с,

B — вектор индукции магнитного поля.

Сила Лоренца не совершает работы, а лишь искривляет траекторию движения заряженной частицы. Завихрение происходит по винтовой линии, радиус кривизны которой определяется из соотношения

$$R = (m \times v) / (q \times B),$$

где m — масса аэроиона кислорода воздуха.

Кроме завихрения, аэроион приобретает преимущественное направление перемещения вдоль линий напряженности магнитного поля (вдоль оси соленоида). При известных постоянных значениях величин q , m , v радиус завихрения зависит только от выбора величины индукции магнитного поля B . Магнитное поле соленоида 6 создается при протекании через его обмотку постоянной составляющей тока ускорителя посредством включения соленоида в цепь заземлителя 7 источника питания 8.

Напряженность магнитного поля на оси соленоида определяется величиной тока (единицы мА), числом витков, диаметром навивки и длиной соленоида. Соленоид выполняет роль «рупора», позволяющего канализировать поток ионов в одном из преимущественных направлений, совпадающих с осью соленоида (вертикально вверх). Полное завихрение потока ионов внутри соленоида достигается при следующих конструктивных размерах: длина соленоида 1,5 м, диаметр навивки 2 м, число витков 4.

При значениях скорости образования ионных пар ($\approx 2 \times 10^{18}$ 1/с⁻¹) критические значения числа Ричардсона, вызывающие выпадение осадков, достигаются в интервале вре-

мени ≈ 30 мин после включения устройства. Эффективность устройства характеризуется мобильностью, большой скоростью образования ионов и, как следствие, сокращением времени до выпадения осадков после включения установки.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Давыдов, В.Ф. и др. Устройство коррекции погодных условий в атмосфере: Пат. 2516223 Российская Федерация / В.Ф. Давыдов и др. – опублик. 20.05.2014 г.
2. Давыдов, В.Ф. и др. Устройство инициирования струйных течений в атмосфере: Пат. 2502255 Российская Федерация / В.Ф. Давыдов и др. – опублик. 27.12.2013 г.
3. Давыдов, В.Ф. и др. Способ инициирования процессов в атмосфере: Пат. 2502256 Российская Федерация / В.Ф. Давыдов и др. – опублик. 27.12.2013 г.
4. Лаверов, Н.П. Использование теплового эффекта ионизации атмосферы для дистанционной диагностики радиоактивного заражения окружающей среды / Н.П. Лаверов и др. // Доклады Академии Наук. Сер. Геофизика, 2011. – Т. 441 (№ 2). – С. 1–4.
5. Зусман, Г.А. Курс общей физики / Г.А. Зусман. – М.: Наука, 1964. – С. 225.
6. Пулинец, С.А. Ударная ионизация молекул атмосферы пучком элементарных частиц / С.А. Пулинец // Труды Института прикладной геофизики им. К.Е. Федорова, РАН, вып. 90. – М.: Госгидромет, 2011. – С. 149–150.
7. Патент США № 4.118.635, «The ICRIS System Technical Description».
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пеллетрон>.
9. Известия ВУЗов, Радиофизика. – Т. XLV. – № 4. – 2002. – С. 291–292.
10. Советский энциклопедический словарь под ред. А.М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – С. 375.

DEVICE CORRECTION OF WEATHER CONDITIONS

Davydov V.F., Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Kucheryavy V.I.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.); **Batyrev Y.P.** Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Tech.)

batyrev@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The issues of exploring a possible impact on the environment to change the weather conditions are highly relevant for both a local and a global perspective. The main problem of such exposure is the ratio of costs on the impact of exposure to the result produced. The article discusses a way to influence the atmospheric air mass by a weather conditions correction device based on the physical phenomenon of hydration of the primary ions, accompanied by the release of energy (latent heat of evaporation) with the creation of the convective flow. The article also briefly describes the correction device, its composition and the principle of interaction of its functional units. The main advantages of this device is the ability to quickly and deliberate influence the air masses.

Keywords: circulation of air masses, the hydration of the ions, the rate of heat flow, the Lorentz force, the heat of condensation.

References

1. Davydov V.F. *Ustroystvo korrektsii pogodnykh usloviy atmosfere* [Device correction the weather conditions in the atmosphere]: Pat. 2516223 Rossiyskaya Federatsiya. publ. 20.05.2014.
2. Davydov V.F. *Ustroystvo initsirovaniya struynykh techeniy v atmosfere* [The device initiating of jet streams in the atmosphere]: Pat. 2502255 Rossiyskaya Federatsiya. publ. 27.12.2013.
3. Davydov V.F. *Sposob initsirovaniya protsessov v atmosfere* [The method of initiation processes in the atmosphere]: Pat. 2502256 Rossiyskaya Federatsiya. publ. 27.12.2013.
4. Laverov N.P. *Ispol'zovanie teplovogo effekta ionizatsii atmosfery dlya distantsionnoy diagnostiki radioaktivnogo zarazheniya okruzhayushchey sredy* [Using the thermal effect of ionization of the atmosphere for remote diagnostics of radioactive contamination of the environment]. Doklady Akademii Nauk. Ser. Geofizika, 2011. T. 441 (№ 2). pp. 1–4.
5. Zusman G.A. *Kurs obshchey fiziki*. [General physics course]. Moscow: Nauka, 1964. pp. 225.
6. Pulinets S.A. *Udarnaya ionizatsiya molekul atmosfery puchkom elementarnykh chastits* [Impact ionization of the molecules of the atmosphere elementary particles beam]. Trudy Instituta prikladnoy geofiziki im. K.E. Fedorova, RAN, vyp. 90. Moscow: Gosgidromet, 2011. pp. 149–150.
7. Patent SSHA № 4.118.635, «The ICRIS System Technical Description».
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Pelletron>.
9. *Izvestiya VUZov*. Radiofizika [Proceedings of the universities, Radio]. V. XLV, № 4, 2002. pp. 291–292.
10. *Sovetskiy entsiklopedicheskiy slovar' pod red. A.M. Prokhorova* [Soviet Encyclopedic Dictionary, ed. AM Prokhorov]. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1989. pp. 375.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОРОДСКИХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

О.В. БЕДНОВА, доц. каф. экологии и защиты леса МГУЛ, канд. биол. наук,

В.А. КУЗНЕЦОВ, проф. каф. ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития» РХТУ
им. Д.И. Менделеева, д-р техн. наук,

Ю.Ю. АНДРЮШИН, Высший колледж природопользования при РХТУ им. Д.И. Менделеева

caf-ecology@mgul.ac.ru, vakus@inbox.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская пл., 9

Представлены результаты разработки информационно-аналитического сопровождения лесоэкологического мониторинга на урбанизированных территориях и ее апробации на особо охраняемых природных территориях Москвы. Данная разработка является основой экологической информационной системы локального уровня. В экоинформационной системе обычно выделяют три уровня, ориентированных на решение различных задач экологического мониторинга и отличающихся по методам работы с экологической информацией. Верхний уровень составляют программные модули для поддержки принятия решений, средний – программное обеспечение, позволяющее провести системный анализ информации о состоянии окружающей среды, а нижний – модули обработки первичной экологической информации. В данном случае первичная информация о состоянии лесных насаждений систематизирована в следующие блоки: состояние древостоя; состояние естественного возобновления и подлесочного яруса; геоботанические описания; структурное разнообразие лесных биогеоценозов. В качестве параметров абиотической среды фиксировались уровни загрязнения атмосферного воздуха и эквивалентный уровень звука. Первичная экологическая информация вводится в базу данных в виде электронных таблиц. Информация о состоянии биотического компонента лесных экосистем обобщается с помощью интегральных показателей – индекса состояния древостоя и индекса структурного разнообразия. Разработаны алгоритмы нормирования и индикации значений биотических индексов и абиотических параметров лесных экосистем на основе метода функций желательности Харрингтона. На их основе разработана программа «URBAN FOREST». Она позволяет автоматизировать расчеты значений экологических индикаторов и провести многокритериальную оценку состояния лесных экосистем. Приводится пример картографического анализа территории на основе значений экологических индикаторов.

Ключевые слова: лесные экосистемы, городские особо охраняемые природные территории, экологическая интегральная оценка, экологическая информационная система.

Природоохранная, средозащитная и рекреационная функции городских особо охраняемых природных территорий взаимосвязаны и в равной степени важны для современного крупного города. Измерить и оценить успешность выполнения этих функций (а наряду с этим и эффективность управленческих решений в отношении ООПТ) можно на основе показателей биологических сообществ в наложении на результаты мониторинга абиотических сред, т.е. комплексного экологического мониторинга.

При этом актуализируется потребность в обобщении разноплановой экологической информации, получении на основе ее обработки многокритериальной оценки состояния экосистем и представлении ее результатов в наиболее информативной форме в адрес лиц, принимающих решения (ЛПР). Однако единой программы комплексного экологического обследования природных участков не существует, под это понятие попадают различные действия по сбору

информации о состоянии той или иной территории, проводимые по разным методикам, специалистами разных профилей.

В прикладной экологии объективно имеет место стремление к наиболее детальному описанию сложного экологического объекта (в т.ч. и ООПТ). В результате увеличивается количество учитываемых параметров, расширяются программы мониторинговых исследований, а анализ целостной картины взаимосвязи факторов, обуславливающих формирование негативных биосферных процессов, при этом зачастую усложняется. В итоге, как справедливо отмечено в работе [1], «усугубляется значительный диссонанс между затратами труда ученых-экологов на получение исходных данных и потенциальный объем знаний, которые могут быть выделены на их основе». Преодолеть проблемы позволяют разработка и внедрение в практику системы экологического контроля экологических информационных систем (ЭИС).

Используемые в ЭИС компьютерные технологии дают возможности оперативного доступа к ретроспективным данным, применения методов многомерного математического анализа обширных массивов данных, преобразования первичных результатов наблюдений за биотическими и абиотическими компонентами природной среды в форму, пригодную для поддержки принятия решений. Все эти преимущества важны в сфере организации экологического контроля и ведения экологического мониторинга как его информационной основы.

Об экологическом контроле и мониторинге принято говорить как о природоохранительных системах, способствующих устойчивому развитию отдельных регионов и планеты в целом. Поэтому и ЭИС чаще рассматриваются как инструменты комплексного мониторинга в приложении к национальному и региональному уровням [2]. Но руководствуясь принципом экологической иерархии, можно говорить и об ЭИС локального уровня, и ООПТ современного крупного города, в частности, представляются для этого подходящими объектами. Если же рассматривать систему городских ООПТ или даже о городскую экологическую сеть современного мегаполиса [3], то тогда задача сбора, систематизации и использования экологической информации переходит на региональный уровень.

Программное обеспечение в рамках ЭИС для ООПТ должно отличаться удобным простым интерфейсом – она, прежде всего, ориентирована на сотрудников ООПТ. Это биоэкологи и другие специалисты, занятые ведением экологического мониторинга (ответственные за базу данных и ее обновление, а, следовательно, максимально должен быть упрощен способ ввода информации), специалисты по благоустройству, руководители ООПТ, которым нередко необходимо оперативно представить информацию о своей территории в адрес различных хозяйственных структур, проектировщиков.

На основе многолетнего опыта исследований в лесных экосистемах ООПТ города Москвы мы разработали систему информационно-аналитического сопровождения

лесоэкологического мониторинга, которая может лечь в основу концепции ЭИС локального уровня. Эта разработка представляется нам актуальной для городов, экологический каркас которых формируют сохранившиеся фрагменты лесных экосистем.

В экоинформационной системе по мере перехода от первичных результатов экологического мониторинга к знаниям о состоянии окружающей среды меняются методы работы с информацией [2]. Можно выделить три уровня, ориентированных на решение различных задач экологического мониторинга и отличающихся по методам работы с экологической информацией. Верхний уровень составляют программные модули для поддержки принятия решений, средний – программное обеспечение, позволяющее провести системный анализ информации о состоянии окружающей среды, а нижний – модули обработки первичной экологической информации. Рассмотрим, каким образом эту последовательность можно реализовать на основе данных лесоэкологического мониторинга на городских ООПТ.

ПЕРВИЧНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Биотическая составляющая лесных экосистем

Основным методом исследования динамики лесных биогеоценозов являются стационарные наблюдения на постоянных пробных площадях. При этом типы и размеры пробных площадей, регламент работы на них определяются особенностями исследуемого объекта, поставленными целями, применяемыми методами исследований. Опыт мониторинга в рекреационных лесах обоснована необходимость при сборе данных объединения методических подходов двух направлений – детального лесопатологического обследования и лесоводственно-геоботанических исследований [4].

Сбор информации о состоянии лесных насаждений целесообразно объединить в следующие блоки.

Оценка состояния древостоя включает сбор данных о структуре древесного полога, характере и темпах древесного отпада и их изменениях во времени. *Структура древостоя*

– это дифференциация деревьев по степени жизнеспособности, оцениваемая через соотношение деревьев разных категорий состояния, с указанием их породы, ступеней толщины, пораженности болезнями, поврежденности вредителями и прочими неблагоприятными факторами воздействия. *Категория состояния* каждого отдельного дерева интегрально отражает степень его жизнеспособности через сумму биоморфологических признаков: густота кроны, поврежденность листвы фитофагами и патогенами (филлотрофами), некрозами неинфекционного характера, выраженность дехромаций, размеры листвы, наличие в кроне сухих ветвей. *Пораженность древостоя болезнями и поврежденность вредителями* характеризуется экологической плотностью или встречаемостью вредителя или патогена, и степенью развития очагов вредителей и болезней (как инфекционного, так и неинфекционного характера), она измеряется в относительных или абсолютных единицах

Оценка состояния естественного возобновления и подлесочного яруса важна для прогноза развития фитоценоза и характера возможных сукцессионных смен. Традиционные при лесоводственно-геоботаническом мониторинге учеты по породному составу, происхождению, группам высот, густоте, приросту необходимо сочетать с детальным обследованием подростка с оценкой растений по категориям состояния и поврежденности (пораженности) фитофагами из числа беспозвоночных и позвоночных животных, болезнями, абиотическими факторами. Периодические учеты такого рода позволяют оценить успешность естественного возобновления, выявить виды, имеющие значение для эндогенных сукцессий лесных сообществ.

Геоботанические описания – описание травяно-кустарничкового яруса и напочвенного покрова с комбинированной оценкой обливия покрытия и анализом структуры эколого-фитоценологических групп видов. Использование индикационных свойств этого компонента фитоценоза позволяет охарактеризовать лесотипологические особенности экотопа и оценить степень его рекреационной нарушенности. Наблюдения за изменениями

геоботанических характеристик лесного сообщества можно успешно совместить с мониторингом видов растений, имеющих природоохранный статус или претендующих на его присвоение (например, для подготовки региональной Красной книги или других природоохранных кадастров и т.п.)

Оценка структурного разнообразия лесных биогеоценозов целесообразна на лесных участках городских ООПТ для индикации степени сохранности лесной среды, оценки природоохранной ценности лесных биогеоценозов и эффективности проводимых на территории природоохранных мероприятий [5].

Регулярный мониторинг территории предполагает размещение сети пунктов постоянных наблюдений таким образом, чтобы получить наиболее полную картину пространственно распределенной информации. Поэтому при проектировании мониторинговой сети в условиях городского лесного массива наиболее целесообразен метод послыбно-ландшафтной выборки с максимально равномерным размещением пробных площадей.

Показатели состояния абиотической среды

Значения параметров абиотической среды в условиях лесного городского массива можно оценивать как с позиций безопасности для лесных биоценозов, так и с позиций санитарно-гигиенического подхода. Последний значим с точки зрения пригодности территории для рекреационного использования.

Наиболее важным экологическим критерием для урбанизированной территории является загрязнение атмосферного воздуха. В условиях московского мегаполиса зоны устойчивого атмосферного неблагоприятия приурочены к автомагистралям (в других городах могут быть очерчены и зоны влияния промышленных предприятий, загрязняющих атмосферу), и вопрос в том, как далеко заходит их влияние вглубь лесных массивов. Поэтому мониторинг предполагает организацию пространственно равномерной сети отбора проб. Однако в связи с особенностями режима охраны на городских ООПТ в соответствии с законодательством, ограничена или запрещена

на организация электрифицированных стационарных постов наблюдения и проведение маршрутных наблюдений с использованием транспортных средств. Сравнительно дешевые способы «пассивной дозиметрии», основанные на естественных процессах «сухого» осаждения примесей из воздуха, позволяют проводить наблюдения на любых участках ООПТ и значительно расширить зону наблюдения за состоянием атмосферного воздуха. В наших исследованиях использовался разработанный в РХТУ имени Д.И. Менделеева метод определения загрязнения воздуха по интенсивности осаждения примесей на искусственную поглощающую поверхность [6]. Данный метод может быть использован для определения средней за период экспозиции концентрации таких фитотоксичных и типичных для многих урбанизированных территорий примесей в воздухе, как оксиды азота, диоксид серы, соединения фтора и хлора.

Для условий московского мегаполиса приоритетным загрязнителем атмосферы является диоксид азота, поэтому в предлагаемой системе сбора экологической информации внимание уделено именно этой примеси в атмосфере. В качестве экологического индикатора целесообразно использовать значение среднесуточной концентрации диоксида азота.

Аналогичен и методический подход к оценке акустической составляющей абиотической среды в границах территории. Знания о локализации зон акустического дискомфорта необходимы, прежде всего, для рациональной организации рекреационного использования территории. В точках отбора проб в качестве параметра состояния акустической среды на территории с помощью шумомера определяли значение эквивалентного уровня звука.

Состояние абиотических компонентов целесообразно определять на ППН и временных пробных площадях по оценке состояния лесных биогеоценозов, а также на дополнительных точках отбора проб с целью наиболее равномерного охвата территории. В наших исследованиях сеть обора проб на обследуемых территориях размещали с таким расчетом, чтобы расстояние между контрольными точками составляло около 50 м.

Для всех позиций обследования разработаны специальные учетные формы, зафиксированная в них информация вводится в БД в виде электронных таблиц.

В базу данных целесообразно загрузить:

1. Паспорта ППН.
2. Ведомости энтомо-фитопатологического обследования деревьев.
3. Ведомости учета естественного возобновления.
4. Результаты учета элементов структурного разнообразия лесных биогеоценозов.
3. Данные химического мониторинга атмосферного воздуха.
4. Данные акустического обследования.
5. Картографические материалы.

СВЕРТЫВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Сложность структуры лесных экосистем, разнообразие антропогенных воздействий на природную среду и полифункциональность лесных экосистем в урбанизированных условиях создают объективные предпосылки необходимости многокритериальной оценки состояния экосистем.

Полученная в результате мониторинга разнообразная экологическая информация нуждается в обобщении. Эту задачу можно решить с помощью специальной процедуры свертывания информации, предполагающей, что из явно сформулированных критериев осуществляется выбор или конструирование наиболее информативных переменных – индексов. Последние представляют собой результирующие показатели состояния и (или) функционирования экосистемы, интегрируя в своем значении множества параметров. В работе [7] рассмотрены формы и методы получения экологических индексов, приведена их классификационная схема индексов состояния экосистемы. В практике мониторинга абиотических сред подобные индексы используются давно, что связано многокомпонентной природой загрязнений. В биоэкологии примером являются индексы видового разнообразия [8].

В работах [5, 9, 10] обоснованы методики сбора информации, алгоритмы вычисления и приведены результаты применения

двух интегральных биотических показателей для лесных экосистем – индекса состояния древостоя и индекса структурного разнообразия. Первый дает представление о жизнеспособности главного компонента лесного сообщества – древостоя и соответственно дает косвенное представление о биологической продуктивности и экологической ассимилятивной способности исследуемого участка леса. Второй – отражает степень сохранности лесной среды и лесного нативного биоразнообразия. Индексы состояния древостоя и структурного разнообразия мы предлагаем использовать в качестве экологических индикаторов биотического компонента лесных экосистем городских ООПТ в рамках ЭИС.

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Индексы и натуральные значения параметров окружающей среды становятся экологическими индикаторами в том случае, когда их значения нормированы, и поэтому для обеспечения поддержки принятия решения необходим этап работы, позволяющий соотносить получаемые результаты со шкалой «хорошо – плохо».

В работах [11, 12] обоснована и продемонстрирована возможность индикации состояния биотических и абиотических компонентов экосистем городских лесов с помощью метода функций желательности (МФЖ).

МФЖ является одним из подходов к формализации субъективных неопределенностей в многокритериальных задачах метод построения обобщенной функции желательности (МФЖ), предложенный С. Харрингтоном (1965). Он представляет собой математический инструментальный перевод реальных значений параметров в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами от 0 до 1 и последующего отображения частных количественных шкал в обобщенные шкалы критериев качества. Для преобразования частных откликов (рядов наблюдаемых значений параметров) в частные функции желательности используется экспоненциальная зависимость $d = \exp(-\exp\{-y^i\})$, где y^i – кодированное значение признака. Она имеет несколько критичес-

ких точек (ординаты точек перегиба, или базовые точки – в 0,2; 0,37; 0,63; 0,8, что позволяет задавать границы градаций желательности не произвольным, а строгим образом). Это дает возможность не только оценить абсолютные величины показателей, но и выявить, насколько они близки к области ухудшения, руководствуясь строгими интервальными диапазонами: от 0 до 0,20 («очень плохо»); от 0,20 до 0,37 («плохо»); от 0,37 до 0,63 («удовлетворительно»); от 0,63 до 0,80 («хорошо»); от 0,80 до 1,0 («очень хорошо»). Задача исследователя в этом случае – выбрать из каждого ряда значений наблюдаемых параметров или индикаторных характеристик по два значения и наилучшим образом подобрать им в соответствие значения из ряда базовых точек функции желательности (желательностей отклика). По этим точкам строятся уравнения частных функций желательности. Затем проводится построение обобщенного отклика, задаваемого как среднее геометрическое частных желательностей d_i

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n},$$

где d_i – частная функция желательности ($i = 1 \div n$).

Для обоснования выбора значений биотических индикаторов (табл. 1), соответствующих базовым значениям функции желательности, использованы результаты анализа значений биотических индексов, полученных на основе обработки массива данных специально заложенных постоянных и временных пробных площадей в лесных биогеоценозах в различных типах леса с разной степенью антропогенной трансформации – от заповедных участков до городских парков [12].

В случае с абиотическими индикаторами – среднесуточной концентрацией диоксида азота и значением эквивалентного уровня звука – руководствовались утвержденными санитарно-гигиеническими нормативами [13–16, 21, 22] и провели анализ опубликованных результатов экспертных исследований в лесных экосистемах в фоновых условиях и в зонах техногенного воздействия [17–20].

На основе базовых точек были получены уравнения, пользуясь которыми можно нормировать натуральные значения экологических индикаторов:

Базовые значения функций желательности и соответствующие значения натуральных значений критериев
Baseline values desirability functions and the corresponding values of the natural values of the criteria

Экологические индикаторы (критерии оптимизации)	Базовые значения функции желательности	Экспертные значения индикаторов
Индекс состояния древостоя	0,8 (хорошо)	9,0
	0,2 (плохо)	4,0
Индекс структурного разнообразия	0,8 (хорошо)	1,85
	0,2 (плохо)	1,45
Уровень акустического загрязнения, дБА	0,8 (хорошо)	40
	0,2 (плохо)	80
Концентрация NO ₂ в атмосферном воздухе, мг/м ³	0,8 (хорошо)	0,02
	0,2 (плохо)	0,085

Интервальные оценки значений экологических индикаторов городских лесов
Interval estimates of the values of environmental indicators of urban forests

Количественные отметки на шкале желательности и желательность значения отклика	Индекс структурного разнообразия H_{str}	Индекс состояния древостоя I_d	Эквивалентный уровень звука, L, дБА	Концентрация NO ₂ , мг/м ³
От 0,80 до 1,0: очень хорошо (<i>very good = excellent</i>)	От 1,85 и более	9,0–10,0	40 и менее	0,02 и менее
От 0,63 до 0,80: <i>хорошо (good)</i>	От 1,70 до 1,85	7,16–9,0	40–55	0,02–0,044–
От 0,37 до 0,63: <i>посредственно (mediocre)</i>	От 1,55 до 1,70	5,22–7,16	55–70	0,044–0,069
От 0,20 до 0,37: <i>плохо (bad = borderline)</i>	От 1,45 до 1,55	4,0–5,22	70–80	0,069–0,085
От 0 до 0,20: <i>очень плохо (unacceptable = very bad)</i>	До 1,45	0–4,0	80 и более	0,085 и более

– для значений индекса структурного разнообразия $d_1 = \exp[-\exp(7,639 - 4,940 y_2)]$;

– для индекса состояния древостоя $d_2 = \exp[-\exp(2,063 - 0,395 y_1)]$;

– для эквивалентного уровня звука $d_3 = \exp[-\exp(-3,476 + 0,049 y_3)]$;

– для концентрации диоксида азота в воздухе $d_4 = \exp[-\exp(-2,108 + 30,400 y_4)]$.

На основе этих уравнений, используя шкалу Харрингтона, можно найти интервальные оценки значений индикаторов (табл. 2), с помощью которых можно осуществлять процедуру экологической оценки.

Применение алгоритмов вычисления и нормирования значений экологических индикаторов, построения частных и обобщенных критериев качества экосистем в данном случае представляет собой нетрадиционную задачу, для решения которой использование стандартных пакетов прикладных программ

представляется довольно трудоемким. Поэтому логична потребность в разработке специального программного обеспечения.

Для автоматизации расчетов и многокритериальной оценки разработана программа «URBAN FOREST 3.0». Она написана на кроссплатформенном языке Java. Программа разбита на отдельные классы, содержащие логически сходные функции или объекты (рис. 1). Приложение может работать как в онлайн-режиме, так и локально на компьютере. Предусмотрена возможность запуска программы на различных операционных системах. Программа обеспечивает быстроту расчетов и минимизацию погрешностей вычислений. Исходные данные и результаты расчетов сохраняются в файл с расширением «.csv» для дальнейшей работы с БД в Microsoft Office Access.

В расчетной части программы собраны поля ввода, комбинированные списки,

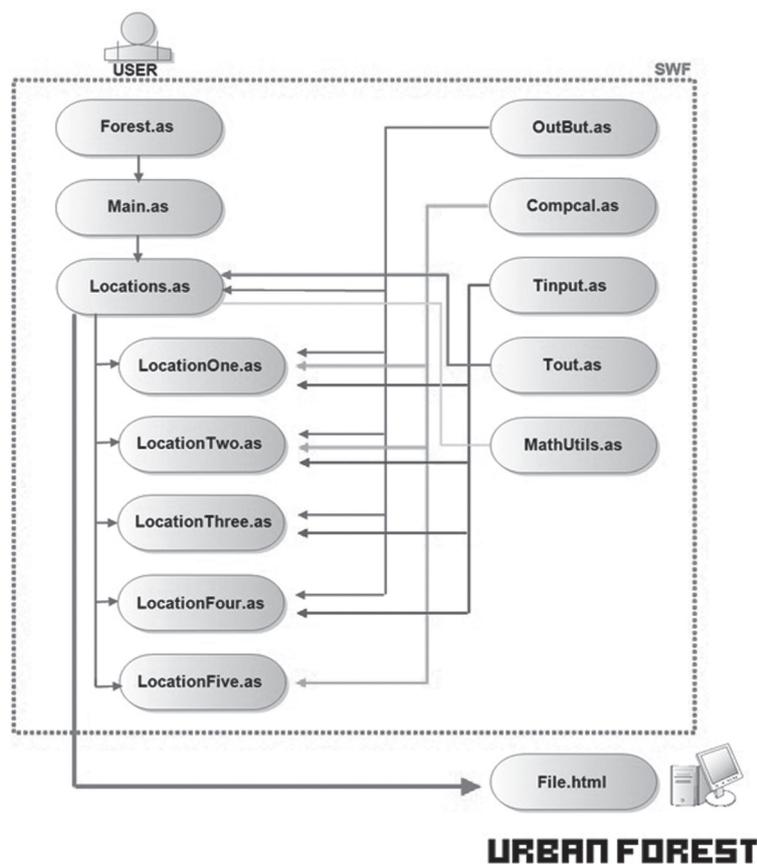


Рис. 1. Архитектура программы «URBAN FOREST»
Fig. 1. Architecture «URBAN FOREST»

разбитые на тематические группы (пять локаций) и кнопки (рис. 2–6).

После проведения расчетов необходимо сохранить исходные данные и результаты расчетов в базу данных. Для этого предусмотрена кнопка «Сохранить». Сохранение происходит в формате «.csv», далее данный файл можно открыть в программе Microsoft Office Access. При открытии сформируется табличное представление исходных данных и результатов расчетов.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Форма представления полученных результатов в адрес лиц, принимающих решения (ЛПР), зависит от специфики категории последних. Круг потребителей информации о состоянии городской ООПТ не ограничивается только специалистами конкретного природоохранного учреждения: экологические данные могут быть востребованы различными специалистами и управленцами на муниципальном и на городском уровнях. В настоящее время

возможности ГИС-технологий во многом позволяют облегчить задачу представления экологической информации в адрес ЛПР различных категорий, и уже не требует обоснования положение, что ЭИС, связанная с обработкой пространственно распределенной информации, должна включать программные средства картографического анализа.

На рис. 7. (с. 149) представлены результаты визуализации экологического состояния модельной территории – городского лесного массива «Троекуровский лес» (часть комплексного природного заказника «Долина реки Сетунь»). Для обработки результатов мониторинга использованы программа «URBAN FOREST» и программа картографического анализа Golden Software Surfer 11.

Интегральная оценка и картографирование экологического состояния территории с помощью ЭИС на основе регулярных мониторинговых исследований должны повысить результативность природоохранных решений. Прежде всего, это касается природоохранны-

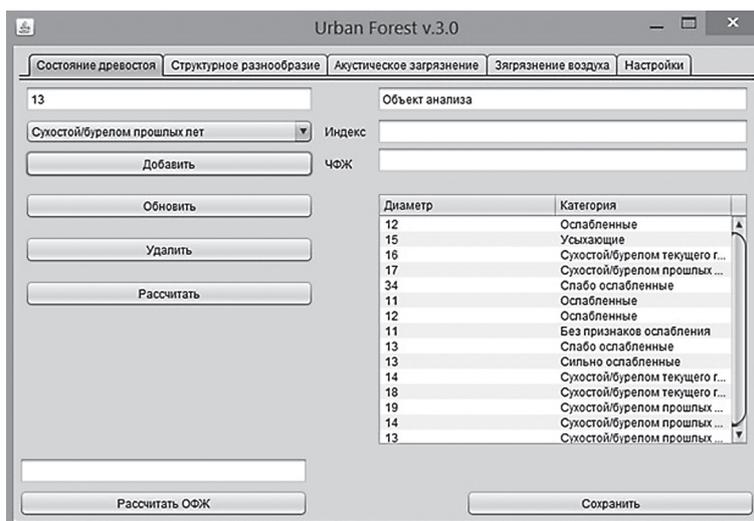


Рис. 2. Локация № 1 «UF 3.0 – Состояние древостоя»
 Fig. 2. Location number 1 «UF 3.0 - Status of the stand»

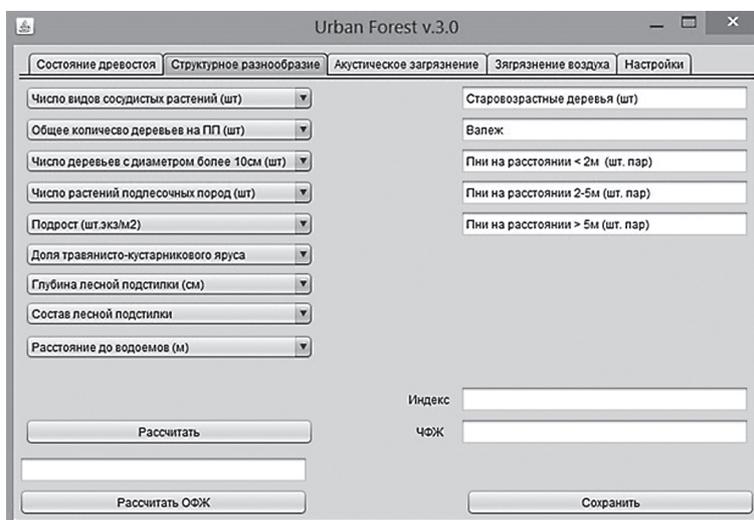


Рис. 3. Локация № 2 «UF 3.0 – Структурное разнообразие»
 Fig. 3. Location number 2 «UF 3.0 - Structural diversity»

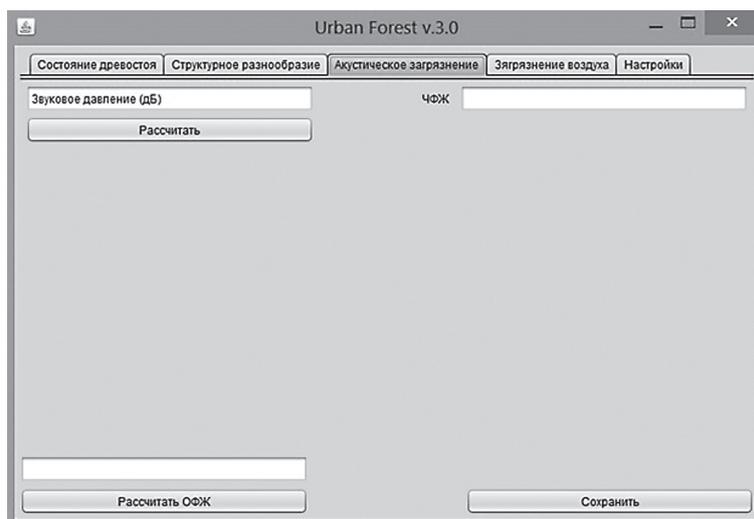


Рис. 4. Локация № 3 «UF 3.0 – Акустическое загрязнение»
 Fig. 4. Location number 3 «UF 3.0 acoustically pollution»

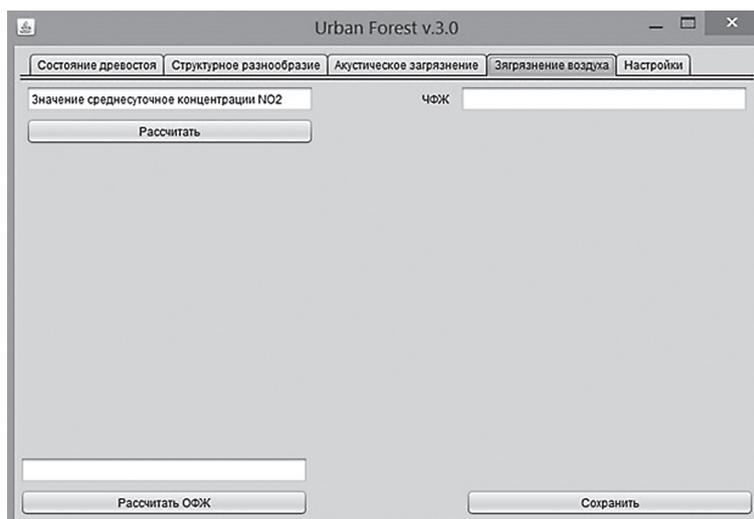


Рис. 5. Локация № 4 «UF 3.0 – Загрязнение воздуха»
 Fig. 5. Location number 4 «UF 3.0 - Air pollution»

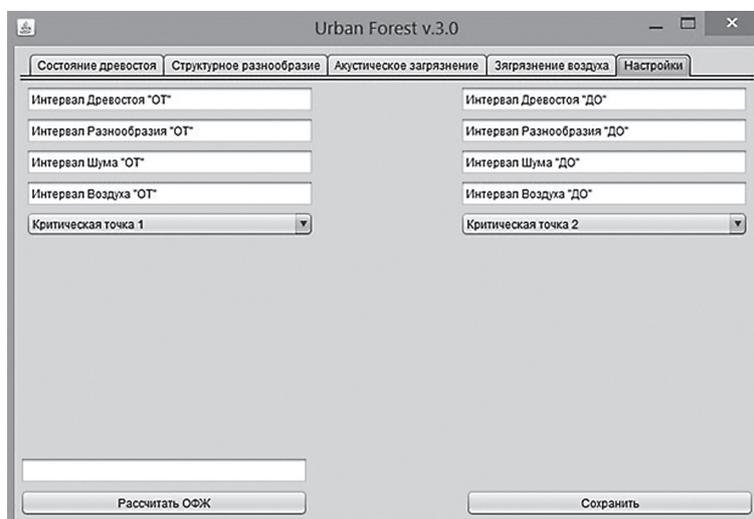


Рис. 6. Локация № 5 «UF 3.0 – Настройки»
 Fig. 6. Location number 5 «UF 3.0 - Settings»

го планирования внутреннего пространства ООПТ и организации экологически обоснованного благоустройства. Так, визуализированные результаты оценки состояния лесного биоразнообразия на основе значений индекса структурного разнообразия, нормированных по шкале желательности (табл. 2), свидетельствуют, что преобладающая часть территории Троекуровского леса характеризуется довольно высоким для урбанизированных условий уровнем сохранности лесной среды. Следовательно, природоохранная функция этой ООПТ имеет большое значение для города. Состояние акустической среды (белые изолинии на карте), если оперировать значениями функций желательности, полученными по

результатам полевых измерений, находится в поле удовлетворительных значений, и, следовательно, территория пригодна для рекреационного использования. Значит необходимо пойти по пути организации экологически обоснованного благоустройства территории лесного массива, способствующего локализации участков с полноценной биоценотической структурой. Наиболее эффективным способом использования такой территории представляется организация экологических троп, т.е. своего рода познавательная рекреация.

Выявление экологической ситуации, постановка диагноза на основе представляемых фактов, формулирование решения

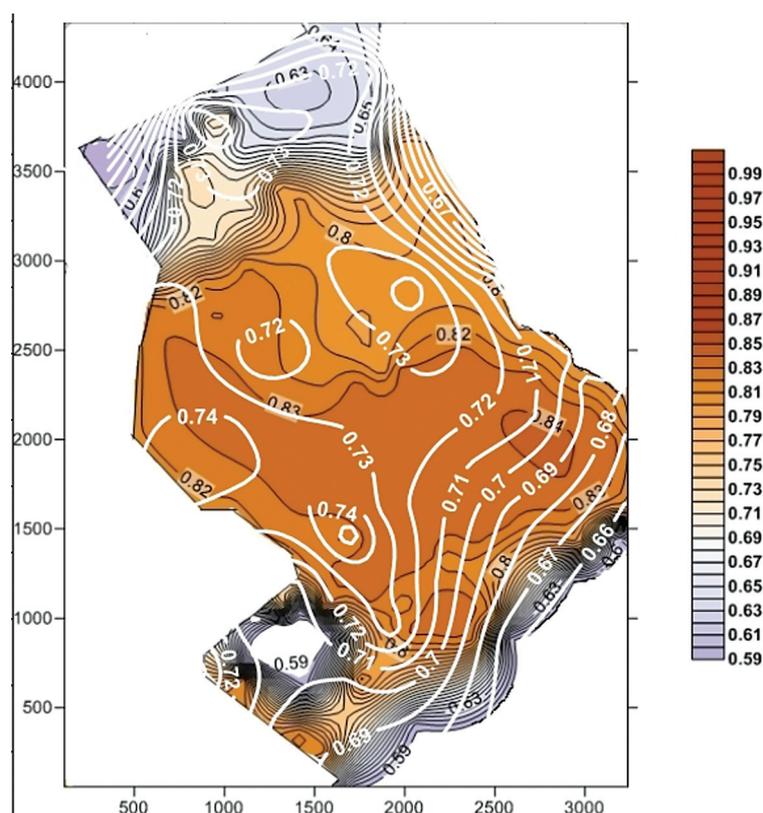


Рис. 7. Сохранность лесной среды и уровень акустического комфорта в границах городского лесного массива «Троекуровский лес»

Fig. 7. Save the forest environment and the level of acoustic comfort in the boundaries of the urban forest «Troekurov Forest»

или выдача рекомендаций для выбора плана дальнейших действий – это спектр задач, решаемых в рамках экологической экспертной системы [2]. Считается, что структура экспертной системы определяется следующими модулями:

1. Временные базы данных, предназначенные для хранения исходных и промежуточных данных текущей задачи.

2. Базы знаний, предназначенные для хранения долгосрочных сведений /фактов/ и правил манипулирования данными.

3. Решатель /база программ/, реализующий последовательность правил для решения конкретной задачи на основе информации, хранящейся в базах знаний и базах данных.

4. Компонент приобретения знаний, автоматизирующий процесс наполнения базы знаний.

5. Объяснительный компонент, формирующий пояснения о том, как система решила поставленную задачу.

ЭИС для городской ООПТ в представленной в настоящей статье концепции, хотя и не в полной мере, но обладает качествами экспертной системы (можно сказать, что это экспертная система своего рода «облегченного типа»). Мы имеем вычислительную систему, в которую включены знания специалистов о некоторой узкой предметной области в форме базы знаний. Решения системы обладают прозрачностью, т.е. объясняются пользователю на качественном уровне (в отличие от решений, полученных с помощью числовых алгоритмов, и, в особенности, от решений, полученных статистическими методами). Компьютерными средствами воспроизводится методика решения задачи – в данном случае это интегральная оценка состояния экосистем. Такая ЭИС может стать специальной подсистемой ЭИС регионального уровня.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Шитиков, В.К. Интеллектуальная технология структурного анализа экологических систем: дисс. ... д-ра. биол. наук в форме научного доклада: 03.00.16.: защищена 02.02.2007 / В.К. Шитиков. – Тольятти, 2006. – 51 с.
2. Растоскуев, В.В. Информационные технологии экологической безопасности: интерактивное учебное пособие / В.В. Растоскуев. – <http://loi.sssc.ru/gis/ecoinf>
3. Беднова, О.В. Концепция экологической сети на урбанизированной территории // О.В. Беднова, А.А. Лихачев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 6 (98). – С. 131–142.
4. Рысин, Л.П. Мониторинг рекреационных лесов / Л.П. Рысин [и др.]. – Л.–М.: ОНТИ ПНЦ РАН, 2003. – С. 20–31.
5. Беднова, О.В. Структурное разнообразие лесных экосистем как индикатор их нарушенности и основа для природоохранного планирования // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2012. – № 9 (92). – С. 16–29.
6. Кузнецов, В.А. Разработка способов интегральной оценки влияния городов на состояние окружающей среды и технических решений по минимизации приоритетных факторов химического воздействия: дисс. ... д-ра. техн. наук: 03.00.16 / В.А. Кузнецов. – М., 2009. – 394 с.
7. Воробейчик, Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург: Наука, 1994. – 280 с.
8. Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. пер. с англ. / Э. Мэггаран. – М.: Мир, 1993. – 181 с.
9. Беднова О.В. Мониторинг биоразнообразия лесных и урбоэкосистем / О.В. Беднова // Мониторинг состояния лесных и городских экосистем. – М.: МГУЛ, 2004. – С. 39–51.
10. Мозолева, Е.Г. Информационное обеспечение урбониторинга / Е.Г. Мозолева // Мониторинг состояния лесных и городских экосистем. – М.: МГУЛ, 2004. – С. 108–112.
11. Беднова, О.В. К алгоритму оптимизации многокритериальной оценки состояния лесных экосистем на урбанизированных территориях // О.В. Беднова, В.А. Кузнецов XIII Международная научно-техническая Интернет-конференция «Лес-2012» <http://science-bsea.narod.ru>
12. Беднова, О.В. Метод индикации и оценки рекреационных изменений в лесных биогеоценозах // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2013. – № 7 (99). – С. 77–88.
13. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. ГН 2.1.6.1338-03. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21 мая 2003 г. Введены в действие с 25 июня 2003 г.
14. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнения и изменения 2 к ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 3 ноября 2005 г, Введены в действие с 1 февраля 2006 г.
15. Санитарные нормы СН 2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996. № 36.
16. Методические рекомендации. Диагностика, экспертиза трудоспособности и профилактика профессиональной сенсоневральной тугоухости. Письмо Министерства здравоохранения РФ от 6 ноября 2012 г. № 14-1/10/2-3508 «О направлении Методических рекомендаций «Диагностика, экспертиза трудоспособности и профилактика профессиональной сенсоневральной тугоухости» <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/701696>.
17. Мартынюк, А.А. Опыт нормирования техногенного воздействия на леса / А.А. Мартынюк, Ю.В. Боронин, А.Н. Жидков, А.В. Костенко // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. – М.: МГУЛ, 1998. – С. 96–106.
18. Николаевский, В.С. Временные экологические нормативы допустимого загрязнения воздуха для растительности / В.С. Николаевский, Х.Г. Якубов // Мониторинг и оценка состояния растительного покрова. – Минск: Право и экономика, 2003. – С. 82–83.
19. Мартынюк, А.А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения / А.А. Мартынюк. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 160 с.
20. Балычев, В.Д. Роль защитных лесных насаждений Нижнего Поволжья в регулировании шума дисс. ... канд. с-х наук: 06.03.04 / В.Д. Балычев. – Волгоград, 2005. – 245 с.
21. Ministry of the Environment and Climate Change.: <http://www.ontario.ca/ministry-environment>; <http://www.airqualityontario.com/science/pollutants/nitrogen.php>
22. Air Quality for particulate matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide–WHO.–2006. [Электронный ресурс]. <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>.

INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF THE FOREST ECOSYSTEMS MONITORING ON ESPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS IN THE CITIES

Bednova O.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Biol.); **Kuznetsov V.A.**, Prof. UNESCO's «Green Chemistry for Sustainable Development» D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Dr. Sci. (Tech.); **Andrushin Y.Y.**, Higher College of wildlife at D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

caf-ecology@mgul.ac.ru, vakus@inbox.ru
 Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 9 Miusskaya square, Moscow 125047, Russia

The paper presents the results of the development of information and analytical support for the forest ecosystems monitoring in the urban areas and its tests in the protected areas of Moscow. This development is the basis of an ecological information system for the local level. Ecological information systems usually include three levels, aimed at solving various problems of monitoring and differing in the methods of environmental information processing. The upper level consists of software modules for decision support, medium – software for a systematic analysis of the environment state information and the bottom – the processing of the primary environmental information. In this case, the primary information about the state

of forest ecosystems is systematized in the following blocks: the state of tree stand; the state of undergrowth, geobotanical description; structural diversity. As the parameters of the abiotic component air pollution levels and equivalent sound level were fixed. Primary ecological information is entered into the database in the form of spreadsheets. Information on the status of the biotic component is generalized using integral indices – the index of the tree stand state and the index of structural diversity. The standardization and indication algorithms of the biotic indices and abiotic parameters have been developed on the basis of the Harrington method of functions desirability. On this basis, a computer program «Urban Forest» has been designed. An example of the cartographic analysis by the proposed environmental indicators is demonstrated.

Keywords: forest ecosystems, urban specially protected natural areas, ecological multicriteria assessment, ecological information system.

References

1. Shitikov V.K. *Intellektual'naya tekhnologiya strukturnogo analiza ekologicheskikh system*. Diss. dokt. biol. nauk [Intellectual technology of structural analysis of ecological systems Dr. biol. sci. diss.]. Tolyatti, 2006. 51 p.
2. Rastoskuev V.V. *Informatsionnye tekhnologii ekologicheskoy bezopasnosti*. [Information Technology for Ecological Safety] Available at: <http://loi.sccc.ru/gis/eoconf> (accessed 15 September 2014)
3. Bednova O.V., Likhachev A.A. *Kontseptsiya ekologicheskoy seti na urbanizirovannoy territorii* [The concept of an ecological network in the urban area]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik, 2013, № 6 (98). pp. 131–142.
4. Rysin L.P. *Monitoring rekreatsionnykh lesov* [Monitoring of recreational forests]. Moscow. ONTI of RSA. Publ, 2003. 168 p.
5. Bednova O.V. *Strukturnoe raznoobrazie lesnykh ekosistem dlya kak indikator ikh narushennosti i osnova dlya prirodookhrannogo planirovaniya* [Structural diversity in forest ecosystems as indicator of their disturbance and basis for nature-conservation zoning on the urban protected natural areas] Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik, 2012, № 9 (92). pp. 16–29.
6. Kuznetsov V.A. *Razrabotka sposobov integral'noy otsenki vliyaniya gorodov na sostoyanie okruzhayushchey sredy i tekhnicheskikh resheniy po minimizatsii prioritnykh faktorov khimicheskogo vozdeystviya*. Diss. dokt. tech. nauk. [Development of integrated assessment methods of the cities impact on the environment and technical solutions to minimize the priorities for chemical influence. Dr. tech. sci. diss.] Moscow, 2009. 394 p.
7. Vorobeychik E.L., Sadykov O.F., Farafonov M.G. *Ekologicheskoe normirovanie tekhnogennykh zagryazneniy* [Ecological standardization of terrestrial ecosystems technogenic pollution]. Ekaterinburg. Nauka, 1994. Publ. 280 p.
8. Megarran E. *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow. Mir Publ., 1993. 181 p.
9. Bednova O.V. *Monitoring bioraznoobraziya lesnykh i urboekosistem* [Monitoring of biodiversity in forest and urban ecosystems]. *Monitoring sostoyaniya lesnykh i gorodskikh ekosistem* [Monitoring of forest and urban ecosystems]. Moscow: MSFU. Publ., 2004. pp. 39–51.
10. Mozolevskaya E.G. *Informatsionnoe obespechenie urbomonitoringa* [Information support of urban ecosystems monitoring]. *Monitoring sostoyaniya lesnykh i gorodskikh ekosistem*: MSFU. Publ., 2004. pp. 108–112.
11. Bednova O.V. Kuznetsov V.A., *K algoritmu optimizatsii mnogokriterial'noy otsenki sostoyaniya lesnykh ekosistem na urbanizirovannykh territoriyakh* [Optimization algorithm of multicriteria evaluation of forest ecosystems in urban areas] XIII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskoy Internet– konferentsii «Les-2012» [International scientific and technical online-conference «Forest 2012»] Available at: <http://science-bsea.narod.ru> (accessed 15 September 2014)
12. Bednova O.V. *Metod indikatsii i otsenki rekreacionnykh izmeneniy v lesnykh biogeotsenozakh* [The method of changes assessment in recreation forests] Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik, 2013, № 7 (99). pp. 77–88.
13. *Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukh naseleennykh mest. GN 2.1.6.1338-03* [Maximum allowable concentration (MAC) of pollutants in the ambient air of populated areas. State norms 2.1.6.1338-03].
14. *Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukh naseleennykh mest. Dopolneniya i izmeneniya 2 k GN 2.1.6.1338-03* [Maximum allowable concentration (MAC) of pollutants in the ambient air of populated areas. Additions and changes to GN 2.1.6.1338-03].
15. *Sanitarnye normy SN 2.4/2. 2.1.6.1338-03 1.8.562-96 «Shum na rabochikh mestakh, v pomeshcheniyakh zhilykh, obshchestvennykh zdaniy i na territorii zhiloy zastroyki»* [Sanitary norms SN 2.4/2. 2.1.6.1338-03 1.8.562-96 «The noise in the workplace, in residential and public buildings and residential areas]
16. *Metodicheskie rekomendatsii Diagnostika, ekspertiza trudosposobnosti i profilaktika professional'noy sonevral'noy tugoukhosti*. [Assessment and prevention of occupational disability sensorineural hearing loss]. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/701696>.
17. Martynyuk A.A. Boronin Y.V., Zhidkov A.N., Kostenko A.V. *Opyt normirovaniya tekhnogennogo vozdeystviya na lesa* [Normalization of anthropogenic impacts on forests]. *Ekologiya, monitoring i ratsional'noe prirodopol'zovanie*. [Environmental, monitoring and environmental management]. Moscow: MSFU Publ. 1998. pp 96–106.
18. Nikolaevskiy V.S., Yakubov Kh.G. *Vremennyye ekologicheskyye normativy dopustimogo zagryazneniya vozdukh dlya rastitel'nosti* [Temporary ecological standards of permissible air pollution on vegetation] *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo pokrova*. [Monitoring and evaluation of vegetation]. Minsk. Pravo i ekonomika Publ., 2003. pp 82–83.
19. Martynyuk A.A. *Sosnovyye ekosistemy v usloviyakh aerotekhnogennogo zagryazneniya* [Pine ecosystems in conditionals of environmental contamination] Moscow. VNIILM Publ, 2004. 160 p.
20. Balychev V.D. *Rol' zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy Nizhnego Povolzh'ya v regulirovani shum*. Diss. kand. s-kh. nauk [The role of protective forest plantations in the Lower Volga region for the regulation of noise. Dr. agric. sci. diss.]. Volgograd, 2005. 245 p.
21. Ministry of the Environment and Climate Change. Official website. Available at <http://www.airqualityontario.com/science/pollutants/nitrogen.php> (accessed 15 September 2014)
22. Air Quality for particulate matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide. WHO, 2006. Available at <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>. (accessed 15 September 2014)

СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ НА БУЛЬВАРНОМ КОЛЬЦЕ г. МОСКВЫ

Д.А. БЕЛОВ, доц. каф. экологии и защиты леса МГУЛ, канд. биол. наук,
Н.К. БЕЛОВА, доц. каф. экологии и защиты леса МГУЛ, канд. биол. наук

belov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Бульварное кольцо – яркий архитектурно-ландшафтный элемент Москвы. Приведены краткие сведения по истории создания и функционирования Бульварного кольца и представлены данные сплошного обследования его насаждений. В процессе работы дана оценка состоянию 3899 экз. древесных и 8857 экз. кустарниковых растений, относящихся к 73 видам. Основу ассортимента древесных растений составляют как коренные лиственные лесообразующие виды, так и интродуцированные растения (ясень пенсильванский, клен ясенелистный). В ходе исследований выявлено наличие видов членистоногих вредителей (щитовки и ложнощитовки, златки, лубоеды и др. стволовые вредители, комплекс минирующих насекомых) и возбудителей болезней растений (тиростромоза, цитоспороза, голландской болезни ильмовых пород, бактериального рака, гнилей древесины стволов и ветвей растений), представляющих потенциальную опасность для состояния отдельных экземпляров растений и насаждений Бульварного кольца в целом. Приведен полный список идентифицированных видов членистоногих вредителей и возбудителей болезней растений, рассматриваются отдельные факторы, ослабляющие растения. Указаны причины антропогенного характера, снижающие точное определение до вида возбудителей болезней и/или членистоногих вредителей растений. Полученные данные позволяют предположить слабую организацию системы наблюдения за состоянием растений в насаждениях Бульварного кольца, ухода за растениями и проведения необходимых ликвидационных мероприятий при гибели растений.

Ключевые слова: Бульварное кольцо, членистоногие вредители растений, возбудители болезней растений, состояние растений.

Зеленые насаждения оказывают значительное влияние на общий художественный облик городской среды. Деревья и кустарники, газоны и цветники являются полноправными компонентами городских архитектурных ансамблей. Грамотно размещенные аллеи, группы древесных растений и цветочные партеры способны подчеркнуть достоинства прилегающей застройки путем раскрытия интересных видов и перспектив, скрыть недостатки массовой монотонной застройки.

Московские бульвары – внутригородские пешеходные магистрали в центре города, составляющие значительную часть озеленения Москвы. Это озелененные территории общего пользования вдоль улиц и набережных в виде полосы шириной не менее 18 м, предназначенные для пешеходного транзитного движения и кратковременного отдыха.

Как правило, насаждения бульваров представлены изолированными посадками вдоль проезжей части и декоративными группами из относительно устойчивых деревьев и кустарников. По выражению И.Я. Башкевича с соавторами [1], бульвары – это многополосные посадки, своеобразные лесополосы с достаточно плотным растительным барьером. Насаждения бульваров сформированы по

типу аллей, рядовых и куртинных посадок, а в некоторых случаях и как фрагменты пейзажных парков.

Самые старые по времени создания бульвары образуют Бульварное кольцо – непрерывную последовательность в Центральном административном округе г. Москвы, состоящую из десяти бульваров (Гоголевский, Никитский, Тверской, Страстной, Петровский, Рождественский, Сретенский, Чистопрудный, Покровский, Яузский). Длина цепи бульваров составляет более 9 км.

Несмотря на название, Бульварное кольцо не замкнуто, а образует своеобразную «подкову», упирающуюся на западе в площадь Пречистенских ворот, а на востоке – в площадь Яузских ворот. Вершины подковы «связывают» набережные Москвы-реки.

Продолжение Бульварного кольца в Замоскворечье предусматривалось в постановлении 1935 г. «О генеральном плане реконструкции Москвы». Однако в дальнейшем возобладало мнение, что сложная и дорогостоящая прокладка бульваров через плотно застроенные кварталы Замоскворечья не является градостроительной необходимостью.

Бульварное кольцо сформировано на месте стен и башен Белого города. В конце

XVIII в. город вырос и белгородская стена потеряла оборонительное значение. Ее начали разбирать в 1760 г.

В 1775 г. на подпись к императрице Екатерине II в Санкт-Петербург был отправлен генеральный план Москвы, в котором на месте крепостной стены были распланированы аллеи в два ряда деревьев. Работы по воплощению этого плана начались в 1796 г. с обустройства Тверского бульвара, который был оформлен на французский манер: высажены деревья, разбиты цветники и газоны.

Бульварное кольцо приняло современные очертания после войны 1812 г. К 1820 г. основное обустройство было завершено.

В 1845 г. В. Белинский писал про круг опоясывающих Москву бульваров как о «лучшем ее украшении, которому Петербург имеет полное право завидовать». Однако уже в 1862 г. проверка его состояния показала нехватку сотен деревьев.

С этого момента насаждения многократно реконструировались.

Наиболее масштабная реконструкция была приурочена к празднику 800-летия Москвы (1947), когда было высажено более 4 тыс. деревьев и 13 тыс. кустарников.

Последняя по времени проведения реконструкция началась в 2008 г. Первыми реконструировали Чистопрудный, Никитский, Рождественский и Страстной бульвары. В 2011 г. работы проводились на Яузском, Гоголевском, Петровском и Сретенском бульварах. В 2012 г. реконструкция завершилась работами на Тверском и Покровском бульварах.

Было выполнено покрытие дорожно-тропиночной сети гранитной высевкой и гранитной брусчаткой, установлены малые архитектурные формы, реконструировано наружное освещение, отремонтированы газоны, смонтирована система автоматического полива, высажены деревья.

На Гоголевском бульваре создана детская площадка, а на Тверском установлены игровые площадки для детей с ограниченными возможностями.

Бульварное кольцо – яркий архитектурно-ландшафтный элемент Москвы. Каж-

дое звено обладает индивидуальными особенностями.

Гоголевский бульвар до 1924 г. именовался Пречистенским. Он трехступенчатый, проезды и находящийся между ними собственно бульвар расположены на разных высотных уровнях. Внутренний проезд находится на верхней ступени, непосредственно бульвар – на средней, а внешний проезд – на нижней. Такой рельеф сформировался благодаря тому, что ручей Черторой (Черторый), который омывал наружный склон вала Белого города и протекал фактически на месте внешнего бульвара, имел разные по высоте берега.

Никитский бульвар – с 1950 по 1993 годы именовался Суворовским.

Тверской бульвар – самый старый и самый протяженный на Бульварном кольце (875 м).

Страстной бульвар – самый широкий (123 м в наиболее широком месте).

Петровский бульвар спускается по бывшему береговому склону реки Неглинная, заключенной в коллектор.

Рождественский бульвар со стороны площади Сретенских ворот закрыт старинным зданием гостиницы, со стороны Трубной площади – недостроенным зданием культурно-развлекательного центра.

Сретенский бульвар самый короткий (214 м).

Чистопрудный бульвар – самый значительный по площади и имеет на территории водоем.

Покровский бульвар в современном виде существует с 1954 г., когда на его отрезке от Хохловской площади до Казарменного переулка был полностью ликвидирован плац Покровских казарм.

Яузский бульвар формально имеет неозелененную часть (бывший Яузский проезд), которая вливается в Яузскую площадь.

В 1978 г. Бульварному кольцу был присвоен статус памятника садово-паркового искусства.

Кроме эстетической, бульвары кольца имеют и утилитарную функцию. Расположенные в кварталах с высокой плотностью

застройки, они часто выполняют функции садов жилых микрорайонов, то есть используются жителями для прогулок и отдыха с детьми, взрослым населением – для отдыха и общения в течение всего дня [8–10].

Экологическая обстановка на бульварах кольца в значительной степени зависит от их расположения и особенностей граничащих улиц и магистралей, а также от размеров и конфигурации площади их территории. Интенсивность транспортного движения и пешеходных потоков определяет уровень антропогенной нагрузки на насаждения бульваров.

Экологические условия на крупных по площади бульварах Москвы контрастны: в глубине их территорий на газонах и в отдалении от дорожек они достаточно благоприятны и близки к условиям парков, а по границе – к условиям, в которых находятся простые уличные посадки.

В связи с первым обстоятельством на бульварах кольца вредно влияют на насаждения такие природные факторы, как возбудители болезней и членистоногие вредители древесных растений, находящие там условия для существования. В связи со вторым обстоятельством наиболее влиятельными факторами дестабилизации состояния насаждений являются антропогенные. Среди них на первом месте влияние дорожно-транспортных загрязнений, в особенности по границам с улицами и пешеходными дорожками.

Кроме дорожно-транспортного загрязнения, наиболее существенное воздействие на деревья и насаждения в целом оказывают такие антропогенные факторы, как уплотнение и изменение химических и физико-химических свойств почвы в местах высокой рекреационной нагрузки, вблизи дорожек, очищаемых от снега, возле палаток и строений; нанесение механических повреждений корням, стволам и кронам деревьев; строительство и ремонт подземных коммуникаций, дорожно-строительные работы; нарушение и загрязнение естественного поверхностного стока; асфальтовые покрытия, препятствующие нормальному воздухо- и влагообмену растений; уничтожение и обеднение естественного напочвенного живого покрова.

Периодические реконструкции бульваров привели к тому, что на всем протяжении произрастают как старые, так и средневозрастные и сравнительно молодые растения. При этом точечные высадки единичных экземпляров растений различных видов проводятся каждый год.

Состояние насаждений бульваров в Центральном округе Москвы и его динамика изучались авторами начиная с 1997 г. [2].

Летом 2014 г. проведено разовое обследование территории Бульварного кольца со сплошным пересчетом древесно-кустарниковой растительности. В процессе работы дана оценка состоянию 3899 экз. древесных и 8857 экз. кустарниковых растений, относящихся к 73 видам.

Ниже приводится часть результатов проведенных работ.

Основу ассортимента древесных растений составляют как коренные лиственные лесообразующие виды – липа мелколистная (38,4 %), клен остролистный (8,3 %), тополь бальзамический (5,2 %), вяз гладкий (4,9 % от общего количества древесных растений), так и интродуцированные растения – ясень пенсильванский (23,2 %), клен ясенелистный (3,7 %). Остальные виды древесных растений представлены небольшим количеством экземпляров (от 1 до 91 – максимум 2,3 % от общего количества древесных растений в насаждениях Бульварного кольца).

Хвойных растений в насаждениях произрастает 86 экземпляров (2,2 %), практически половина из которых представлена елью колючей.

Среди кустарниковых растений 60,7 % от общего количества представлено кизильником блестящим, 11,0 % – караганой древовидной, 7,6 % – боярышником обыкновенным, 5,0 % – сиренью обыкновенной.

Шесть видов кустарников представлены в количестве от 100 до 200 экз., двадцать восемь видов – в количестве менее 100 экз. каждый.

Наиболее высокое разнообразие ассортимента древесно-кустарниковых растений наблюдается в насаждениях Страстного (32 вида), Тверского и Чистопрудного (по 28 видов) и Покровского (26 видов) бульваров.

Состояние древесных и кустарниковых растений в насаждениях на Бульварном кольце
Condition of trees and shrubs in the stands on the Boulevard Ring

Бульвар	ГОК*	Количество экземпляров, % по категориям состояния					
		1	2	3	4	5	6
Гоголевский	0,21	87,07	9,69	1,33	1,62	0,23	0,06
Никитский	-	93,79	5,85	0,18	0,18	-	-
Тверской	18,94	69,97	21,52	5,94	1,73	0,12	0,72
Страстной	13,18	81,25	15,16	1,22	2,02	0,21	0,05
Петровский	14,53	68,8	25,12	2,72	2,88	0,32	0,16
Рождественский	-	89,84	7,20	1,16	1,16	-	0,64
Сретенский	2,28	83,06	15,19	0,75	1,00	-	-
Чистопрудный	3,95	79,98	16,87	2,36	0,48	0,26	0,05
Покровский	8,20	36,47	48,77	11,71	1,72	1,06	0,27
Яузский	-	21,7	72,9	2,4	1,8	1,2	-
Итого на Бульварном кольце	8,28	77,91	17,45	2,86	1,34	0,21	0,23

* ГОК – доля древесных растений на бульваре, подвергнутых глубокой обрезке кроны

На Яузском бульваре всего 6 видов древесных и кустарниковых растений.

На остальных бульварах ассортимент древесно-кустарниковой растительности представлен 14–23 видами.

Состояние древесных и кустарниковых растений на Бульварном кольце представлено в табл. 1. Её данные позволяют утверждать, что общее состояние растений следует признать удовлетворительным.

Однако, несмотря на доминирование растений, отнесенных к 1 и 2 категориям состояния, следует обратить внимание на отсутствие лиственных растений, отнесенных к 0-й категории состояния, что говорит о мощном антропогенном прессе наряду с естественными факторами ослабления растений.

Следует отметить, что в насаждениях на двух бульварах, замыкающих кольцо (Покровский и Яузский), доминируют растения, отнесенные ко 2 категории состояния, а также имеется наибольшее количество (относительно общего количества) сухостоя текущего года. Наличие сухостоя недопустимо как с эстетической точки зрения, так и безопасности посетителей. Кроме того, наличие сухостойных деревьев позволяет предположить слабую организацию системы наблюдения за состоянием растений, ухода за растениями и проведения необходимых ликвидационных мероприятий при гибели растений.

Отсутствие должного ухода за растениями позволяет предположить наличие внутри куртин, рядов и отдельных экземпляров кустарников поросли древесных растений.

Данную поросль необходимо удалять, так как, во-первых, древесные растения через короткий промежуток времени станут усиленно конкурировать с кустарниками и приведут к их значительному ослаблению; во-вторых, поросль древесных растений в большей степени подвержена поражению возбудителями болезней растений (массово – мучнистой росой) и является их резерватом.

Древесная поросль клена ясенелистного, ясеня пенсильванского, клена остролистного, вяза гладкого, тополя бальзамического и липы мелколистной встречается практически на каждом бульваре, при этом ослабляются барбарис обыкновенный, боярышник однопестичный, жимолость, карагана древовидная, кизильник блестящий, клен гиннала, роза собачья, сирень, спирея, чубушник вечнозеленый.

На Гоголевском, Никитском и Тверском бульварах часть кустов полностью закрыта вьющимися травянистыми растениями (вьюнком полевым и девичьим виноградом) или высокорослыми травами (крапива, полынь). Отдельные экземпляры трав выше кустов, например кизильника, в 1,5 раза, часть из них служит кормовыми растениями для тлей,

которые впоследствии переходят на кизильник или иные кустарниковые растения.

Отсутствие качественного ухода за растениями проявляется также в закрашивании плодовых тел трутовых грибов масляной краской (Тверской бульвар) и многочисленных механических повреждениях, наносимых растениям при процедуре посадки и вырезке сухих ветвей, а также при проведении глубокой обрезки крон (ГОК) древесных растений.

В среднем на бульварах кольца ГОК в 2014 г. подверглось более 8 % древесных растений. Наибольшее количество таких деревьев находится на Тверском, Страстном, Петровском и Покровском бульварах. Данное мероприятие проводится в первую очередь на ясене пенсильванском, тополе бальзамическом, реже – на липе мелколистной или вязе гладком.

Как правило, подверженные ГОК экземпляры сильно ослаблены, суховершинны или сухокронны, заселены стволовыми вредителями или имеют стволовые гнили и должны удаляться из насаждений. На части из них после ГОК начинают усиленно развиваться новые возбудители болезней. Так, в частности на Чистопрудном бульваре, все тополя бальзамические, подверженные ГОК, были в сильной степени поражены мучнистой росой, тогда как экземпляры тополей с нетронутыми кронами не имели даже следов развития возбудителя данного заболевания.

Кроме того, на части растений, подвергнутых ГОК, установить точные причины ослабления и усыхания иногда не представлялось возможным, так как в процессе обрезки были уничтожены визуальные признаки наличия возбудителей болезней и/или членистоногих вредителей растений.

В некоторых случаях помехой идентификации визуальных признаков развития возбудителей болезней и/или членистоногих вредителей растений являлись декоративные осветительные гирлянды, намотанные вокруг стволов и крупных скелетных ветвей деревьев, произрастающих как в крайних рядах, так и вдоль пешеходных дорожек.

Массовая поврежденность растений членистоногими вредителями и поражен-

ность возбудителями болезней указывают на их значительное влияние на состояние растений.

В ходе обследования произрастающих на территории Бульварного кольца деревьев и кустарников выявлены отдельные виды членистоногих вредителей и возбудителей болезней растений (табл. 2, 3), для чего использовались широко известные определители [3–7].

Идентифицированные виды членистоногих вредителей растений можно разделить на три группы.

Первая представлена видами, которые легко могут быть замечены, но мало влияют на физиологическое ослабление растений и не наносят серьезных повреждений (например моли-крошки).

Вторая представлена видами, которые также часто встречаются, легко могут быть обнаружены, но мало влияют на физиологическое ослабление растений. Они не могут, действуя самостоятельно, привести растение к гибели, но, нанося заметные повреждения, способствуют резкому снижению их декоративности (липовый войлочный клещик, вязовый минирующий пилильщик, липовый слизистый пилильщик, тополевый слоник-блошка, липовая краевая галлица, жимолостная минирующая мушка и т.п.).

Третья группа представлена видами, наносящими повреждения тканям растений скрыто, и напрямую снижающими физиологическое состояние и декоративность растений (кокциды, отдельные виды тлей и минирующих насекомых, стволовые вредители). Представители этой группы также являются переносчиками возбудителей болезней растений и могут стать ускорителями процесса усыхания деревьев и интенсификаторами отпада в насаждениях.

При этом явные признаки заселения стволовыми вредителями имеет незначительное количество древесных растений, однако почти все они (за исключением нескольких экземпляров липы мелколистной, тополя бальзамического и вяза гладкого) являются деревьями ясеня пенсильванского, что с большой долей вероятности позволяет утверждать, что

**Членистоногие вредители растений, идентифицированные
в насаждениях Бульварного кольца**

Arthropod pests identified in plantations Boulevard Ring

Вид членистоногого вредителя (русское и международное Наименование) *	Вид растения
Кленовый войлочный клещик (<i>Eriophyes macrochelus eriobius</i> Nal.)	Клен остролистный
Грушевый галловый клещик (<i>Eriophyes piri</i> Pagenst)	Рябина обыкновенная
Липовый войлочный клещик (<i>Eriophyes tiliae</i> var. <i>Liosoma</i> Nal.)	Липа мелколистная
Липовый бородавчатый клещик (<i>Eriophyes tetratrichus stenoporus</i> Nal.)	Липа мелколистная
Липовый рожковидный клещик (<i>Eriophyes tiliae</i> var. <i>Rudis</i> Nal.)	Липа мелколистная
Обыкновенный паутинный клещик (<i>Tetranychus urticae</i> C. L. Koch.)	Липа мелколистная, липа крупнолистная
Жасминная тля (<i>Aphis phyladelphi</i> Boern.)	Чубушник венечный
Сморodinная тля (<i>Capitophorus ribis</i> L.)	Смородина красная
Красногалловая боярышниковая тля (<i>Dysaphis crataegi</i> Kalt.)	Боярышник колючий, боярышник крово-красный
Красногалловая (серая) яблонная тля (<i>Dysaphis devecta</i> Walk.)	Яблоня домашняя
Пихтово-ясеневая тля (<i>Prociphilus nidificus</i> Loew.)	Ясень пенсильванский
Акациевая ложнощитовка (<i>Parthenolecanium corni</i> Bouche.)	Липа мелколистная
Яблоневая запятовидная щитовка (<i>Lepidosaphes ulmi</i> L.)	Боярышник крово-красный, береза повислая
Листовой слоник (долгоносик) (<i>Phyllobius</i> sp. Germar)	Сирень обыкновенная
Тополевый слоник-блошка (<i>Rhynchaenus populi</i> F.)	Тополь черный
Черная узкотелая златка (<i>Agrius ater</i> L.) **	Тополь бальзамический
Изумрудная узкотелая ясеневая златка (<i>Agrius pianipennis</i> Fairmaire) **	Ясень пенсильванский
Зеленая узкотелая златка (<i>Agrius viridis</i> Z.) **	Липа мелколистная
Липовый крифал (<i>Ecnoporus tiliae</i> (Panzer)) **	Липа мелколистная
Заболоник струйчатый (<i>Scolytus multistriatus</i> Marsh.) **	Вяз гладкий, вяз мелколистный
Кленовая моль-малютка (<i>Nepticula aceris</i> Frey.)	Клен остролистный
Вязовая змеевидная моль-малютка (<i>Nepticula marginicolella</i> Stt.)	Вяз мелколистный, вяз гладкий, вяз низкий
Минирующая моль листьев конского каштана (<i>Cameraria ohridella</i> Deschka et Dimic.)	Каштан конский обыкновенный
Моль хвостоносная акациевая (<i>Micrurapteryx gradatella</i> H.-S.)	Карагана древовидная
Кармашковая моль (<i>Parornix guttea</i> Hw.)	Вишня японская
Вязовая моль-пестрянка (<i>Phyllonorycter agilella</i>)	Вяз гладкий
Липовая моль-пестрянка (<i>Phyllonorycter issikii</i> Kumata.)	Липа мелколистная
Тополевая моль-пестрянка нижнесторонняя (<i>Phyllonorycter populifoliella</i> Tr.)	Тополь бальзамический, тополь черный
Боярышниковая кружковая моль (<i>Leucoptera scitella</i> L.)	Боярышник колючий
Яблоневая минирующая моль (<i>Lyonetia clerckella</i> L.)	Кизильник блестящий
Дубовая одноцветная моль-минер (<i>Tischeria ekeblandella</i> Birk.)	Дуб черешчатый
Кленовая стрелчатка (<i>Acronicta aceris</i> L.)	Клен остролистный
Древесница въедливая (<i>Zeuzera pyrina</i> L.)	Ясень пенсильванский, липа мелко- листная
Пчела листорез (<i>Megachile centuncularis</i> L.)	Роза коричная, шиповник иглистый
Липовый слизистый пилильщик (<i>Caliroa annulipes</i> Auktor (Klug))	Липа мелколистная
Вязовый минирующий пилильщик (<i>Fenusa ulmi</i> Daud.)	Вяз мелколистный
Кленовый минирующий пилильщик (<i>Phyllotoma aceris</i> McLachl.)	Клен остролистный
Липовая краевая галлица (<i>Dasyneura tiliamvolvans</i> Rubs.)	Липа мелколистная
Малинная минирующая мушка (<i>Agromyza spiraeae</i> Kalt.)	Спирея японская
Бузинная минирующая мушка (<i>Liriomyza amoena</i> Meigen)	Бузина красная
Минирующая тополевая мушка (<i>Phytogromyza populi</i> Kalt.)	Тополь бальзамический, тополь черный
Жимолостная минирующая мушка (<i>Phytogromyza xylostei</i> R.-D.)	Жимолость обыкновенная

* Практически на всех видах древесных и кустарниковых растений были обнаружены следы питания сосущими вредителями, в основном тлями. Однако следы повреждений не могут позволить точно идентифицировать видовую принадлежность сосущих вредителей. На отдельных видах растений это также могут быть и листоблошки, и цикадки.

** Обнаружены вылетные отверстия и/или ходы на обнаженной древесине или отпавших кусках коры, насекомые на всех стадиях развития не обнаружены.

Возбудители болезней растений, идентифицированные в насаждениях Бульварного кольца
Plant pathogens identified in the plantations of the Boulevard Ring

Наименования возбудителей болезней растений *	Вид растения
Вирусная кольцевая пятнистость (<i>Ulmus stripe mosaic virus</i>)	Вяз гладкий, вяз шершавый
Бурая пятнистость (<i>Asteroma inconspicuum</i> (Cavara) B. Sutton)	Вяз гладкий, вяз шершавый
Коричневая пятнистость (<i>Cercospora fraxini</i> (DC.) Sacc.)	Ясень пенсильванский
Бурая пятнистость (глеоспориоз) (<i>Discula umbrinella</i> (Roberge ex Desm.) Hühn.)	Дуб черешчатый
Бурая пятнистость (<i>Guignardia aesculi</i> (Peck) V. B. Stewart.)	Каштан конский обыкновенный
Темно-коричневая пятнистость (<i>Monostichella salicis</i> (Westend.) Arx)	Ива шаровидная
Бурая пятнистость (<i>Phyllosticta mali</i> Prill. & Delacr.)	Арония черноплодная
Коричневая пятнистость (<i>Phyllosticta fraxinicola</i> (Curr.) Sacc.)	Ясень пенсильванский
Красноватая пятнистость (<i>Phyllosticta negundinis</i> Sacc. & Speg., <i>Michelia</i>)	Клены ясенелистный, гиннала, полевой, остролистный, сахарный, татарский
Охряная пятнистость (<i>Seimatosporium lichnicola</i> (Fuckel) Brockmann)	Боярышник колючий, боярышник кроваво-красный
Охряная пятнистость (<i>Septoria magnusiana</i> Allesch.)	Спирея японская
Мучнистая роса (<i>Erysiphe communis</i> Opiz ex L. Junell)	Гортензия крупнолистная
Мучнистая роса (<i>Erysiphe flexuosa</i> (Peck) U. Braun & S. Takam.)	Каштан конский обыкновенный
Мучнистая роса (<i>Microsphaera alphitoides</i> Gr. et Maubl.)	Дуб черешчатый
Мучнистая роса (<i>Microsphaera berberidis</i> (DC.) Lév.)	Барбарис обыкновенный
Мучнистая роса (<i>Microsphaera lonicerae</i> (DC.) G. Winter)	Жимолость обыкновенная
Мучнистая роса (<i>Microsphaera palczewskii</i> Jacz.)	Карагана древовидная
Мучнистая роса (<i>Microsphaera penicillata</i> Jacz.)	Снежноягодник белый
Мучнистая роса (<i>Microsphaera penicillata</i> f. <i>viburni</i> Jacz.)	Калина обыкновенная
Мучнистая роса (<i>Microsphaera syringae</i> Jacz.)	Сирень обыкновенная
Мучнистая роса (<i>Podosphaera clandestina</i> (Wallr.) Lév.)	Боярышник кроваво-красный
Мучнистая роса (<i>Phyllactinia guttata</i> (Wallr.) Lév.)	Ясень пенсильванский
Мучнистая роса (<i>Sawadaia bicornis</i> (DC.) Miyabe)	Клен ясенелистный, клен гиннала, клен татарский
Мучнистая роса (<i>Sawadaia tulasnei</i> (Fuckel) Homma)	Клен остролистный
Мучнистая роса (<i>Sphaerotheca pannosa</i> (Wallr.) Lév.)	Шиповник обыкновенный
Мучнистая роса (<i>Uncinula adunca</i> (Wallr.) Lév.)	Тополь бальзамический
Шютте можжевельника (<i>Lophodermium juniperinum</i> L.)	Можжевельник казацкий
Побурение хвои и побегов туи (<i>Kabatina thujae</i> R. Schneid. & Arx)	Туя западная
Голландская болезнь, офиостомоз (<i>Ophiostoma ulmi</i> (Buisman) Melin & Nannf.)	Вяз гладкий, вяз мелколистный, вяз низкий
Цитоспоровый некроз (<i>Cytospora leucosperma</i> (Pers.) Fr.)	Яблоня домашняя, рябина обыкновенная, боярышник кроваво-красный, вишня японская
Тиростромоз (<i>Thyrostroma compactum</i> (Sacc.) Hühn.)	Липа мелколистная, вяз мелколистный, вяз низкий
Бактериальный рак (<i>Pseudomonas remifaciens</i> Smith & Townsend)	Тополь бальзамический
Бактериальный рак (<i>Erwinia multivora</i> Sch.-Parf.)	Береза повислая
Бактериальная водянка (<i>Erwinia</i> sp. Sch.-Parf.)	Вяз гладкий, вяз мелколистный
Щелелистник обыкновенный (<i>Schizophyllum commune</i> (Fries))	Липа мелколистная, вяз гладкий, рябина обыкновенная, клен остролистный, клен ясенелистный
Настоящий трутовик (<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr.)	Липа мелколистная, ясень пенсильванский, вяз гладкий, клен остролистный
Серно-желтый трутовик (<i>Laetiporus sulphureus</i>)	Ясень пенсильванский
Кленовый трутовик (<i>Oxyporus populinus</i> (Schumach.) Donk)	Клен остролистный
Трутовик чешуйчатый (<i>Polyporus squamosus</i> (Huds.) Fr.)	Клен ясенелистный

* В связи с тем, что развитие возбудителей пятнистостей и мучнисторосяных грибов находилось в начальной стадии и устойчивые главные идентификационные признаки не проявились в полной мере, возможно некорректное определение отдельных видов возбудителей.

**Причины удаления и замены древесных и кустарниковых растений
в насаждениях на Бульварном кольце**
The reasons for removal and replacement of trees and shrubs in the stands on the Boulevard Ring

Причина удаления и замены *	Вид растения	Количество экземпляров
Аварийное состояние (наклон более 45 °над дорожкой, проезжей частью, местом отдыха населения, часто сопряженное с заселенностью стволовыми и пораженностью гнилями древесины ствола)	Клен ясенелистный	2
	Вяз мелколистный	1
	Каштан конский обыкновенный	1
	Тополь бальзамический	1
	Ясень пенсильванский	1
	<i>Итого</i>	6
Бактериальный рак	Тополь бальзамический	10
Сухостой	Липа мелколистная	3
	Карагана древовидная	3
	Ясень пенсильванский	3
	Вяз гладкий	2
	Ель обыкновенная	2
	Клен остролистный	2
	Сирень обыкновенная	2
	Рябина обыкновенная	2
	Боярышник обыкновенный	1
	Вяз мелколистный	1
	<i>Итого</i>	21
Наличие признаков стволовой гнили (в том числе дупло, плодовое тело дереворазрушающего гриба и иные признаки)	Липа мелколистная	31
	Ясень пенсильванский	30
	Клен ясенелистный	7
	Клен остролистный	5
	Тополь бальзамический	4
	Вяз мелколистный	2
	Клен татарский	1
	Рябина обыкновенная	1
	Сирень венгерская	1
	<i>Итого</i>	82
Признаки поселения стволовых вредителей	Ясень пенсильванский	157
	Тополь бальзамический	11
	Липа мелколистная	6
	Клен остролистный	2
	Вяз мелколистный	1
	<i>Итого</i>	177
Наличие признаков стволовой гнили и признаки поселения стволовых вредителей	Ясень пенсильванский	6
	Липа мелколистная	5
	Тополь бальзамический	4
	Боярышник кроваво-красный	1
	Вяз гладкий	1
<i>Итого</i>	17	
Голландская болезнь ильмовых пород (офиостомоз)	Вяз гладкий	47
	Вяз низкий	5
	Вяз мелколистный	1
	<i>Итого</i>	53
Механическое повреждение в комле и 4-я категория состояния	Липа мелколистная	4
	Сирень венгерская	1
	<i>Итого</i>	5

* Указаны основные причины, у большинства экземпляров, рекомендованных к удалению, имеются сопутствующие заболевания и комплексы членистоногих вредителей.

практически все старовозрастные ясени на Бульварном кольце также заселены, но еще не имеют следов вылета выкормившихся особей изумрудной узкотелой ясеневой златки и в ближайшие 1–2 года резко снизят категории состояния или усохнут полностью.

К числу наиболее часто встречающихся на всех видах растений инфекционных болезней относится комплекс болезней листвы – мучнистая роса и пятнистость листьев, встречающиеся на всех видах лиственных растений.

В насаждениях Бульварного кольца на отдельных видах растений развиваются возбудители, вызывающие сосудистые, некрозно-раковые и гнилевые болезни. Так, для лип мелколистной и крупнолистной характерно развитие тиростромоза, вяза гладкого – голландской болезни ильмовых пород, а для вяза мелколистного – стигминиоза. Отдельные экземпляры тополя бальзамического имели признаки мокрого бактериального рака. На розоцветных был отмечен цитоспороз. Кроме того, на липе мелколистной, вязе гладком, клене остролистном, ясене пенсильванском, рябине обыкновенной, клене ясенелистом были обнаружены и идентифицированы плодовые тела дереворазрушающих грибов, а на тополе бальзамическом и нескольких экземплярах ясеня пенсильванского были обнаружены старые плодовые тела дереворазрушающих грибов, не подлежащие идентификации.

Существенное влияние на состояние растений Бульварного кольца оказывают общие антропогенные факторы неблагоприятного воздействия, вследствие действия которых возникают механические повреждения на стволах и ветвях, обнажение и поранение корневых лап, образуются сухобочины и другие признаки повышенной антропогенной нагрузки.

Следует отметить, что у значительной части деревьев имели место комплексные повреждения – сочетания нескольких на одних и тех же экземплярах растений, совмещенные с заселением комплексами членистоногих вредителей и возбудителей болезней растений.

В ходе обследования выявлено, что 9,52 % древесных растений на бульваре в

результате ослабления комплексом факторов требуют удаления и замены. Причины, по которым необходимо удаление и замена растений, представлены в табл. 4.

Таким образом, в ходе исследований выявлено наличие видов членистоногих вредителей и возбудителей болезней растений, представляющих потенциальную опасность для состояния отдельных экземпляров растений и насаждений в целом.

В изменившейся за последние несколько лет в Москве экологической обстановке при ужесточении неблагоприятного воздействия факторов городской среды следует пересмотреть сложившуюся систему проектирования, технологию создания и содержания насаждений на городских бульварах. Необходимо дифференцированно подходить к целесообразности использования тех или иных видов и форм древесных растений и типов посадки и скорректировать технологию работ по уходу за насаждениями и по их защите от вредных организмов в разной экологической ситуации, вплоть до индивидуального лечения растений.

Так, например, индивидуальное лечение необходимо дубу черешчатому, произрастающему на Тверском бульваре и пораженному серно-желтым трутовиком. Это дерево является памятником регионального значения. Считается, что возраст дуба практически совпадает с началом обустройства Тверского бульвара (около 230 лет).

При очевидной необходимости поддержания состояния насаждений бульваров следует особенно осторожно подойти к методам и срокам проведения работ и их очередности на территории Москвы. При создании на бульварах новых посадок взамен утрачивших устойчивость и полезные функции необходимо осуществлять осознанный выбор места посадки и внимательный отбор посадочного материала.

При изобилии новых почвоулучшающих и стимулирующих рост и защитные функции растений препаратов необходимо расширить масштаб и спектр их применения и закладывать расходы на них уже при проектировании объектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Башкевич, И.Я. Влияние химического состава городских почв на состояние древесных насаждений / И.Я. Башкевич, С.Б. Самоев, И.А. Морозова // Экология большого города. Альманах. – М.: Прима-Пресс, 1998. – Вып. 3. – С. 62–73.
2. Белова, Н.К. Состояние зеленых насаждений на бульварах Москвы / Н.К. Белова, Э.С. Соколова, Д.А. Белов // Весник МГУЛ – Лесной весник. – 2000. – № 6. – М.: МГУЛ. – С. 100–110.
3. Гусев, В.И. Определитель повреждений лесных и декоративных деревьев и кустарников европейской части СССР // В.И. Гусев, М.Н. Римский-Корсаков. – М.-Л.: Гослесбуиздат, 1951. – 580 с.
4. Гусев, В.И. Определитель повреждений лесных, декоративных и плодовых деревьев и кустарников // В.И. Гусев. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 472 с.
5. Гусев, В.И. Определитель повреждений деревьев и кустарников, применяемых в зеленом строительстве // В.И. Гусев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 208 с.
6. Гусев, В.И. Определитель повреждений плодовых деревьев и кустарников // В.И. Гусев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 239 с.
7. Журавлев, И.И. Определитель грибных болезней деревьев и кустарников: Справочник // И.И. Журавлев, Т.Н. Селиванова, Н.А. Черемисинов. — М.: Лесная пром-сть, 1979. — 247 с.
8. Сытин, П.В. История московских улиц / П.В. Сытин. – М.: Эксмо, 2008. – 512 с.
9. Федосюк, Ю.А. Москва в кольце Садовых / Ю.А. Федосюк. – М.: АСТ, 2009. – 446 с.
10. Фролова, В.А. Исследование структуры насаждений на общегородских объектах озеленения (на примере бульваров г. Москвы): дисс. ... к.с.-х. н. / В.А. Фролова. – М.: МГУЛ, 2001. – 23 с.

CONDITION OF THE FORESTS ON THE MOSCOW BOULEVARD RING

Belov D.A., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D; **Belova N.K.**, Assoc. Prof. MSFU, Ph.D

belov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The Boulevard Ring is a bright architectural and landscape element of Moscow. The article provides a brief overview on the history of the establishment and functioning of the Boulevard Ring and presents the data of a complete survey of its plantations. During this research the condition of 3899 specimens of trees and 8857 specimens of shrubs belonging to 73 species was evaluated. The assortment of woody plants basis are indigenous deciduous forest-forming species and introduced plants (the black ash, the box elder). The studies revealed the presence of arthropod pests (scale insects and Coccidae, jewel beetles, bast beetle and others stem pests, a complex of leaf-mining insects) and plant pathogens (necrosis, Dutch elm disease, bacterial cancer, decay of wood trunks and branches), representing potential danger to the condition of the individual specimens of plants and trees of the Boulevard Ring in general. A complete list of identified species of arthropod pests and plant pathogens is provided, some factors weakening the plant are considered. The anthropogenic reasons for reducing precise definition to the pathogen type and/or arthropod plant pests type. These data received suggest a weak organization of surveillance systems of plants of the Boulevard Ring plantations, plant care and necessary remediation activities at the plant-killing.

Keywords: Boulevard Ring, arthropod pests, plant pathogens, plant condition.

References

1. Bashkevich I.Ya., Samoev S.B., Morozova I.A. *Vliyaniye khimicheskogo sostava gorodskikh pochv na sostoyaniye drevesnykh nasazhdeniy* [Effect of chemical composition of urban soils on the state of tree plantation]. *Ekologiya bol'shogo goroda. Al'manakh* [Ecology of Big City. Almanac]. Moscow: Prima-Press Publ., 1998. Vol. 3. pp. 62–73.
2. Belova N.K., Sokolova E.S., Belov D.A. *Sostoyaniye zelenykh nasazhdeniy na bul'varakh Moskvy* [Status of green space on the boulevards of Moscow]. *Moscow state forest university bulletin - Lesnoj vestnik*. – 2000. – № 6. – М.: MGUL Publ. – pp. 100–110.
3. Gusev V.I., Rimskiy-Korsakov M.N. *Opredelitel' povrezhdeniy lesnykh i dekorativnykh derev'ev i kustarnikov Evropeyskoy chasti SSSR* [Determinant of damage forest and ornamental trees and shrubs of the European part of the USSR]. – Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat Publ., 1951. – 580 p.
4. Gusev V.I. *Opredelitel' povrezhdeniy lesnykh, dekorativnykh i plodovykh derev'ev i kustarnikov* [The determinant of injuries forest, fruit and ornamental trees and shrubs]. Moscow: Forest industry Publ., 1984. 472 p.
5. Gusev V.I. *Opredelitel' povrezhdeniy derev'ev i kustarnikov, primenyaemykh v zelenom stroitel'stve* [Determinant damage trees and shrubs used in green building]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1989. 208 p.
6. Gusev V.I. *Opredelitel' povrezhdeniy plodovykh derev'ev i kustarnikov* [Determinant of damage fruit trees and bushes]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1990. 239 p.
7. Zhuravlev I.I., Selivanova T.N., Cheremisov N.A. *Opredelitel' gribnykh bolezney derev'ev i kustarnikov: Spravochnik* [Determinant of fungal diseases of trees and shrubs: Directory]. Moscow: Forest industry Publ., 1979. 247 p.
8. Sytin P.V. *Istoriya moskovskikh ulits* [History of Moscow streets]. P.V. Sytin. Moscow: Eksmo Publ., 2008. 512 p.
9. Fedosyuk Yu.A. *Moskva v kol'tse Sadovykh* [Moscow in ring Garden streets]. Moscow: AST Publ., 2009. 446 p.
10. Frolova, V.A. *Issledovanie struktury nasazhdeniy na obshchegorodskikh ob'ektakh ozeleneniya (na primere bul'varov g. Moskvy). Avtoref. diss. na soisk uch. st k.s.-kh. n.* [Investigation of the structure stands on a citywide landscaping objects (for example, the boulevards of Moscow). Author. diss. Account. Art. to Agricultural Sciences]. Moscow: MSFU Publ., 2001. 23 p.

ПОИСК ИНДИКАТОРОВ-ПРЕДВЕСТНИКОВ НАРУШЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛЕСНЫХ, АГРОЛЕСНЫХ И УРБОЭКОСИСТЕМАХ

В.Ф. КРАПИВИН, проф., ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, д-р физ.-мат. наук,

В.С. ШАЛАЕВ, проф., директор ИСИЛ МГУЛ, д-р техн. наук,

В.Д. БУРКОВ, проф. МГУЛ, д-р техн. наук,

В.Ю. СОЛДАТОВ, ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, канд. физ.-мат. наук

shalaev@mgul.ac.ru, burkov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ
ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, Москва, ул. Моховая 11, кор. 7

Проанализирована задача выбора количественного показателя состояния лесной, агролесной или урбоэкосистемы. Предложен алгоритм расчета индикатора биологической сложности как показателя состояния таких экосистем. Алгоритм основан на концептуальной модели взаимодействия растительного сообщества с окружающей его средой. Модель формализует процесс энергетического обмена в этом взаимодействии, вводя понятие (V, W)-обмена, где V – расходуемая энергия, W – потребляемые ресурсы. Такая формализация взаимодействия двух сред позволяет записать уравнения (V, W)-обмена, решение которых обеспечивает нахождение устойчивого тренда в эволюции экосистемы. В качестве примера рассмотрен расчет индикатора биологической сложности глобальной системы почвенно-растительных формаций с пространственным распределением 30 типов по шкале 4°×5°. В этом случае показано, что антропогенное воздействие на лесные экосистемы может значительно изменить биологическую сложность биосферы. Например, если площадь лесов к 2050 г. сократится или увеличится на 10 % по сравнению с современным уровнем, то биологическая сложность биосферы уменьшится на 12–15 % или возрастет на 18–21 % соответственно. Предложенный алгоритм расчета индикатора биологической сложности обеспечивает нахождение сбалансированного сочетания парковых и застроенных площадей в урбоэкосистеме.

Ключевые слова: индикатор, мониторинг, лесной пожар, алгоритм, устойчивость, информация, биосложность, биосфера, сценарий.

Для оценки состояния растительной экосистемы и принятия решения о выборе способа предупреждения негативных последствий антропогенного вмешательства в ее динамику необходимо применять критерии и индикаторы, которые могут иметь качественный или количественный вид [1–10]. Этот вопрос начал обсуждаться еще на конференции РИО-92. Prabhu и др. [8] отметили, что в различных регионах мира понятия критериев и индикаторов имеют различное толкование. Например, некоторые критерии и индикаторы сфокусированы на национальных интересах взаимодействия населения с растительными сообществами. Тем не менее, несмотря на существующие различия в подборе критериев и индикаторов, они являются средством для оценки тренда в развитии лесных и агролесных экосистем. Например, Международная организация тропической древесины (ИТТО – International Tropical Timber Organization) в 1992 г. ввела семь критериев, на основе которых Центр по исследованию международных

проблем лесной промышленности (CIFOR – Center for the International Forestry Research) создал экспертную систему CIMAT (Criteria and Indicators Modification and Adaptation Tool), которая в зависимости от локальных условий генерирует иерархию принципов, критериев, индикаторов и других показателей состояния лесной экосистемы.

Центр CIFOR был создан Консультативной группой международных сельскохозяйственных исследований (CGIAR – Consultative Group on International Agricultural Research), которая занимается изучением глобальных социальных, природных и экономических последствий от деградации и сведения лесов. Для этого разработаны различные принципы, критерии, индикаторы и верификаторы, которые могут помогать принятию правильных решений при реализации антропогенных сценариев на покрытой лесом территории. Под принципами понимается совокупность законов, которые фиксируют фундаментальные истины и выступают основой

для формирования системы взглядов на роль лесных экосистем в жизни системы природа–общество. Принципы также нацеливают на расширение и углубление знаний в этой области и создание более конкретных уровней оценки информации о лесной экосистеме. Следующим уровнем является критерий как некоторая норма, принцип или стандарт, на основе которого осуществляется выбор индикаторов для выражения атрибутов устойчивости лесной экосистемы. И, наконец, вводится понятие верификатора как уточнителя специфики и смысла индикатора. Верификатор отражает специфические детали индикатора и уточняет смысл и его предметную ориентацию [4, 5].

Как следует из сказанного выше, не существует единой унифицированной системы оценки состояния лесных экосистем. В разных странах существуют свои системы сертификации лесов, которые устанавливают национальные нормативы для выбора критериев оценки состояния лесных экосистем. В целом можно выделить четыре группы стран, которые в этом вопросе нашли согласованные решения. Это страны центральной и западной Африки, страны южнее Сахары, азиатские страны и страны в зоне р. Амазонки.

Очевидно, что сложно для всех регионов установить единые критерии и индикаторы состояния лесов. Тем не менее, критерий деградации леса для всех регионов – это изменение структуры леса и его площади. Здесь важными являются сомкнутость крон деревьев и число репродуктивных единиц лесной экосистемы на единице площади. Такие данные поставляются современными спутниковыми мониторинговыми системами. Особое место занимают тропические леса, где сезонная изменчивость продуктивности регулирует углеродный баланс атмосферы. Оценка этого баланса в настоящее время является одной из важных задач климатологии.

Для оценки состояния лесной, агролесной или урбоэкосистемы желательно иметь простой и легко рассчитываемый показатель. В качестве такого показателя можно предложить индикатор биологической сложности, который определяет соотношение живой

и неживой субстанций на рассматриваемой территории и определяет живучесть экосистемы, а также отвечает на вопрос, является ли она живой.

Переход между крайними состояниями лесная или урбоэкосистема осуществляет за счет изменения своей сложности, индикатор которой и может служить предвестником наступления критического состояния. В частности, такие переходы могут реализовываться под воздействием изменений климата. Успех поиска таких индикаторов зависит от того, насколько хорошо мы знаем законы живого мира и его эволюции под влиянием процессов реализации антропогенных проектов.

Проблема взаимодействия различных элементов и процессов в системе природа–общество в последние годы привлекает внимание многих исследователей. Попытки оценить и предсказать динамику этого взаимодействия предпринимали специалисты в области различных научных направлений. Одной из таких попыток является, например, объявленная в США Национальным научным фондом Программа «Bioscomplexity», в рамках которой изучаются взаимосвязи между динамикой сложности биологических, физических и социальных систем и тенденциями в изменениях современной окружающей среды. В рамках этой программы сложность системы, так или иначе взаимодействующей с окружающей средой, связывается с явлениями, возникающими при контакте живой системы с окружающей ее средой в условиях Земного шара.

Особое место занимают урбоэкосистемы. Функционирование урбоэкосистемы затрагивает все компоненты природной среды, включая атмосферу, гидросферу, растительный и животный мир, почву, рельеф и климат. Степень устойчивости урбоэкосистемы значительно ниже аналогичного показателя для прилегающих природных территорий. Это является следствием того, что на территории урбоэкосистемы природный ландшафт занимает незначительную часть и при этом природные составляющие резко нарушены. Поэтому взаимодействие между компонентами урбоэкосистемы носят в основном отри-

цательный характер в силу высокой их уязвимости и неустойчивости. Можно указать четыре важных качественных аспекта урбоэкосистемы:

- экстремальность антропогенных нагрузок;
- наиболее активно эволюционирующий элемент биосферы;
- несоответствие характерных времен и масштабов эволюции природной и антропогенной подсистем;
- сложная система положительных и отрицательных обратных связей между подсистемами.

Динамика урбоэкосистемы неизбежно сопровождается нарастанием возмущений, флуктуаций и снижением потенциальных возможностей природной среды, что приводит к доминированию неблагоприятных экологических факторов и нарастанию преобладающих необратимых экосистемных процессов. Своевременное выявление таких факторов и разработка нормативных экологических регуляторов антропогенного воздействия может обеспечить ГИМС технология [1]. Ведь сохранение благоприятных условий проживания населения в крупных городах невозможно без системного анализа буферной емкости природных подсистем, составляющих как непосредственно урбоэкосистему, так и прилегающие территории. Здесь, безусловно, необходим поиск условий естественной самоорганизации и оценка воспроизводимости природных составляющих урбоэкосистемы.

Одним из возможных индикаторов состояния окружающей среды может выступать биоразнообразие на данной территории. Этот показатель формируется под влиянием естественных и антропогенных процессов. Но, к сожалению, он не может однозначно охарактеризовать все возможные ситуации, когда важными оказываются структура популяции или изменение биогенного фона, миграция и трофическая динамика и т.д. Поэтому введение понятия биологическая сложность (биосложность) в значительной мере облегчает поиск индикаторов, позволяющих комплексно характеризовать состояние окружающей среды в ее динамике [2].

Биосложность является производной биологических, физических, химических, социальных и поведенческих взаимодействий подсистем окружающей среды, включая животных и человека. По существу, понятие биосложности в окружающем нас мире тесно связано с закономерностями функционирования биосферы как единства образующих ее экосистем и природно-хозяйственных систем различного масштаба, от локального до глобального. Поэтому для определения биосложности и ее оценки необходимо совместное формализованное описание биологических, геохимических, геофизических и антропогенных факторов и процессов, происходящих на данном уровне пространственно-временной иерархии шкал и масштабов.

Проявление биосложности является характерным признаком всех систем окружающей среды, связанных с жизнью. Элементы этого проявления изучаются в рамках теории устойчивости и живучести экосистем. Здесь следует отметить, что формирование биосложности включает показатели степени взаимной модификации взаимодействующих систем, а это значит, что изучение биосложности необходимо вести с учетом как пространственных, так и биологических уровней организации. Трудность этой задачи определяется сложностью поведения объекта исследования, особенно, если учитывать человеческий фактор, из-за которого количество стрессовых ситуаций в окружающей среде постоянно возрастает.

Человечество накопило много знаний о системах окружающей среды. Использование этих знаний для изучения биосложности возможно в рамках синтеза глобальной модели, отражающей закономерности взаимодействия элементов окружающей среды и позволяющей осуществлять оценки «эффективности» реализации сценариев развития человеческого общества, опираясь на фактические данные наземных и спутниковых измерений. Именно эта проблема лежит в основе всех вопросов, поставленных упомянутой Программой «Biocomplexity».

Исследования процессов взаимодействия человека и природы направлены, как правило, на понимание и оценку последствия это-

го взаимодействия. Достоверность и точность таких оценок зависит от критериев, которые берутся за основу при выводах, экспертизах и рекомендациях. В настоящее время нет согласованной методики выбора таких критериев, так как отсутствует единый научно обоснованный подход к экологическому нормированию хозяйственных воздействий на природную среду. Ведь от выбора подобных критериев зависит точность экологической экспертизы действующих и планируемых производств, а также репрезентативность данных глобально-геоинформационного мониторинга.

Происходящие в окружающей среде процессы можно представить как совокупность взаимодействий между ее подсистемами. Поскольку человек является одним из ее элементов, однозначного расчленения окружающей среды, например, на биосферу и общество, выполнить невозможно: все на Земле скоррелировано и взаимосвязано. Вопрос состоит в том, чтобы найти такие механизмы описания подобных корреляций и взаимозависимостей, которые бы достоверно отображали динамику окружающей среды и давали ответы на вопросы, сформулированные в упоминавшейся выше программе «Bioscomplexity».

Биосложность окружающей среды в определенной степени является индикатором взаимосвязанности ее систем. В этой связи, можно ввести шкалу Γ биосложности, изменяющуюся от условий, когда в окружающей среде все взаимодействия прекращены (оборваны), до уровня, когда они соответствуют естественному процессу эволюции. Мы получаем, таким образом, интегральный показатель состояния окружающей среды в целом с учетом биологической способности, биологического разнообразия и выживаемости. Подобный показатель характеризует все виды взаимодействия компонентов окружающей среды. Так, например, при биологическом взаимодействии, связанном с отношениями типа «хищник–жертва» или «конкуренция за энергетический ресурс», существует некоторый минимальный уровень наличия пищи (ресурса), когда она становится практически недоступной и взаимодействие консумента с продуцентом прекращается. Химический и физический процессы взаимо-

действия элементов окружающей среды также зависят от наборов определенных критических параметров. Например, функционирование дерева зависит от многих факторов и его связь с внешней природной окружающей средой включает такие потоки углерода, как дыхание корней, стволов и листвы, перемещение из наземной части дерева в корневую часть, чистый прирост наземной биомассы, опад и отмершая биомасса, отмирание корней и др. [1].

Все сказанное подчеркивает, что биосложность относится к категориям, которые трудно измерить и выразить количественно. Однако попытаемся перейти от чисто словесных рассуждений к формализованным количественным определениям. Для перехода к градациям шкалы Γ с числовым масштабом постулируем, что между двумя значениями индикатора шкалы существуют отношения типа $\Gamma_1 < \Gamma_2$, $\Gamma_1 > \Gamma_2$ или $\Gamma_1 \equiv \Gamma_2$. Другими словами, всегда имеет место такое значение этой шкалы ρ , которое определяет уровень биосложности $\Gamma \rightarrow \rho = f(\Gamma)$, где f – некоторое преобразование понятия биосложности в число.

Попытаемся найти удовлетворительную модель, которая отобразит качественный портрет биосложности в область понятий и признаков, подчиняющихся формализованному описанию и преобразованию. С этой целью выделим в изучаемой системе m элементов – подсистем низшего уровня, взаимодействие между которыми определим бинарной матричной функцией $A = ||a_{ij}||$, где $a_{ij} = 0$, если элементы i и j не взаимодействуют; $a_{ij} \neq 0$, если элементы i и j находятся во взаимодействии. В общем случае $a_{ij} \neq a_{ji}$. Это самый простейший вариант определения биосложности. В конкретном случае следует для каждого взаимодействия количественно определять его уровень a_{ij} . Схематически модель биологической сложности представлена на рисунке.

В общем случае показатель a_{ij} можно интерпретировать как уровень взаимодействия элементов i и j . Тогда любая точка $\eta \in \Gamma$ определяется как сумма

$$\eta = \sum_{i=1}^m k_i \sum_{j=1}^n \beta_j a_{ij},$$

где весовые коэффициенты k_i ($i = 1, \dots, m$) и β_j ($j = 1, \dots, n$) определяют уровень значимости

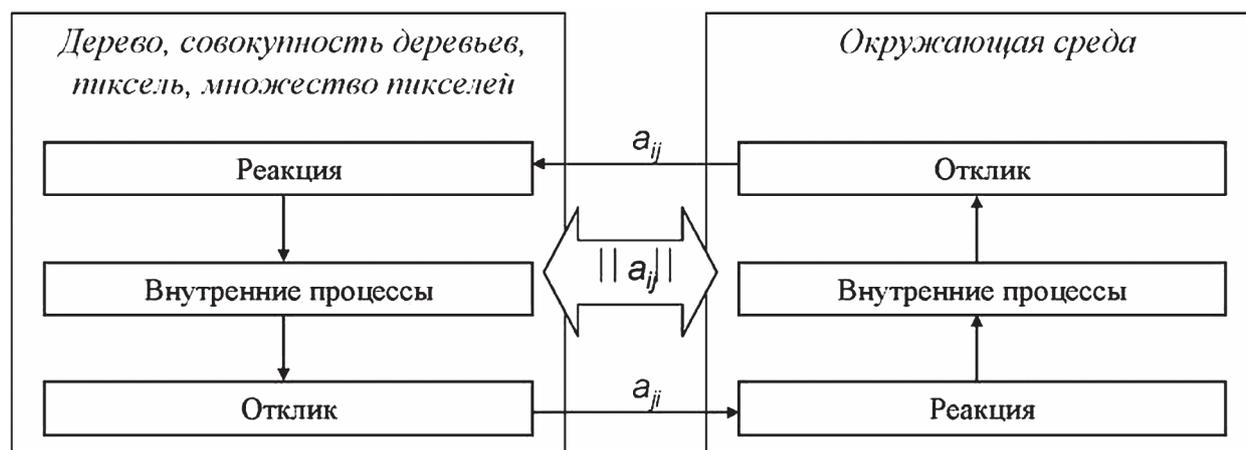


Рисунок. Концептуальная модель взаимодействия отдельного дерева или растительного сообщества с его окружением

Fig. Conceptual model of the interaction of a single tree or plant community with its environment

соответствующих элементов взаимодействующих сред. Характер этих коэффициентов зависит от природы элементов. Поэтому выделим два основных типа элементов: живые (в том числе растительность) и неживые элементы. Живые элементы характеризуются плотностью, исчисляемой в количестве особей на (в) единице площади (объема) или концентрацией биомассы. Растительность характеризуется типом и долей занимаемой площади. Неживые элементы разделяются по уровню их концентраций, соотносенных к площади или объему пространства.

Ясно, что $\eta = \eta(\varphi, \lambda, t)$, где φ и λ – географическая широта и долгота соответственно, t – текущее время. Для некоторой территории Ω индикатор биосложности определим как среднее значение

$$\eta_{\Omega}(t) = (1/\sigma) \int_{(\varphi, \lambda) \in \Omega} \eta(\varphi, \lambda, t) d\varphi d\lambda,$$

где σ – площадь территории Ω .

Таким образом, индикатор $\eta_{\Omega}(t)$ выступает как интегральный показатель сложности системы, отражая индивидуальность ее структуры и поведения в каждый момент времени t в пространстве Ω . В соответствии с законами естественной эволюции уменьшение (увеличение) величины $\eta_{\Omega}(t)$ будет отслеживать возрастание (сокращение) биоразнообразия и способности природно-антропогенных систем к выживанию. Так как уменьшение биоразнообразия нарушает замкнутость биогеохимических круговоротов и

приводит к увеличению нагрузки на невозобновимые ресурсы, то бинарная структура матрицы A сдвигается в направлении усиления позиций ресурсоисточающих технологий, и вектор энергетического обмена между природой и обществом смещается в состояние, когда уровень ее выживаемости понижается.

Лесная, агролесная и урбоэкосистема состоят из элементов – подсистем B_i ($i = 1, \dots, m$), взаимодействие между которыми формируется во времени в зависимости от многих факторов. Биосложность складывается из структурной и динамической сложности составляющих систему элементов. Другими словами, биосложность системы формируется в процессе взаимодействия ее частей $\{B_i\}$. С течением времени подсистемы B_i могут изменять свои состояния и, следовательно, будет изменяться топология связей между ними. Эволюционный механизм приспособления подсистем B_i к окружающей их среде позволяет выдвинуть гипотезу о том, что каждая подсистема B_i , независимо от ее типа, обладает структурой B_{iS} , поведением B_{iB} и целью B_{iG} . Таким образом, $B_i = \{B_{iS}, B_{iB}, B_{iG}\}$. Целью B_{iG} подсистемы B_i является ее стремление достигнуть определенных предпочтительных для нее состояний. Целесообразность структуры B_{iS} и целенаправленность поведения B_{iB} подсистемы B_i оценивается эффективностью достижения цели B_{iG} .

Конечно, такая формализация состояния лесной, агролесной или урбоэкосистемы

требует создания достаточно объемной базы данных и проведения исследований по взаимодействию их подсистем. Поскольку взаимодействие подсистем $\{B_i\}$ связано с химическим и энергетическим кругооборотом, то естественно предположить, что каждая подсистема B_i так организует геохимические и геофизические преобразования вещества и энергии, чтобы сохранить устойчивое состояние. Формализованный подход к этому процессу состоит в предположении, что в структуре экосистемы между подсистемами B_i происходят обмены некоторыми количествами V расходуемых ресурсов на некоторые количества W потребляемых ресурсов ((V, W) – обмен). В общем случае $W = W(V, B_i, \{B_k, k \in K\})$, где K – множество номеров подсистем, находящихся в контакте с подсистемой B_i .

Обозначим $B_K = \{B_k, k \in K\}$. Тогда результатом взаимодействия подсистемы B_i с ее окружением B_K являются следующие (V, W) -обмены

$$W_{i,0} = \max_{B_i} \min_{B_K} W_i(V_i, B_i, B_K) = W_i(V_i, B_{i,opt}, B_{K,opt});$$

$$W_{K,0} = \max_{B_K} \min_{B_i} W_K(V_K, B_i, B_K) = W_K(V_K, B_{i,opt}, B_{K,opt}).$$

Отсюда видно, что при определении уровней V_i и V_K имеется некоторое размазывание цели подсистемы B_i . Поскольку в природе действуют факторы лимитирования, то, в данном случае, естественно предположить наличие некоторого порога $V_{i,min}$, при достижении которого энергетический ресурс подсистемы перестает тратиться на добывание внешнего ресурса, т.е. при $V_i \leq V_{i,min}$ подсистема B_i переходит в режим регенерации внутреннего ресурса. Другими словами, при $V_i \leq V_{i,min}$ происходит уменьшение индикатора биосложности $\eta_Q(t)$ за счет обрыва связей подсистемы B_i с другими подсистемами.

В общем случае V_{min} является структурной функцией ступенчатого типа, т.е. переход a_{ij} из состояния $a_{ij} \neq 0$ в состояние $a_{ij} = 0$ не для всех j происходит одновременно. В самом деле, в любой трофической пирамиде отношения хищник–жертва прекращаются при уменьшении концентрации жертвы ниже некоторого критического уровня. В других случаях взаимодействие подсистем $\{B_i\}$ между собой может прекращаться в зависимости от различных сочетаний их параметров.

В качестве примера рассмотрим систему атмосфера–суша–растительность при пространственной дискретизации $4^\circ \times 5^\circ$ и классификации почвенно-растительных формаций в соответствии с [1]. Взаимодействие пикселей $4^\circ \times 5^\circ$ с атмосферой оценивается по уровню (V, W) -обмена парниковыми газами в рамках глобальной модели биосферы [1]. При этом $a_{ii} = |V_i - W_i| / (V_i + W_i)$, $a_{ij} = 0$ ($i \neq j$). Расчеты показывают возможность использовать индикатор биосложности для оценки последствий антропогенного воздействия на лесные экосистемы. Например, сокращение или увеличение площади лесов однозначно приводит к уменьшению или возрастанию биологической сложности. В случае если площадь лесов к 2050 г. сократится или увеличится на 10 % по сравнению с современным уровнем, то биологическая сложность биосферы уменьшится на 12–15 % или возрастет на 18–21 % соответственно. Такие расчеты позволяют найти сбалансированное соотношение между природными и антропогенными элементами на территории города.

В той или иной степени состояние лесной и урбоэкосистем является функцией биологической сложности территории, которая за длительный промежуток времени определяется природными и антропогенными процессами на сопредельных территориях, а в долговременной перспективе и глобальными процессами. Одним из важных обстоятельств формирования биологической сложности территории является защита растительных сообществ от возникновения инфекционных заболеваний. Изучение процессов заражения различных уровней лесной экосистемы показывает, что нарушение устойчивого равновесия за счет внедрения дополнительных видов на любом уровне может существенно изменить биоразнообразие других уровней и, в конечном счете, привести к необратимому изменению уровня биологической сложности. При этом применение, например, пестицидов может повысить экологические риски для населения территории и, особенно, для клещей, грызунов, других животных.

Очевидно, что лесная и урбоэкосистемы являются многофакторными системами

ми, включающими чисто природные и социальные аспекты. Взаимодействие населения с природной компонентой в обоих случаях связано с процессом обезлесивания и замены элементов экосистем. В случае лесной экосистемы проблема заключается в управлении процессом заготовки древесины, который включает факторы замены лесной экосистемы другими типами экосистем, в основном имеющих сельскохозяйственное назначение. В этой связи, Могено и др. [6] применили многофакторную модель для решения возникающих здесь задач, рассмотрев набор сценариев замены лесной экосистемы сельскохозяйственными экосистемами и вторичным лесом, и на примере ряда регионов Венесуэлы показали, что существуют решения, обеспечивающие устойчивое развитие всех процессов под глобальным административным контролем.

Pukkala и др. [9] изучили проблему устойчивого управления биоразнообразием лесной экосистемы путем регулирования пространственной однородности леса за счет вырубki высоких деревьев. На примере разновозрастной норвежской ели, растущей на юге Финляндии, показано, что существует экономически оптимальное управление прореживанием такого леса, приводящее к восстановлению пространственной однородности экосистемы с ориентацией на использование этого леса в качестве зоны отдыха и снижения уровня пожарной опасности.

Одной из серьезных угроз устойчивому развитию территории является лесной пожар. Риски возникновения лесных пожаров зависят от состояния почвенно-растительной формации на залесенной территории. Их расчет на основе регулярного мониторинга позволяет обнаруживать очаги возможного загорания в лесу с упреждением во времени и тем самым давать время соответствующим службам провести подготовку к своевременному уничтожению очага загорания. Схема достаточно проста. В едином центре мониторинга леса в режиме реального времени регистрируются данные о температуре атмосферы, влажности лесной подстилки и полога леса, а также другие сопутствующие данные о скорости и направлении вет-

ра, давлении и т.д. На основе этих данных по заранее выбранным алгоритмам рассчитываются индикаторы Ξ_m , на основе которых с помощью технологии ГИМС оценивается риск загорания леса. В случае превышения определенного уровня риска на конкретной территории система мониторинга начинает собирать статистику таких превышений и на ее основе принимает окончательное решение с выдачей сигнала тревоги службам тушения пожаров. Поскольку измеряемые характеристики x_i лесной экосистемы содержат шумы ξ_i , то для принятия решений применяются статистические методы и, в частности, кластерный анализ.

Во Флориде Агентство по обслуживанию леса создало систему оценки риска пожара FRAS (Fire Risk Assessment System), которая через Интернет предоставляет оперативную информацию о риске возникновения лесного пожара в заданном районе-пикселе. Основной принцип диагностики покрытой лесом территории базируется на индексе чувствительности WFSI (Wildland Fire Susceptibility Index).

Norman и др. [7] рассмотрели ряд концептуальных моделей для оценки риска возникновения лесного пожара в зависимости от информационной неопределенности и характера горючих материалов и их состояния с оценкой риска загрязнения атмосферы. Описана процедура оценки риска CRAFT (Comparative Risk Assessment Framework and Tools), позволяющая идентифицировать уровень опасности лесного пожара на территории города.

Brillinger и др. [3] предложили модель риска возникновения лесного пожара как функцию ключевых характеристик локальной территории и времени с особым акцентом на социальные аспекты проблемы. Модель конкретизирована для территории штата Орегон (США). Аналогично технологии ГИМС вся территория делится на районы-пиксели и на основе анализа пространственно-временного потока данных от систем мониторинга оценивается вероятность выхода точечного процесса за пределы определенной зоны, определяемой в процессе обучения модели на основе

случившихся событий. Социальные аспекты риска возникновения лесного пожара также проанализированы в работе [10]. Как правило, решения об оценке риска возникновения пожара на локальной территории носят частный характер и не дают возможности принимать решение с учетом состояния более обширных территорий. Технология ГИМС обеспечивает универсальность процедуры принятия решения об уровне пожарной опасности независимо от размеров контролируемой территории и ее географического положения. Тем не менее, дальнейшее развитие этой технологии зависит от уровня изученности взаимной зависимости социальных и природных процессов, обусловленной их интерактивностью. Поэтому регулирование социальных процессов неизбежно сказывается на функционировании природных систем, а это неизбежно приводит к необходимости развития правовых механизмов перехода к устойчивому развитию.

До сих пор остается в значительной мере загадкой, почему некоторые леса подверглись фрагментации, деградации и потере видового разнообразия, тогда как другие леса остаются в хорошем состоянии и даже расширяются. В конечном счете, динамика и структура лесного покрова определяется сложной и интерактивной совокупностью таких факторов, как биогеофизические процессы, рост плотности населения, рыночные отношения, различные возмущающие воздействия (включая лесные пожары) и институциональные микроструктуры.

Лесные пожары воздействуют на формирование глобального круговорота углерода. Действительно, глобальные масштабы лесных пожаров за последние годы стали эквивалентны по площади территории Австралии. В атмосферу выбрасывается почти 40 % глобальных выбросов CO₂. При этом 90 % лесных пожаров имеет антропогенное происхождение. Это означает, что естественный баланс природных факторов сильно нарушается, и законы естественной эволюции подвергаются мощному воздействию. Возникновение лесного пожара по антропогенным причинам невозможно предсказать с помощью любой современной технологии.

Поэтому совершенствование, например, технологии ГИМС [1] необходимо осуществлять путем развития методик учета роли социальной составляющей.

Данная работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 14-01-31117 мол).

Библиографический список/References

1. Крапивин, В.Ф. Глобальные изменения окружающей среды: экоинформатика / В.Ф. Крапивин, К.Я. Кондратьев. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургского ун-та, 2002. – 724 с.
1. Krapivin V.F., Kondrat'ev K.Ya. *Global'nye izmeneniya okruzhayushchey sredy: ekoinformatika* [Global environmental change: ekoinformatika]. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgski un-t, 2002. 724 p.
2. Bertini G., Amoriello T., Fabbio G., Piovosi M. Research, monitoring in the study of climate change and air pollution impacts on forest ecosystems. *Biogeosciences and Forestry*, 2011. V. 4. pp. 262-267.
3. Brillinger D.R., Preisler H.K., Benoit J.W. Risk assessment: a forest fire example. In: D.R. Goldstein (Ed.) *Statistics and science: a Festschrift for Terry Speed*. Beachwood, OH: Institute of Mathematical Statistics, 2003. pp. 177-196.
4. Edington M.M., Howell C.J. Criteria and indicators of sustainable forest management: using global thinking to act locally. 2006. -http://ga.yourasp.com.au/vegfuture/pages/images/Colloquium%20B4_Howell.pdf.
5. Franc A., Laroussinie O., Karjalainen T. Proceedings of the International Conference «Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management at the Forest Management Unit Level», 21-25 March, 2000, Nancy, France. Toricaty, Finland: European Forest Institute, 2001. № 38. pp. 1-280.
6. Moreno N., Quintero R., Ablan M., Barros R., Dóvila J., Ramirez H., Tonella G., Acevedo M. Biocomplexity of deforestation in the Caparo tropical reserve in Venezuela: An integrated multi-agent and cellular automata model. *Environmental Modelling & Software*, 1997. V. 22. № 5. pp. 664-673.
7. Norman S.P., Lee D.C., Jacobson S., Damiani C. Assessing risk to multiple resources affected by wildfire and forest management using an integrated probabilistic framework. In: J.M. Pye, H.M. Rauscher, Y. Sands, D.C. Lee, J.S. Beatty (Eds.) *Advances in threat assessment and their application to forest and rangeland management*. Portland OR: Tech. Rep. PNW-GTR-802, US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest and Southern Research Stations, 2010. pp. 361-370.
8. Prabhu R., Colfer C., Shepherd G. Criteria and indicators for sustainable forest management: new findings from CIFOR's forest management unit level research. London, U.K.: Rural Development Forestry Network, RDFN Paper 23a, 1998. pp. 1-20.
9. Pukkala T., Lhdde E., Laiho O. Variable-density thinning in uneven-aged forest management – a case for Norway spruce in Finland. *Forestry*, 2011. V. 84. № 5. pp. 557-565.
10. Sutton L. Common denominators of human behavior on tragedy fires. *Fire Management Today*, 2011. V. 71. № 1. pp. 13-18.

SEARCH OF THE INDICATOR-PRECURSORS FOR THE DISTURBANCE OF NATURAL PROCESSES IN THE FOREST, AGROFOREST AND URBOECOSYSTEMS

Krapivin V.F., Prof. Institute of Radio Engineering and Electronics. VA Kotelnikov RAS, Dr. Sci. (Tech.); **Shalaev V.S.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Burkov V.D.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Soldatov V.Yu.**, IRE RAS, Ph.D (Tech.)

shalaev@mgul.ac.ru, burkov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischy, Moscow reg., Russia
Institute of Radioengineering and Electronics (IRE) of RAS, Mokhovaya 11-7, Moscow, 125009, Russia

The problem of the numerical index choice for the state of forest, agroforest or urban ecosystem is analyzed. An algorithm for the biocomplexity indicator calculation as the state index of such ecosystems is proposed. The algorithm is based on the conceptual model of the interaction between the vegetation community and the environment. The model formalizes the energetic exchange process in this interaction by means of introduction of the (V, W)-exchange equation with V as the expendable energy, W as the consumable resources. Such formalization of the two environments' interaction allows the (V, W)-exchange equations, the solution of which provides the stable trend in the ecosystem evolution. The calculation of the biocomplexity indicator is considered as an example for the global system of soil-plant formations with spatial distribution of the 30 types within the 4°×5° geographic scale. In this case, the anthropogenic impact on the forest ecosystems can significantly change the biosphere biological complexity. For example, if the forest area is decreased or increased by 10 percents to 2050, the biosphere biocomplexity will reduce by 12–15 percents or grow by 18–21 percents respectively. The algorithm proposed for the biocomplexity indicator assessment allows reaching the balanced combination between municipal parks and buildings in the urban ecosystem.

Keywords: indicator, monitoring, forest fire, algorithm, stability, information, biocomplexity, biosphere, scenario.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ЦИКЛОВ УГЛЕРОДА И МЕТАНА

В.Ф. КРАПИВИН, проф., ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, д-р физ.-мат. наук,
В.С. ШАЛАЕВ, проф., директор ИСИЛ МГУЛ, д-р техн. наук,
В.Д. БУРКОВ, проф. МГУЛ, д-р техн. наук

shalaev@mgul.ac.ru, burkov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ
ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, Москва, ул. Моховая 11, кор. 7

Проблема парникового эффекта по причине антропогенного воздействия на глобальный круговорот парниковых газов остается в стадии обсуждения в научной литературе. В данной работе предложена математическая модель совместного биогеохимического круговорота углерода и метана при рассмотрении пространственной структуры распределения их источников и стоков. Все резервуары и потоки углерода и метана, учитываемые в модели, разделены на категории с различными временными масштабами. Пространственный масштаб для источников и стоков углерода и метана на суше выбран 4° по широте и 5° по долготе. Мировой океан параметризуется точечной моделью с выделением четырех уровней по глубине. Взаимодействие между атмосферой и резервуарами углерода на суше и в океане включает процессы фотосинтеза, разложения, дыхания и горения, а также процессы дегазации земной коры. Глобальный круговорот метана в системе атмосфера–гидросфера–суша описывается схемой, отражающей основные его потоки, радиационный потенциал которых является функцией времени. Структура модели совместного круговорота углерода и метана включает 12 блоков, реализующих базовые процедуры расчета их потоков и согласования разнородной информации. Приведены результаты имитационных экспериментов, рассматривающих сценарии изменения площади лесов и демонстрирующих их значительную роль в изменении климата.

Ключевые слова: климат, двуокись углерода, метан, модель, параметризация, поток, лес, парниковый эффект.

Глобальные циклы углерода и метана являются объектом многочисленных международных и национальных научных программ, нацеленных на параметризацию и понимание обратных связей, существующих в системе биосфера–климат–общество (СБКО). Международный проект GCP (Global Carbon Project) является одним из них. Этот проект нацелен на реализацию различных процедур для аккумуляции знаний о парниковых газах и их ис-

точниках и стоках. Согласно существующим данным, основными источниками CO₂ являются цементная промышленность, сжигание ископаемых топлив и использование земельных ресурсов. В 2013г. скорость нарастания концентрации парниковых газов в атмосфере составила 2,1 % при стоках в океан 28 % и на суше 23 %. При этом замкнутость, например, круговорота углерода по стокам и источникам составила 80–85 %. Это означает, что неопре-

деленность сбалансированности глобального цикла углерода составляет 15–20 % . Аналогичная ситуация касается и других парниковых газов.

Многие авторы пытаются создавать модели для описания глобальных циклов углерода и метана [1–10]. Эти попытки стимулируются растущим интересом к проблеме глобального изменения климата и спорами о причинах этих изменений. Дискуссии на эту тему детально проанализированы в работе [6] в связи с противоречиями по проблеме глобальной экодинамики. В связи с этим Cracknell *et al.* [3] детально классифицировали угрозы устойчивости окружающей среды, включая жизнь человека на Земле. Отмечено, что только одна причина изменения климата из двенадцати имеет антропогенный характер. Другие причины имеют природный характер и только косвенно связаны с деятельностью человека.

Процесс моделирования циклов углерода и метана характеризуется серией моделей, которые имеют иерархию пространственных шкал и элементов окружающей среды. Многообразие таких моделей объясняется сложностью циклов углерода и метана, а также недостатком данных и знаний об их источниках и стоках. Вообще надежность оценки роли парниковых газов в изменении климата зависит от детальности рассмотрения глобальных биогеохимических циклов многих химических веществ, которые так или иначе взаимодействуют с парниковыми газами. Отсюда и следует сложность глобальной модели СКБО, которая бы могла оценить последствия от реализации всего многообразия антропогенных сценариев изменения окружающей среды.

Krapivin, Varotsos [6] показали, что существует некоторая оптимальная структура глобальной модели СКБО, когда имеющиеся базы данных позволяют реализовать имитационные эксперименты с оценкой глобальной экодинамики. Degermendzhi [4] развил альтернативный подход к моделированию системы биосфера–климат в условиях некомплектности глобальных баз данных. Предложенный метод основан на так называемых маломасштабных

моделях, когда вся биосфера делится на отдельные компартменты. Такой подход экономно использует имеющиеся базы данных, предъявляя к ним минимальные требования.

Однако проблема парникового эффекта за счет CO_2 и CH_4 остается в состоянии неопределенности. Эта статья развивает комбинированную модель совместного биогеохимического цикла углерода и метана, принимая к рассмотрению пространственное распределение почвенно-растительных формаций (ПРФ) и океанических экосистем. Концептуальная диаграмма глобального цикла углерода включает множество природных и антропогенных процессов, которые определяют его динамику и имеют различные временные масштабы от десятков до сотен и тысяч лет. Это обстоятельство ставит задачу изучения характерных времен полного перемешивания атмосферы. Хорошо известно, что концентрация CO_2 в атмосфере значительно изменяется в течение года. Различие между максимальными и минимальными оценками концентрации CO_2 варьирует от 10 млн^{-1} на Южном полюсе до 15 млн^{-1} на Северном полюсе. Потоки углерода формируются в результате многих природных и антропогенных процессов, указанных в табл. 1. Блок-схема этих процессов указана на рис. 1.

Как следует из табл. 1, все резервуары и потоки углерода делятся на категории, различающиеся по временным масштабам. Модель биогеохимического цикла углерода должна это отражать и описывать его потоки между резервуарами. Очевидно, что существующие базы данных и знаний не могут поставить детальную входную информацию в эту модель о роли каждого дерева, животного, микроба, листа, озера, реки, морской акватории, ландшафта и т.д. Поэтому построение глобальной модели цикла углерода ведется с постоянным усложнением и детализацией [5]. Рис. 1 определяет некоторый достигнутый на этом пути уровень сложности биогеохимического цикла углерода и дает возможность описать его на ограниченном уровне пространственной и предметной детализации, фокусируя внимание на процессах, которые важны на региональном и глобальном уровне. К сожалению, ряд потоков углерода имеют очень приближенные

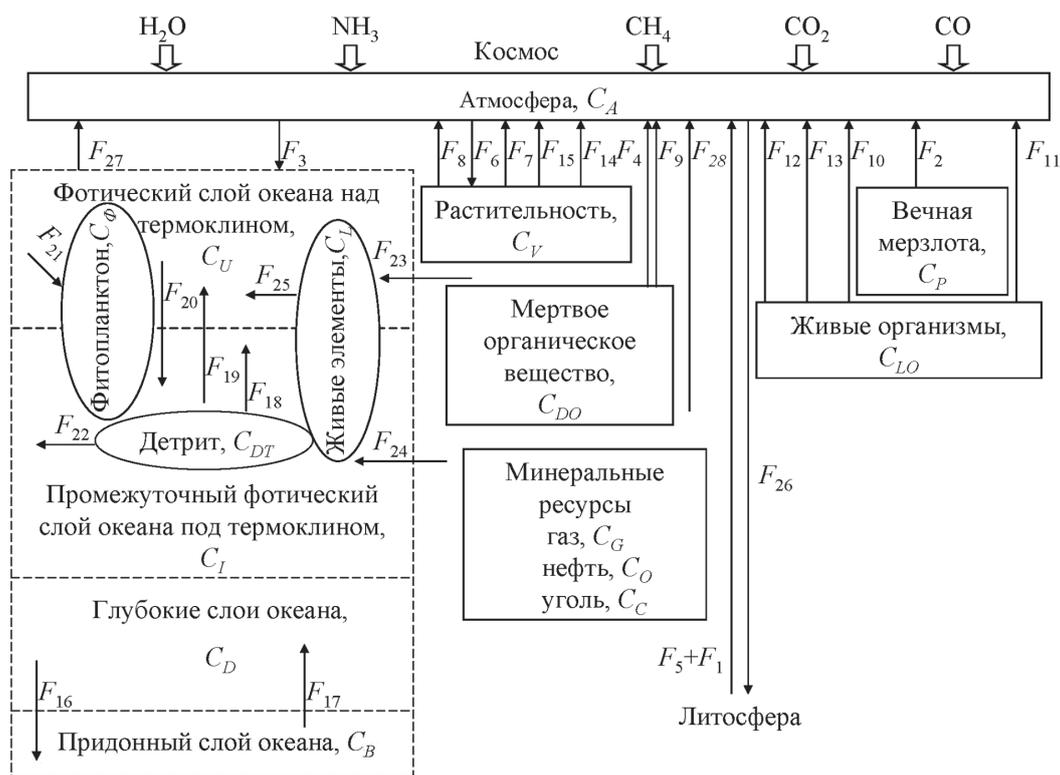


Рис. 1. Блок-схема глобального цикла углерода в системе атмосфера–океан–суша. Резервуары и потоки CO₂ перечислены в табл. 1

Fig. 1. Block diagram of the global carbon cycle in the atmosphere–ocean–land. Tanks and CO₂ fluxes are listed in Table. 1

оценки, включая, например, потоки F_3 и F_{26} . В соответствии с этим для модели выбран пространственный масштаб $4^\circ \times 5^\circ$, для которого имеется необходимая информация.

Пространственная экология предлагает различные фрагментации (ПРФ) и океанических акваторий, но в рамках схемы рис. 1 пока невозможно найти необходимых данных. В региональном масштабе, например, географические базы данных Европы и Канады имеют масштаб 1:1000000. Аналогичные базы данных многих стран создаются с ориентацией на экономические аспекты сельского хозяйства и лесной промышленности. База данных ФАО практически покрывает всю сушу в рамках масштаба 1:5000000. К сожалению, эти базы данных из-за их узкой предметной ориентации не позволяют в предлагаемой модели перейти к более детальной пространственной классификации элементов суши и гидросферы. Поэтому здесь, согласно [2, 5, 6], для наземных экосистем принимается классификация на 30 типов ПРФ, а мировой океан описывается моделью Тарко [8].

Как видно из рис.1, роль Мирового океана в глобальном цикле углерода параметризуется через процессы обмена на границе атмосфера–океан и перемешивания между различными слоями воды с участием соответствующих экосистем [6].

Потоки углерода, представленные на рис. 1 и в табл. 1, используются для балансовых уравнений

$$\frac{\partial C_{As}(\varphi, \lambda, t)}{\partial t} + V_{\varphi s} \frac{\partial C_{As}(\varphi, \lambda, t)}{\partial \varphi} + V_{\lambda s} \frac{\partial C_{As}(\varphi, \lambda, t)}{\partial \lambda} = \sum_{i \in I_s} F_i - \sum_{j \in J_s} F_j,$$

где C_{As} – резервуар углерода в s -м пикселе пространственной структуры на суше и в океане,

I_s и J_s – источники и стоки углерода соответственно,

φ – широта; λ – долгота; t – время;

$V_s(V_{\varphi s}, V_{\lambda s})$ – поле ветра в s -м пикселе.

Взаимодействие между атмосферой и резервуарами углерода на суше и в океане выражается в потоках углерода, формируемых экологическими, геофизическими и биогеохимическими процессами, включая фотосинтез, дыхание, разложение, горение,

Резервуары и потоки углерода в форме CO₂ в биосфере, учитываемые в схеме рис. 1
Reservoirs and fluxes of carbon in the form of CO₂ in the biosphere recognized in the scheme of Fig. 1

Резервуары и потоки CO ₂		Идентификатор	Средние оценки резервуаров (ГтС) и потоков (ГтС/год)
Атмосфера		C _A	650–750
Океан	Фотический слой выше термоклина	C _U	380–520
	Промежуточный фотический слой (под термоклинном)	C _I	280–610
	Океанические растения (водоросли)	C _Ф	3
	Живые элементы	C _L	1,5
	Детрит	C _{DT}	29
	Глубокие слои океана	C _D	28500–33890
	Придонный слой океана	C _B	5000
Суша	Мертвое органическое вещество (в почве и торфе)	C _S	1500–3000
	Растительность	C _V	550–610
	Вечная мерзлота	C _P	1672
	Живые организмы	C _{LO}	0,5
Ископаемые топлива	Уголь	C _C	4500
	Нефть	C _O	500
	Газ	C _G	5000
Эмиссия за счет сжигания	Растительность	F ₈	6,9
	Ископаемые топлива и производство цемента	F ₂₈	4000
Выветривание горных пород		F ₄	0,04
Извержение вулканов		F ₅	2,7
Поглощение наземной растительностью		F ₆	224,4
Дыхание	Растения	F ₇	50–59,3
	Население	F ₁₀	0,7
	Животные	F ₁₁	4,1
Эмиссия	Разложение гумуса почв	F ₉	139,5
	Корни растений	F ₁₅	56,1
	Таяние вечной мерзлоты	F ₂	190
Жизненные функции	Население	F ₁₂	0,3
	Животные	F ₁₃	3,1
Разложение растительных остатков		F ₁₄	31,5–50
Осаждение в донные отложения		F ₁₆	0,1–0,2
Растворение морских осадков		F ₁₇	0,1
Разложение детрита	Фотический слой	F ₂₂	35
	Глубокие слои океана	F ₁₈	5
Подъем глубоких вод		F ₁₉	45
Сток с поверхностными водами и гравитационное осаждение		F ₂₀	40
Фотосинтез		F ₂₁	69
Подземный сток		F ₂₃	0,5
Поверхностный сток		F ₂₄	0,5–0,6
Дыхание живых организмов в океане		F ₂₅	25
Процессы дегазации		F ₁	21,16
Сток в недра Земли		F ₂₆	1,3
Десорбция		F ₂₇	97,08
Сорбция		F ₃	100,0

извержение вулканов, выветривание горных пород и т.д. Детальное описание этих процессов и их параметризация выполнены в работах [5, 6, 9]. Некоторые из них требуют уточнения.

Пусть $P_k(\varphi, \lambda, t)$ есть продукция фотосинтеза для растительности типа k в пикселе Ξ_{ij} с географическими координатами (φ_i, λ_j) в момент времени t . Функция $P_k(\varphi, \lambda, t)$ зависит от осадков и температуры атмосферы. Тогда

Список блоков модель глобальных циклов углерода и метана (МГЦУМ), схемы которой представлены на рис. 1 и 2

List of model units of the global cycles of carbon and methane, circuits which are shown in Fig. 1 and 2

Блок	Описание блока
СПР	Согласование пространственного распределения пикселей Ξ_{ij} и акваторий Ω_{sk} с доступными базами данных и знаний
УМА	Управление моделями и алгоритмами для параметризации потоков F_i ($i = 1, \dots, 28$) и C_j ($j = 1, \dots, 13$)
РП	Расчет потоков F_i ($i = 1, \dots, 28$) и C_j ($j = 1, \dots, 13$) с учетом пространственной структуры системы атмосфера–суша–океан
КП	Корректировка потоков F_i ($i = 1, \dots, 28$) и C_j ($j = 1, \dots, 13$) за счет рассмотрения циркуляции атмосферы, гидрологических процессов и течений океана
АОБ	Алгоритм обновления базы данных и знаний
АСРИ	Алгоритм согласования разнородной информации
ФС	Формирование сценариев изменения пространственной структуры почвенно-растительных формаций, потоков F_3 , F_{27} и F_{28} вследствие загрязнения поверхности океана и изменения технологий использования минеральных ресурсов
ОИИК	Оценка индикаторов изменения климата в результате реализации сценариев.
УИП	Учет изменений потоков F_i ($i = 1, \dots, 28$) и C_j ($j = 1, \dots, 13$) в результате вариаций климатических параметров
СДОС	Слежение за динамикой обратных связей в окружающей среде при изменении их параметров
ПИРВ	Пересчет индексов радиационного воздействия в зависимости от динамики F_i/C_j в соответствующих пикселях и акваториях
ИИК	Информационный интерфейс и контроль потоков данных между блоками МГЦУМ

поток углерода между атмосферой и живой биомассой на наземном пикселе Ξ_{ij} может быть описан простой моделью

$$F_6(\varphi, \lambda, t) = C_6 P_k(\varphi, \lambda, t),$$

где C_6 – коэффициент, отражающий эффективность механизма фотосинтетического отклика.

Цикл углерода в океане включает потоки, которые формируются термохалинной циркуляцией, обменом между атмосферой и поверхностным слоем океана, фотосинтезом, окислительными процессами, осаждением и поглощением CO_2 из атмосферы. Описание моделей этих процессов дано в работах [5, 6, 9]. Описывающие физико-химические процессы газового обмена на границе воздух–вода потоки F_{27} и F_3 были детально изучены, описаны в [1] и, как результат, поток F_3 может быть представлен формулой

$$F_3 = \psi(T_L) \sqrt{p_a / (1 + 0,5 p_s)},$$

где $\psi(T_L)$ – показатель влияния температуры на растворимость CO_2 в воде;

p_s – соленость воды;

T_L – температура воды;

p_a – атмосферное давление.

Потоки F_{27} и F_3 являются функционально симметричными в зависимости от

кислотности воды: при $\text{pH} \leq 8,11$ океан поглощает CO_2 , а при $\text{pH} > 8,11$ океан выделяет CO_2 .

Совместная модель глобальных циклов углерода и метана (МГЦУМ) реализует схемы рис. 1 и 2, и ее блоки представлены в табл. 2.

Глобальные циклы углерода и метана, главным образом, определяют динамику климата. Источниками метана служат заболоченные территории (22 %), добыча угля, нефти и газа (19 %), процессы брожения (16 %), выращивание риса (12 %), сжигание биомассы (8 %), мусорные свалки (6 %), обработка сточных вод (5 %), отходы животноводства (5 %), термиты (4 %) и океан (3 %). Средняя скорость формирования CH_4 в каждом пикселе Ξ_{ij} на суше и в акватории Ω_{sk} океана изменяется от $0,4 \times 10^6$ т/г в лесистой местности до 280×10^6 т/г на рисовых плантациях и от $0,1 \times 10^6$ т/г на океаническом шельфе до $6,7 \times 10^6$ т/г в открытом океане [5, 6].

Знание этих потоков метана при их пересчете на радиационный потенциал CO_2 обеспечивает реализацию схемы рис. 1 с уточненными характеристиками потоков F_i ($i = 1, \dots, 28$) в пикселях Ξ_{ij} и акваториях Ω_{sk} ,

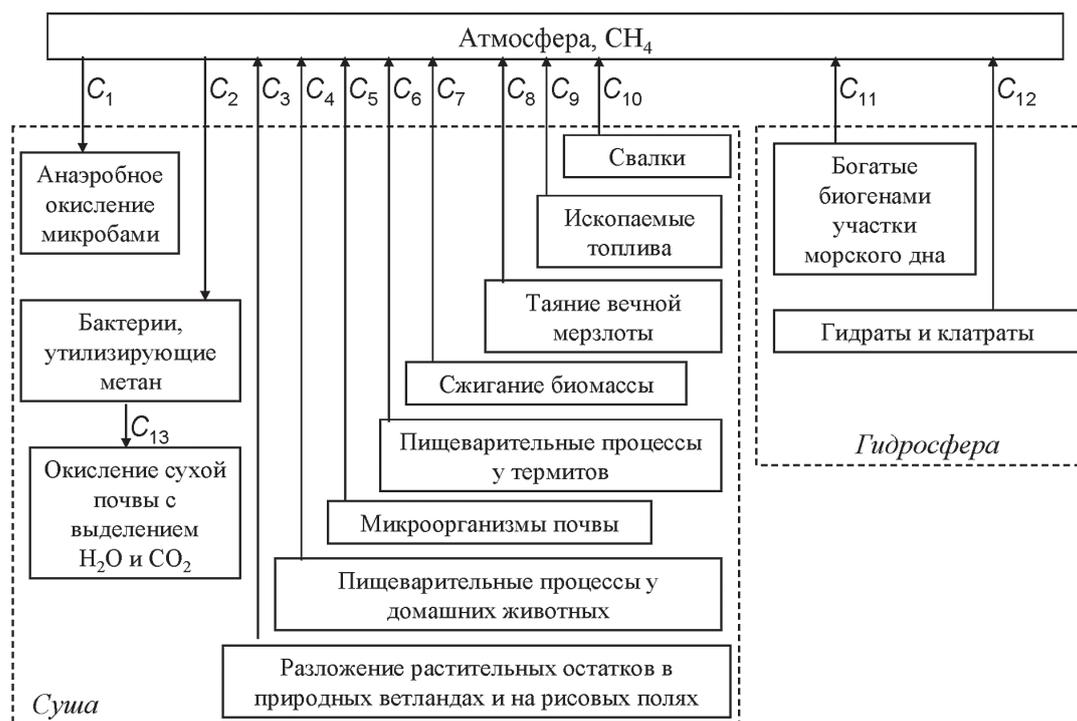


Рис. 2. Глобальный цикл метана в системе атмосфера–гидросфера–суша
 Fig. 2. The global cycle of methane in the atmosphere–hydrosphere–land

где источники и стоки метана существуют. Обычно принимается, что отношение радиационных потенциалов $CO_2:NH_4$ составляет 1:72, 1:25 и 1:7,6 в течение 20, 100 и 500 лет соответственно.

Площади многих источников и стоков CH_4 могут занимать лишь часть пикселя $4^\circ \times 5^\circ$. Каждый пиксель Ξ_{ij} имеет природные и антропогенные участки, которые влияют по-разному на потоки метана. Поэтому МГЦУМ позволяет использовать такую информацию, и тем самым пространственная структура модели уточняется.

Потоки метана C_i ($i = 1-13$) являются функциями температуры, географических координат и других характеристик окружающей среды. Например, Panikov и Dedush [7] разработали модель эмиссии метана в атмосферу для снегом покрытых болот в Западной Сибири, что позволяет рассчитывать потоки CH_4 в пикселях с вечной мерзлотой. В этом случае поток C_8 можно описать соотношением

$$dC_8/dt = \mu X(1-Y)/Y,$$

где μ – характерная скорость роста микробной популяции с биомассой X ;

Y – прирост биомассы на единицу потребленного субстрата.

При этом микробная биомасса X формируется по закону

$$dX/dt = \mu X,$$

где $\mu = \mu_{max} SR / (S + K_S)$ S – концентрация катаболического субстрата;

R – функция физиологического состояния;

K_S – константа насыщения, численно равная той концентрации субстрата, при которой $\mu = 0.5\mu_{max}$.

Природные ветланды и рисовые плантации поставляют в атмосферу более 30 % метана из всех источников. Поток C_3 опишем уравнением

$$C_3 = H_r f_1(T_s) f_2(h) f_3(pH) f_4(r_p),$$

где H_r – гетеротрофное дыхание,

T_s – температура почвы,

h – положение уровня водной поверхности,

r_p – окислительно-восстановительный потенциал, f_i ($i=1-4$) – функции, параметризующие скорости эмиссии метана.

Потоки C_1 и C_2 характеризуют основные стоки атмосферного метана и описываются его реакцией с OH [10].

Описанная здесь глобальная модель цикла двух парниковых газов позволяет изучать роль почвенно-растительных формаций

Т а б л и ц а 3

Модельные оценки изменений запасов углерода при условиях, когда все хвойные леса в Северном полушарии будут сожжены. Обозначения: $C_X=C_I+C_D+C_B$
Model estimates of carbon stock changes under conditions where all the coniferous forests in the northern hemisphere will be burned. Designations: $C_X=C_I+C_D+C_B$

Время после воздействия, годы	Отклонение в запасах углерода, Гт				Время после воздействия, годы	Отклонение в запасах углерода, Гт			
	ΔC_A	ΔC_S	ΔC_U	ΔC_X		ΔC_A	ΔC_S	ΔC_U	ΔC_X
0	150,2	-5,7	15,7	0,1	60	25,1	-30,4	8,5	13,1
10	114,6	-34,1	30,8	3,1	70	16,7	-25,7	6,7	13,5
20	84,1	-44,2	22,5	7,4	80	11,2	-21,5	5,1	14,0
30	64,4	-43,9	19,4	8,5	90	5,9	-17,9	4,3	14,3
40	48,2	-40,7	14,6	10,4	100	2,1	-14,8	2,8	13,9
50	35,2	-33,8	12,1	11,7	200	-9,1	-3,4	-0,9	13,5

Т а б л и ц а 4

Модельные оценки изменений запасов углерода при условиях, когда все леса в Северном полушарии будут сожжены. Обозначения: $C_X=C_I+C_D+C_B$
Model estimates of carbon stock changes under conditions where all the forests in the northern hemisphere will be burned. Legend: $C_X=C_I+C_D+C_B$

Время после воздействия, годы	Отклонение в запасах углерода, Гт				Время после воздействия, годы	Отклонение в запасах углерода, Гт			
	ΔC_A	ΔC_S	ΔC_U	ΔC_X		ΔC_A	ΔC_S	ΔC_U	ΔC_X
0	238,1	-7,9	24,9	0,1	60	44,2	-49,1	14,3	20,7
10	174,2	-31,6	47,9	4,9	70	33,1	-41,6	10,3	21,9
20	138,9	-67,6	39,2	10,0	80	20,7	-35,0	7,5	22,8
30	107,9	-90,3	32,2	13,8	90	12,9	-30,1	5,5	23,3
40	82,0	-64,3	24,1	16,8	100	7,3	-24,7	3,7	23,6
50	60,9	-56,9	18,4	19,1	200	-12,7	-5,9	-1,7	21,7

Т а б л и ц а 5

Модельные оценки изменений запасов углерода при условиях, когда все тропические леса будут сожжены. Обозначения: $C_X=C_I+C_D+C_B$
Model estimates of carbon stock changes under conditions where all tropical forests are burned. Legend: $C_X=C_I+C_D+C_B$

Время после воздействия, годы	Отклонение в запасах углерода, Гт				Время после воздействия, годы	Отклонение в запасах углерода, Гт			
	ΔC_A	ΔC_S	ΔC_U	ΔC_X		ΔC_A	ΔC_S	ΔC_U	ΔC_X
0	406,2	-20,0	42,2	0,2	60	2,9	-12,4	3,0	22,8
10	264,4	-93,7	74,1	8,0	70	-5,8	-7,5	0,5	22,8
20	162,2	-84,8	48,0	14,9	80	-11,6	-4,2	-0,9	22,6
30	90,6	-38,6	27,9	19,1	90	-13,2	-2,6	-1,7	22,5
40	45,4	-36,5	15,0	21,3	100	-14,5	-1,9	-2,1	21,8
50	18,3	-21,6	7,5	22,4	200	-13,2	-2,3	-1,9	17,7

и океанских экосистем в изменениях климата путем рассмотрения сценариев антропогенного воздействия на них. Примеры гипотетических катастрофических изменений лесных территорий приведены в табл. 3–5 и на рис. 3. Видно, что наземная биота играет роль стока атмосферного CO_2 в динамике основных ре-

зервуаров углерода. Аналогичные имитационные эксперименты дают возможность оценить роль всех типов ПРФ в поглощении CO_2 . Например, на рис. 3 показана роль сокращения лесных покровов в динамике концентрации CO_2 в атмосфере. Как следует из результатов, приведенных на рис. 3, при сокращении гло-

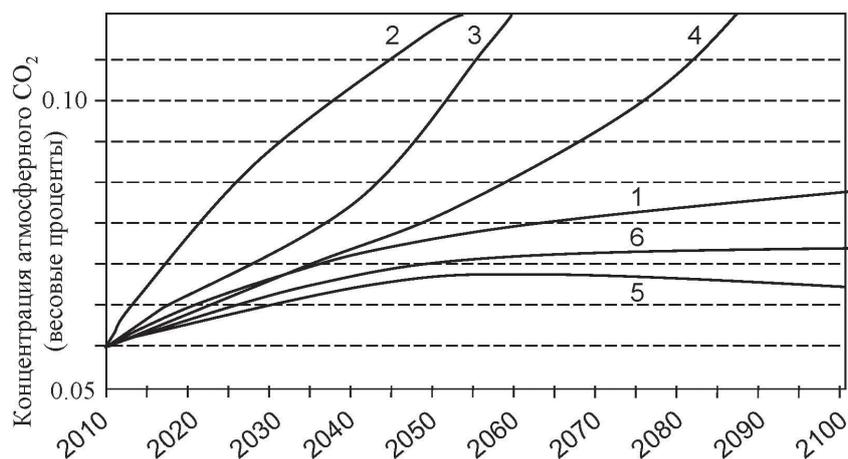


Рис. 3. Динамика концентрации CO₂ для различных сценариев изменения площадей лесов: 1 – скорость изменения площади лесов остается на уровне 2010 г.; 2 – все леса к 2050 г. будут сведены; 3 – площадь лесов к 2050 г. будет сокращена на 50 %; 4 – то же на 10 %; 5 – к 2050 г. площадь лесов увеличится на 50%; 6 – то же на 10 %

Fig. 3. Dynamics of CO₂ concentration for different scenarios of change in forest area: 1 – the rate of change in forest area remains at 2010 .; 2 – all forests by 2050 will be reduced; 3 – forest area in 2050 will be reduced by 50%; 4 – the same at 10%; 5 – 2050 forest area will increase by 50%; 6 – the same 10%

Т а б л и ц а 6

Динамика отношения интегральных скоростей (C₆) поглощения CO₂ растительным покровом в процессе его замены
Dynamics ratio of the integrated absorption (C₆) rate of CO₂ vegetation in the process of replacing it

Сценарий замены почвенно-растительных формаций в пикселях 4°×5°		F ₆ измененная ПРФ/ F ₆ первоначальная ПРФ			
Первоначальная ПРФ	Измененная ПРФ	2020 г.	2030г.	2050 г.	2100 г.
Арктические пустыни и тундры	Лесотундра	2,54	2,04	1,97	2,15
Тундры	Лесотундра	0,96	0,94	0,95	1,03
Горная тундра	Лесотундра	1,42	1,15	1,01	1,04
Северотаежные леса	Среднетаежные леса	1,63	1,44	1,11	1,12
Южнотаежные леса	Среднетаежные леса	1,98	1,66	1,45	1,33
Широколиственные хвойные леса	Среднетаежные леса	3,91	3,69	2,86	1,95
Субтропические широколиственные и хвойные леса	Влажные вечнозеленые тропические леса	3,07	2,55	2,44	1,77
Ксерофитные редколесья и кустарники	Влажные вечнозеленые тропические леса	21,49	19,46	17,95	18,34
Степи умеренно засушливые и засушливые	Влажные вечнозеленые тропические леса	22,15	18,33	16,32	14,77
Пампы и травяные саванны	Влажные вечнозеленые тропические леса	99,23	77,12	68,54	70,09
Субтропические пустыни	Влажные вечнозеленые тропические леса	187,65	153,23	138,39	140,67
Альпийские и субальпийские луга	Влажные вечнозеленые тропические леса	790,04	766,42	751,26	767,33
Переменно-влажные листопадные тропические леса	Влажные вечнозеленые тропические леса	1,42	1,33	1,23	1,25
Тропические ксерофитные открытые редколесья	Влажные вечнозеленые тропические леса	67,56	60,19	56,59	57,34
Тропические саванны	Влажные вечнозеленые тропические леса	5,98	4,98	4,67	5,08
Тропические пустыни	Влажные вечнозеленые тропические леса	25,99	24,76	23,57	22,65
Субтропические и тропические травяно-древесные заросли тугайного типа	Влажные вечнозеленые тропические леса	17,11	15,78	14,92	13,99
Субтропические полупустыни	Влажные вечнозеленые тропические леса	0,95	1,21	0,97	1,09

бальной площади лесов на 19 % к 2050 г. по сравнению с 2010 г. (4,033 млн га) концентрация CO_2 к концу 21-го столетия возрастет на 53 %. Наоборот, увеличение площади лесов на 10 % в тот же период уменьшит концентрацию CO_2 в атмосфере на 12 %. Другие сценарии, результаты реализации которых представлены на рис. 3, показывают катастрофические последствия в изменении климата. Следовательно, человечество находится в ситуации, когда сокращение площади лесов стимулирует негативные изменения окружающей среды. Более того, процесс изъятия наземного углерода, как это следует из табл. 3–5 и рис. 3, существенно зависит от стратегии управления лесным хозяйством. Поэтому даже рассмотренный здесь вариант пространственного распределения почвенно-растительных формаций и выбор пиксельной структуры наземных экосистем МГЦУМ помогает получить оценки последствий реализации стратегий управления растительным покровом как в глобальном и региональном масштабах, так и в каждом пикселе $4^\circ \times 5^\circ$. Например, в табл. 6 показано, как поток C_6 изменяется в зависимости от смены растительного покрова.

В заключение отметим, что структура МГЦУМ не изменится при рассмотрении другой схемы пространственного распределения почвенно-растительных формаций. К сожалению, географическая сетка $4^\circ \times 5^\circ$ достаточно груба для выявления более тонких эффектов управления растительными покровами. Имеющиеся базы данных для пространственных шкал $1^\circ \times 1^\circ$; $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ и $1 \text{ км} \times 1 \text{ км}$ позволяют уточнить некоторые блоки модели, но для этого необходимо дополнить их список с описанием биопродукционных процессов как функций вегетационных индексов типа NDVI. Однако многие пиксели в этом случае оказываются в неопределенности. Так, например, в зонах вечной мерзлоты важными являются геофизические, геохимические и экологические процессы, которые связаны с изменением климата и еще недостаточно изучены. Известно, что процессы таяния вечной мерзлоты значительно изменяют земную поверхность, и поэтому совершенствование МГЦУМ неизбежно требует развития ГИС для этой зоны.

Конечно, число нерешенных задач глобального моделирования парникового эффекта значительно. Достаточно схематичны сведения о связи земного климата с космической пылью. Известно, что 100–300 т космической пыли поступает в земную атмосферу ежедневно. С учетом этого предстоит расширить блоковую структуру МГЦУМ.

Данная работа была частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований в рамках гранта № 13-01-00023.

Библиографический список / References

1. Алексеев, В.В. Физическое и математическое моделирование экосистем / В.В. Алексеев, И.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1992. – 367 с. Alexeev V.V., Kryshev I.I., Sazykina T.G. *Fizicheskoe i matematicheskoe modelirovanie ekosistem* [Physical and mathematical modeling of the ecosystems]. St-Petersburg: Hydrometeozdat, 1992. 367 p.
2. Базилевич, Н.И. Картограммы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности суши / Н.И. Базилевич, Л.Е. Родин // Известия Всесоюзного географического об-ва, 1967. – Т. 99. – № 3. – С. 190–194. Bazilevich N.I., Rodin L.E. *Kartoshkemy produktivnosti i biologicheskogo krugovorota glavneishikh tipov rastitel'nosti sushi* [Schematic map of productivity and biological cycle of the main types of the land vegetation]. Proceedings of Russian Geographical Society, 1967. V. 99. № 3. pp. 190-194.
3. Cracknell A.P., Krapivin V.F., Varotsos C.A. Global Climatology and Ecodynamics: Anthropogenic Changes to Planet Earth. Chichester, U.K.: Springer/Praxis, 2009. 518 p.
4. Degermendzhi A.G. New directions in biophysical ecology. In: A.P. Cracknell, V.F. Krapivin, and C.A. Varotsos (eds.). Global Climatology and Ecodynamics. Chichester, U.K.: Springer/Praxis, 2009. pp. 379-396.
5. Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F., Varotsos C.A. Global Carbon Cycle and Climate Change. Chichester, U.K.: Springer/PRAXIS, 2003. 372 p.
6. Krapivin, V.F., Varotsos C.A. Biogeochemical cycles in globalization and sustainable development. Chichester, U.K.: Springer/Praxis, 2008. 562 p.
7. Panikov N.S., Dedysh S.N. Cold season CH_4 and CO_2 emission from boreal peat bogs (West Siberia): winter fluxes and thaw activation dynamics. Global Biogeochemical Cycles, 2000. V. 14. № 4. pp. 1071-1080.
8. Tarko A.M. Analysis of Global and Regional Changes in Biogeochemical Carbon Cycle: A Spatially Distributed Model. Laxenburg, Austria: Interim Report, IR-03-041, IIASA, 2003. 28 p.
9. Williams, R.G. Ocean Dynamics and the Carbon Cycle. / R.G. Williams and M.J. Follows. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2011. 434 p.
10. Xu, S. A process-based model for methane emission from flooded rice paddy systems / S. Xu, P. Jaffe, D.L. Mauzerall. Ecological Modelling, 2007. V.205. pp. 475-491.

MODELING GLOBAL CARBON AND METHANE CYCLES

Krapivin V.F., Prof., Institute of Radio Engineering and Electronics. VA Kotelnikov RAS, Dr. Sci. (Tech.); **Shalaev V.S.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); **Burkov V.D.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)

shalaev@mgul.ac.ru, burkov@mgul.ac.ru
 Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia
 Institute of Radioengineering and Electronics (IRE) of RAS, Mokhovaya 11-7, Moscow, 125009, Russia

The greenhouse effect problem due to the anthropogenic impact on the global cycle of the greenhouse gases is being discussed by the scientific literature. This paper proposes a mathematical model of the coupled biogeochemical cycle of carbon and methane considering spatial structure of their sources and runoffs for the solution of this problem. All reservoirs and fluxes of the carbon and methane taken into consideration by the model are streamlined into different categories with different temporal scales. The spatial scale for the sources and runoffs of the carbon and methane on the land is 4° by latitude and 5° by longitude. The global ocean is parameterized by the point model with four levels by the depth. The interaction between the atmosphere and carbon reservoirs on the land and in the ocean includes the processes of the photosynthesis, decomposition, respiration and burning as well as degazation processes. The global cycle of methane in the atmosphere-hydrosphere-land system is described by the scheme reflecting its basic fluxes, the radiation potential of which is the function of time. The model structure for the coupled cycle of the carbon and methane has 12 blocks making the basic calculation procedures for their fluxes and coordinating the heterogeneous information. The results of the simulation experiments are provided considering the scenarios for the changes in the forest areas and showing their significant role in the climate change.

Keywords: climate, carbon dioxide, methane, model, parameterization, flux, forest, greenhouse effect.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С ГУМУСОВОЙ МАТРИЦЕЙ ПОЧВЕННЫХ ГЕЛЕЙ

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук,*
 В.С. ШАЛАЕВ, *проф. каф. технологии д/о производств МГУЛ, д-р техн. наук*

gennadiy.fedotov@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»
 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Институт экологического почвоведения, МГУ
 ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
 141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Целью работы была оценка правомерности используемых модельных представлений, а также допустимость рассмотрения минеральных частиц в гумусовой матрице почвенных гелей как инертных, не взаимодействующих с гумусовой матрицей объектов. Выяснить это можно, сравнивая экспериментальные данные по изменению свойств почв в выбранных условиях и модельные представления об изменении в этих же условиях почвенных гелей, наполненных различными минеральными частицами. В статье рассматривается модель взаимодействия минеральных частиц с гумусовой матрицей почвенных гелей и сопоставление ее с экспериментальными данными по изменению свойств почв в выбранных условиях. Предложенная модель и сопоставление ее с экспериментальными данными: свидетельствуют об активном взаимодействии минеральных частиц с гумусовой матрицей, объясняют наличие в ряде почв в процессе увлажнения–высушивания «структурного перехода» и его отсутствие в почвах, обогащенных соединениями железа, позволяют понять причины расслаивания почвенных гелей и природу всплывающих гелевых пленок, дают возможность предположить послойный механизм образования гелевой матрицы в почвах.

Ключевые слова: минеральные частицы, гумусовая матрица, почвенные гели.

Проведенные исследования почв показывают, что минеральные частицы покрыты и связаны между собой почвенными пленками-гелями на основе органо-минеральных и гумусовых соединений [1]. Эти пленки обуславливают функциональное взаимодействие между элементами почв и, следовательно, являются в них системообразующим компонентом.

Однако долгое время в полной мере не учитывали роль молекулярного строения гумусовых веществ (ГВ) в почвенных гелях.

Гуминовые кислоты и фульвокислоты далеко не всегда рассматривают в виде трехмерных частиц. В ряде случаев существует инертность их восприятия в качестве двумерных объектов, изображаемых в учебной и научной литературе в виде химических структурных формул [2]. Необходимо также отметить, что, несмотря на имеющуюся в научной литературе информацию о взаимодействии между собой молекул ГВ [3, 4], до последнего времени не рассматривали принципы их надмолекулярной организации.

В 90-х гг. прошлого века методом малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) было показано, что в растворах из частиц ГВ размером несколько нанометров возникают и существуют фрактальные образования размером 100–200 нм [5–7]. Эти экспериментальные данные позволили сделать вывод, что в растворах ГВ существуют в виде фрактальных кластеров из первичных трехмерных частиц ГВ (Ф-кластеров). Эти первичные частицы ГВ, являющиеся строительными элементами, из которых образуются Ф-кластеры, имеют более привычные названия – гуминовые кислоты и фульвокислоты.

Позднее методом МУРН было показано, что коллоидная составляющая почв организована фрактально [8].

Дальнейшие исследования при помощи электронной, атомно-силовой и туннельной микроскопий позволили сделать вывод, что основой почвенных гелей является гумусовая матрица, которая состоит из кластеров размером 100–200 нм, образованных частицами размером 2–12 нм [9, 10]. Сопоставление этих результатов с данными по структурной организации ГВ в растворах свидетельствовало о том, что гумусовая матрица почвенных гелей образована из Ф-кластеров, связанных между собой [11].

В 90-х гг. прошлого века начали меняться представления о принципах организации первичных частиц ГВ. В настоящее время конкурируют две точки зрения – привычная макромолекулярная [2] и новая супрамолекулярная [12]. Вопрос окончательно еще не решен, но в любом случае из представлений о составе ГВ – наличия в них ароматических и алифатических молекул, сахаров, аминокислот и т. д. [2] следует, что в частицах гумусовых веществ должно наблюдаться чередование полярных и неполярных участков, обладающих разной степенью гидрофильности. Амфифильность поверхности ГВ была подтверждена экспериментально методом хроматографии гидрофобного взаимодействия. При этом было также показано, что первичные частицы ГВ отличаются по степени гидрофобности [13].

Нерегулярность строения ГВ позволяла предположить нерегулярность расположе-

ния гидрофильных и гидрофобных участков молекул на поверхности частиц ГВ – мозаичность их поверхности. Вокруг гидрофильных участков поверхности, содержащих карбоксильные группы, как вытекает из коллоидной химии [14], существуют в водной среде ионные атмосферы, перекрывание которых термодинамически невыгодно. Гидрофобные же области первичных частиц ГВ стремятся контактировать между собой, уменьшая контакт с водой и увеличивая тем самым трансляционную энтропию воды и системы в целом. Из-за мозаичности поверхности частиц ГВ, отталкивания ионных атмосфер полярных участков ГВ и взаимодействия между собой гидрофобных участков реализуется хорошо известный в биологии принцип «минимакса» [15], и из частиц ГВ возникают рыхлые надмолекулярные образования – Ф-кластеры. При увеличении их концентрации из-за низкой степени заполнения объема Ф-кластеров частицами ГВ (наличия в них большого количества пустот) Ф-кластеры взаимопроникают друг в друга и взаимодействуют между собой через оставшиеся на поверхности первичных частиц ГВ гидрофобные участки, что делает процесс взаимодействия между Ф-кластерами термодинамически выгодным [10].

Приведенное описание структурной организации органического вещества почвенных гелей логически вытекает из накопленных в почвоведении экспериментальных данных, законов физической и коллоидной химии и детализирует представления о надмолекулярной организации ГВ в почвах.

Подобный подход обладает несомненными преимуществами, позволяя понять происходящие в органической матрице почвенных гелей изменения при различных процессах и, как следствие, изменения свойств почв. Однако в нем заложены определенные ограничения, так как наполняющие органическую матрицу минеральные частицы рассматриваются в качестве инертных, не взаимодействующих с гумусовой матрицей объектов.

Целью работы была оценка правомерности используемых модельных представлений, а также допустимость рассмотрения минеральных частиц в гумусовой матрице

почвенных гелей как инертных, не взаимодействующих с гумусовой матрицей объектов.

Выяснить это можно, сравнивая экспериментальные данные по изменению свойств почв в выбранных условиях и модельные представления об изменении в этих же условиях почвенных гелей, наполненных различными минеральными частицами.

Возможны три варианта взаимодействия минеральных частиц с гумусовой матрицей:

- взаимодействие отсутствует;
- минеральные частицы заряжены отрицательно и взаимодействуют с отрицательно заряженными частицами ГВ, что характерно для базальных плоскостей глинистых минералов, кремнезема и т.д.;
- минеральные частицы заряжены положительно и взаимодействуют с отрицательно заряженными частицами ГВ, что характерно, прежде всего, для частиц соединений железа и в определенных условиях для боковых плоскостей глинистых минералов.

Проанализируем с позиций предложенного подхода процессы увлажнения–высушивания почв. Результаты анализа можно сравнить с экспериментальными данными, полученными методом МУРН, по влиянию влажности различных почв на изменение фрактальных характеристик их коллоидной составляющей [16].

На первом этапе рассмотрим систему, в которой отсутствует взаимодействие между гумусовой матрицей и наполняющими ее минеральными частицами. При удалении воды из системы на основе взаимопроникающих Ф-кластеров у части ветвей кластеров возникает контакт с воздухом, что должно приводить к термодинамически невыгодному увеличению площади контакта гидрофильных участков поверхности первичных частиц ГВ с воздухом. Система в этих условиях будет изменяться в направлении нового состояния с минимумом свободной энергии. В результате, вероятнее всего, произойдет перестройка структуры фрактального кластера, приводящая к укорачиванию его ветвей и уплотнению. При подобной перестройке гидрофобные участки поверхности первичных частиц

ГВ увеличивают контакт с воздухом и между собой, что должно приводить к формированию гидрофобных снаружи и гидрофильных внутри областей первичных частиц ГВ вокруг остающейся в Ф-кластерах воды. Фактически процессы, происходящие при высушивании почв (почвенных гелей), являются аналогом обращения мицелл ПАВ при контрастной смене полярности растворителя.

Рассмотрение процесса удаления воды из влажных почв, строение которых основано на представленной модели, позволило сделать выводы: в гумусовой матрице почвенных гелей во влажной почве существование системы обеспечивают гидрофобные связи между первичными частицами ГВ; в сухой почве – гидрофильные связи между первичными частицами ГВ. Из этого следовало, что в почвах в определенном интервале влажности должна происходить структурная перестройка (структурный переход) в гумусовой матрице почвенных гелей.

Однако в этих представлениях остаются неясные моменты. В частности, отсутствует четкое понимание строения Ф-кластеров, которые, как следует из экспериментальных данных, состоят из первичных частиц ГВ с разной степенью гидрофобности.

Проведем более тщательный анализ предполагаемого строения Ф-кластеров.

- В принципе возможны три варианта:
- однородное распределение первичных частиц ГВ (в дальнейшем частиц ГВ) с различными свойствами по объему Ф-кластеров;
 - в поверхностном слое Ф-кластеров располагаются более гидрофильные частицы ГВ с большим количеством диссоциирующих кислотных групп (ГВ1), а в глубине Ф-кластера – более гидрофобные частицы ГВ (ГВ2);
 - в поверхностном слое Ф-кластера располагаются более гидрофобные частицы ГВ с меньшим количеством диссоциирующих кислотных групп, а в глубине Ф-кластера – более гидрофильные частицы ГВ.

Для получения ответа на вопрос о строении Ф-кластеров анализ, по-видимому, имеет смысл проводить с позиций образования Ф-кластеров и с позиций их изменений при увлажнении–высушивании (табл.).

Анализ поведения Ф-кластеров при различном распределении в них ГВ1 и ГВ2 при образовании и в процессе увлажнения–высушивания
Analysis of the behavior of F-clusters with different distributions in ГВ1 and ГВ2 them with formation and in the process of drying–moisture

	Однородное распределение	ГВ1 снаружи, ГВ2 внутри	ГВ2 снаружи, ГВ1 внутри
Образование	Подстройка частиц ГВ к образующемуся Ф-кластеру	Так как возникновение происходит в водной среде, то образование Ф-кластеров должно начинаться с взаимодействия гидрофобных участков частиц ГВ с последующей достройкой частицами ГВ по гидрофобным же участкам	Трудно предположить образование Ф-кластеров в водной среде при взаимодействии гидрофильных областей частиц ГВ
Увлажнение–высушивание	Влага остается у гидрофильных поверхностей, следовательно, гидрофильные частицы при высушивании собираются вместе. При увлажнении вода, в первую очередь, поступает в гидрофильные области, ориентируя гидрофильные поверхности частиц на себя. Трудно ожидать, что при перестройке структуры более гидрофильные частицы разбегутся друг от друга и распределятся равномерно по Ф-кластеру. Поэтому можно сделать вывод о концентрировании гидрофильных частиц в каких-то областях Ф-кластеров	Во влажных условиях такая структурная организация обеспечивает длительность существования Ф-кластеров, так как гидрофобные связи внутри них предотвратят их распад – разделение на части. При удалении воды она будет сначала уходить из более гидрофобных внутренних областей, оставаясь в поверхностных областях соприкасающихся Ф-кластеров. Следовательно, реорганизации, в первую очередь, подвержены наружные области Ф-кластеров, а внутренние их области должны быть весьма устойчивыми	Такая структурная организация невозможна, так как в процессах увлажнения–высушивания будет способствовать распаду и кардинальной перестройке Ф-кластеров

Из проведенного анализа (табл.) следует, что Ф-кластеры неоднородны и их поверхностный слой должен быть обогащен гидрофильными частицами ГВ. Внутренние области Ф-кластеров должны быть весьма устойчивы и не должны изменяться при прохождении большинства почвенных процессов. Таким образом, можно сделать вывод о возрастании степени гидрофильности частиц ГВ от центра кластера к его периферии.

Как следствие, можно разделить Ф-кластер на три условные зоны по гидрофильности частиц ГВ (рис. 1), в которых располагаются в соответствии с общепринятой терминологией различные специфические ГВ:

- поверхностный слой, состоящий из фульвокислот и других лабильных органических веществ почвенного гумуса (ФК);
- средний слой, представленный гуминовыми кислотами (ГК);
- внутренний слой, образованный гумином.

Из подобной модели вытекает ряд следствий.

Во-первых, размер Ф-кластеров, содержащих большую долю ФК по сравнению с долей ГК и гумина, должен быть больше, а Ф-кластеры должны быть менее стабильны – более подвержены внешним воздействиям.

Во-вторых, можно ожидать, что во внутренних слоях Ф-кластеров наряду с гидрофильно-гидрофобными взаимодействиями между частицами ГВ начинают появляться и более прочные связи, которые не позволяют перевести гумин в раствор.

В-третьих, прочность гумусовой матрицы почвенных гелей, по-видимому, обусловлена взаимодействиями, прежде всего, между внешними слоями Ф-кластеров. Об этом свидетельствует ухудшение структурного состояния почв при уменьшении содержания в них лабильных органических веществ [17–20].

В-четвертых, удаление воды при высушивании должно происходить сначала из более гидрофобных участков гумусовой матрицы почвенных гелей – из внутренних слоев Ф-кластеров, а затем из более гидрофильных их участков. Следовательно, фронт воды при высушивании почв должен двигаться от цен-

тра Ф-кластеров к их поверхностному слою, где должны оставаться последние области воды и где должна происходить основная часть всех структурных перестроек.

В-пятых, при фракционировании ГВ по общепринятым схемам [21] происходит разрушение Ф-кластеров с удалением из них и перевод в раствор на первом этапе непрочно связанных фульвокислот и лабильных органических веществ гумуса внешнего слоя Ф-кластеров, а затем и более прочно связанных фульвокислот и гуминовых кислот (можно предположить, что при подкислении среды происходит образование вторичных Ф-кластеров на основе гуминовых кислот, выпадающих из раствора в осадок и имеющих очень мало общего с исходными Ф-кластерами почв).

После рассмотрения поведения Ф-кластеров, образующих гумусовую матрицу с не взаимодействующими с ней минеральными частицами, остановимся на характере взаимодействия базальных плоскостей глинистых минералов с Ф-кластерами.

Можно предположить, что с глинистыми минералами более активно будут взаимодействовать гидрофобные ГВ. Связано это с тем, что поверхность базальных плоскостей глинистых минералов, как было отмечено выше, в водной среде приобретает отрицательный заряд и окружена ионными атмосферами из катионов. Гидрофильные участки частиц ГВ из-за большой роли карбоксильных групп в их образовании тоже заряжены отрицательно и окружены катионными ионными атмосферами. Перекрывание одинаково заряженных ионных атмосфер частиц ГВ и минералов термодинамически невыгодно. Поэтому подходить к поверхности минералов (и взаимодействовать с ними) могут только частицы ГВ, у которых количество участков, окруженных ионными атмосферами, минимально, т. е. более гидрофобные. В результате на базальных поверхностях глинистых минералов в качестве первого адсорбционного слоя можно ожидать размещение более гидрофобных первичных частиц ГВ (даже если сначала на базальных поверхностях произойдет закрепление Ф-кластеров, при чередовании процессов увлажнения и высушивания должна произойти перестройка

с образованием первого адсорбционного слоя из более гидрофобных первичных частиц ГВ). В дальнейшем развитие процесса адсорбции должно идти по механизму образования Ф-кластеров. На более гидрофобных частицах ГВ размещаются все менее гидрофобные.

Таким образом, базальные плоскости глинистых минералов и поверхность других отрицательно заряженных минералов должна быть покрыта слоем первичных частиц ГВ, имеющим фрактальное строение, гидрофобность первичных частиц ГВ в котором уменьшается от поверхности минерала к периферии адсорбционного слоя. Подобные образования должны взаимодействовать с Ф-кластерами по тому же механизму, по которому Ф-кластеры взаимодействуют друг с другом, и, следовательно, поведение таких систем должно быть сходным с рассмотренным выше поведением гумусовых матриц, содержащих не взаимодействующие с ними минеральные частицы (в этих системах можно ожидать, что минеральные частицы, покрытые фрактальным слоем ГВ (Ф-слоем), будут оказывать упрочняющее влияние на гумусовую матрицу из-за их относительно большого размера).

Ситуация должна коренным образом изменяться, если гумусовая матрица заполнена минеральными частицами, поверхность которых заряжена положительно (соединения железа, соединения алюминия и боковые поверхности частиц глинистых минералов при определенных условиях). С положительно заряженными поверхностями должны преимущественно взаимодействовать более гидрофильные частицы ГВ, обладающие большим отрицательным зарядом. Как следствие, все положительно заряженные поверхности будут покрыты гидрофильными частицами ГВ, которые в результате гидрофобизируются как за счет взаимодействия с положительно заряженными поверхностями более гидрофильных участков частиц первичных ГВ, так и за счет перехода с поверхности минералов многозарядных катионов и их взаимодействия с гидрофильными участками частиц первичных ГВ. Фактически положительно заряженные частицы наноразмеров могут выступать основой для построения Ф-кластеров.

При избытке ГВ возникающие структуры будут сходны по строению с ранее рассмотренными вариантами, так как к более гидрофобным частицам ГВ на поверхности таких минералов будут подстраиваться более гидрофильные частицы, образуя Ф-слой. Поведение таких систем должно быть подобно поведению систем, рассмотренных выше.

Однако при отсутствии избытка ГВ ситуация должна заметно изменяться. В системах будет ощущаться недостаток гидрофильных первичных частиц ГВ и, как следствие, они должны быть более гидрофобны и более устойчивы к действию воды. При высушивании подобных систем вероятность замены гидрофобных связей между первичными частицами ГВ в Ф-кластерах на гидрофильные связи должна уменьшаться с уменьшением доли свободных гидрофильных частиц во внешних слоях Ф-кластеров, то есть с ростом в системе количества положительно заряженных минеральных частиц. Как следствие в подобных системах структурный переход может отсутствовать.

Сравним наши модельные представления с экспериментально полученными ре-

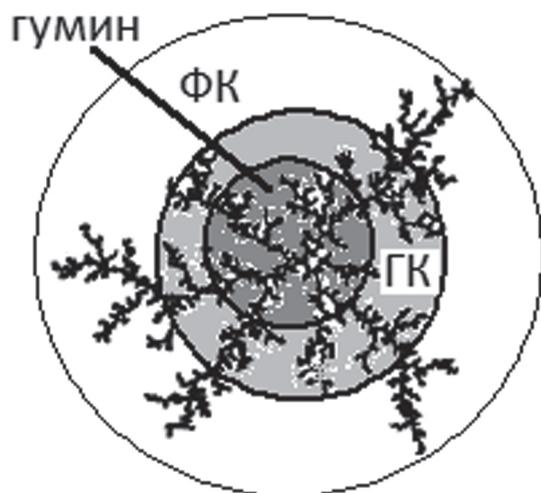


Рис. 1. Схема фрактального кластера, созданного из 2000 частиц по модели Витена-Сандерса с выделенными условными зонами расположения фульвокислот и других лабильных органических веществ почвенного гумуса (ФК), гуминовых кислот (ГК) и гумина

Fig. 1. Diagram of a fractal cluster, created in 2000 from the particle model Vitena Sanders-conditioned areas with dedicated location fulvic acids and other labile organic matter of soil humus (FC), humic acids (HA) and humin

зультатами [16] по влиянию влажности на фрактальные характеристики коллоидной составляющей почв (рис. 2).

В дерново-подзолистой почве и черноземе интенсивность рассеяния увеличивается скачкообразно по достижении определенной для каждой почв влажности: 7–9 % для дерново-подзолистой почвы и 17–19 % для чернозема. В этих же интервалах влажности для дерново-подзолистой почвы наблюдается скачкообразное уменьшение фрактальной размерности и излом на кривой изменения фрактальной размерности для чернозема. Представленные данные однозначно свидетельствуют о структурной перестройке в этих интервалах влажности – структурном переходе. Эти почвы содержат минеральные частицы, заряд поверхности которых преимущественно отрицательный.

В красноземе, содержащем большие количества минеральных частиц соединений железа, поверхность которых заряжена положительно, интенсивность рассеяния растет при увеличении влажности монотонно (рис.2), как это и следует из предлагаемых модельных представлений. Из совпадения результатов проведенного анализа и экспериментальных данных следует, что в красноземе образуются именно те ГВ – ФК, которые лучше взаимодействуют с положительно заряженной поверхностью минеральных частиц, преобладающих в этой почве, и, следовательно, лучше удерживаются. Случайность подобного совпадения весьма сомнительна. Более вероятно реализация в системе принципа «осознанного целеполагания», когда микроорганизмы целенаправленно улучшают среду своего обитания, обеспечивая возникновение необходимых для этого ГВ [22].

Подтверждают правильность используемых подходов и данные по размеру Ф-кластеров в различных почвах. В дерново-подзолистой почве преобладает кремнезем, а в ГВ велика доля ФК, в черноземе – глинистые минералы, а в ГВ велика доля ГК. Разница в доле ГК и ФК Ф-кластеров находит отражение в их размерах, как это и следует из модельных представлений. При повышенном содержании ГК в черноземе Ф-кластеры имеют размеры 80–100 нм, а в дерново-под-

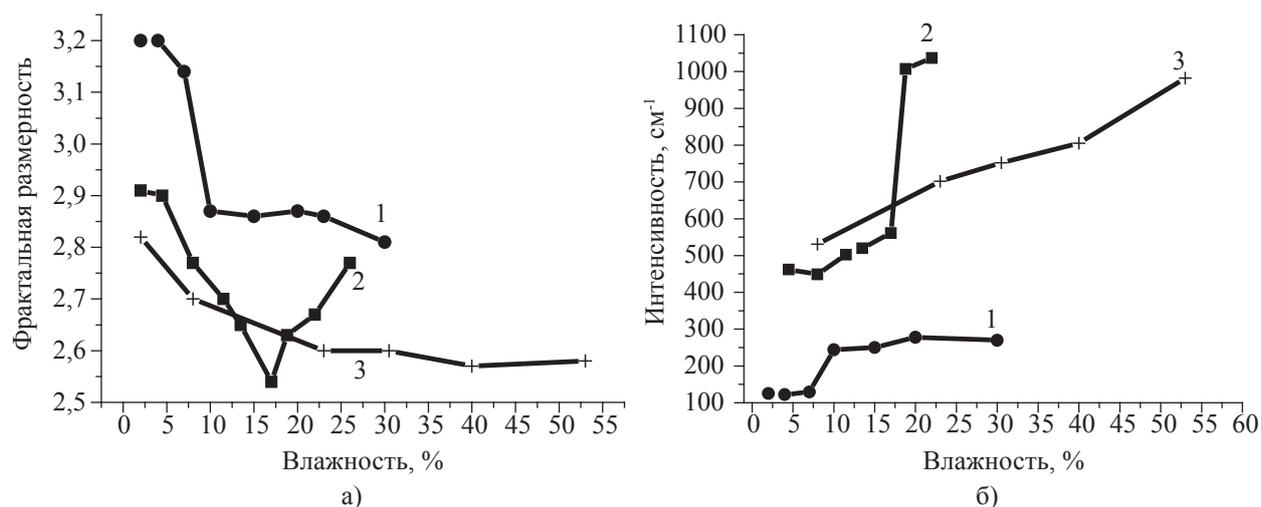


Рис. 2. Зависимость фрактальной размерности (а) и интенсивности рассеяния нейтронов (б) от влажности почв. Дерново-подзолистая почва – 1, чернозем – 2, краснозем – 3

Fig. 2. The dependence of the fractal dimension (a) and neutron-scattering intensity (b) of soil moisture. soddy podzolic soil – 1, chernozemic soil – 2, red soil – 3

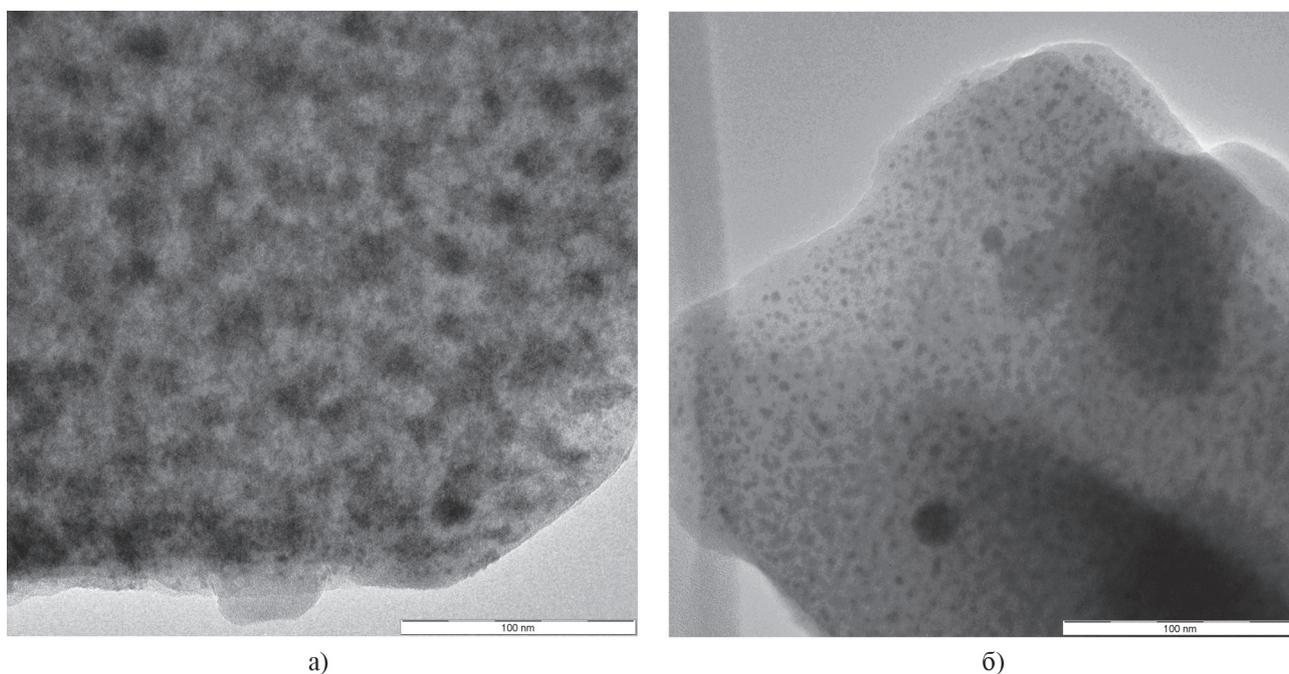


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение гелевых пленок, выделенных из дерново-подзолистой почвы (а) и чернозема (б), полученное на просвечивающем электронном микроскопе

Fig. 3. An electron microscopic image of the gel films extracted from soddy podzolic soil (a) and chernozemic soil (б) obtained in the transmission electron microscope

золистой почве их размеры заметно больше – 100–200 нм [10].

Данные по влиянию нагрева на фрактальные характеристики различных почв [23] также свидетельствуют о правильности используемых модельных представлений. В почвах, в которых Ф-кластеры содержат большую

долю ФК, изменение интенсивности рассеяния при нагреве от 20 °С до 90 °С заметно выше (дерново-подзолистая почва – 50 %, краснозем – 35 %), чем в черноземе – 7 %.

Экспериментальные исследования позволили также подтвердить ряд отдельных положений, на которых базируется применяемая

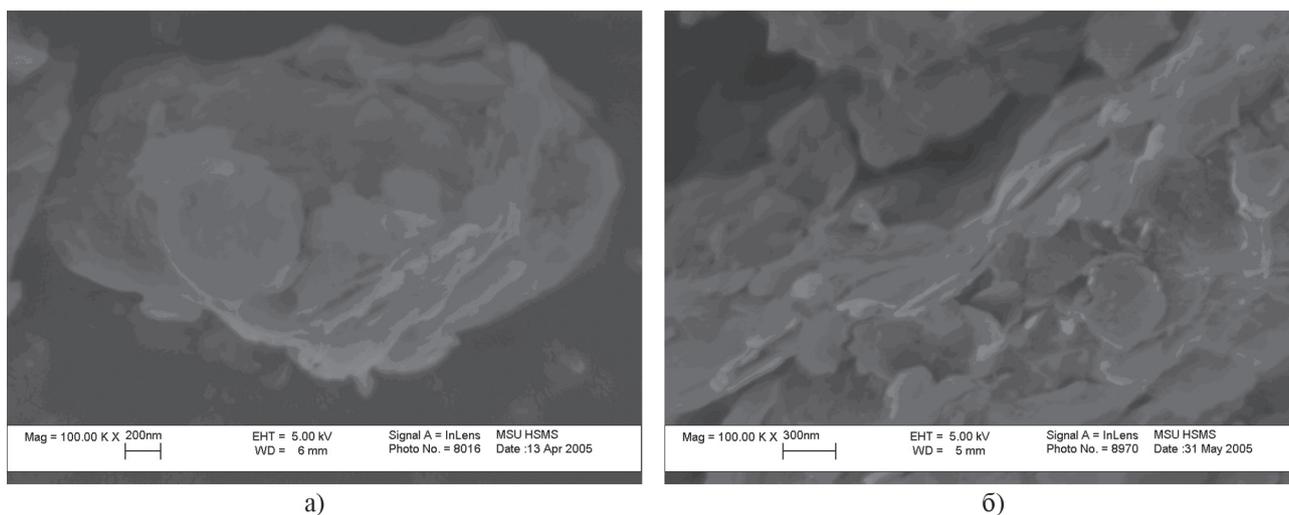


Рис. 4. Электронно-микроскопические фотографии частиц чернозема (а) и бурой лесной почвы (б)
 Fig. 4. Electron micrographs of particles of black earth (a) and brown forest soil (б)

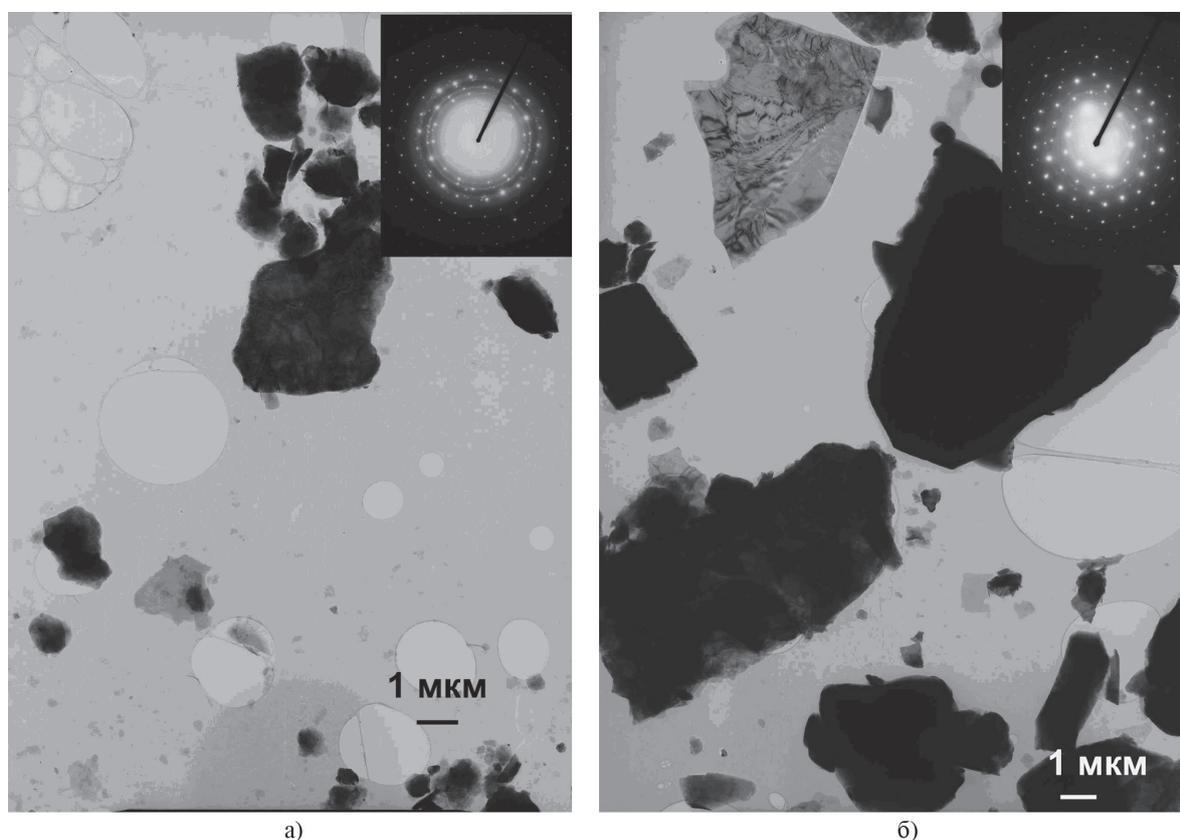


Рис. 5. Электронно-микроскопические изображения гелевых пленок из дерново-подзолистой почвы (а) и чернозема (б), полученные в режиме светлого поля, а также в режиме электронной дифракции с выделенной области
 Fig. 5. Electron microscopic image of the gel films of sod-podzolic soil (a) and humus (б) obtained in the bright field mode, and the mode of electron diffraction from the selected area

модель. Во-первых, при помощи просвечивающей электронной микроскопии установлено, что в гумусовой матрице почвенных гелей наблюдаются выделения более плотного органического вещества (гидрофобного органического

вещества) размером несколько нанометров (рис. 3), которые, по-видимому, и связывает Ф-кластеры [24]. Во-вторых, было экспериментально показано, что из минеральных частиц происходит выщелачивание многозарядных

катионов, что приводит к их взаимодействию с ГВ и росту гидрофобизации гумусовой матрицы вплоть до выделения наноразмерных гидрофобных областей [25]. В-третьих, было установлено, что в почвах все минеральные частицы покрыты Ф-кластерами [26], а крупные минеральные частицы покрыты и связаны слоями почвенных гелей [27].

Проведенный анализ и сравнение его результатов с экспериментальными данными подтвердил правомерность используемых модельных представлений, а также позволил сделать вывод, что минеральные частицы, наполняющие гумусовую матрицу почвенных гелей, активно с ней взаимодействуют.

Однако экспериментальные исследования дают возможность уточнить предложенную модель и приблизить ее к реальности. Так, результаты электронно-микроскопического изучения почв свидетельствуют, что гелевая матрица в воздушно-сухих почвах представляет собой не единое образование, а состоит из большого числа слоев (в качестве примера приведены электронно-микроскопические изображения частиц чернозема и бурой лесной почвы [24, 25]) (рис. 4). При помещении воздушно-сухих почв в воду часть верхних слоев геля отделяется и всплывает на поверхность воды [28]. Причина этого явления становится понятной при изучении отделившихся гелевых слоев на просвечивающем электронном микроскопе [29]. На представленных фотографиях (рис. 5) хорошо видно, что глинистые минеральные частицы в гелевых слоях располагаются упорядоченно так, что их базальные плоскости ориентированы параллельно поверхности слоев. При удалении воды из почв единые гелевые пленки уседают, в них развиваются механические напряжения и возникают разрывы, ориентация которых задается армирующими гумусовую матрицу минеральными частицами. Наибольшей площадью поверхности обладают частицы глинистых минералов, вклад которых в процесс армирования по этой причине максимален. В результате гумусовая матрица почвенного геля при высушивании распадается на отдельные слои. Неоднородность распределения тяжелых металлов [30]

и различная структурная организация в органической матрице внешних и глубинных гелевых слоев (в гумусовой матрице внешних и глубинных слоев геля выделяется разное количество гидрофобного органического вещества) [28] позволяют предположить, что гидрофобность органической матрицы внутренних слоев геля выше, и, следовательно, что они образовались раньше внешних слоев геля. Последовательное образование слоев геля в гелевой матрице почв объясняет ориентацию в них глинистых минералов.

Таким образом, предложенная модель и сопоставление ее с накопленными к настоящему времени экспериментальными данными:

- свидетельствуют об активном взаимодействии минеральных частиц с гумусовой матрицей;
- объясняют наличие в ряде почв в процессе увлажнения–высушивания «структурного перехода» и его отсутствие в почвах, обогащенных соединениями железа;
- позволяют понять причины расслаивания почвенных гелей и природу всплывающих гелевых пленок;
- дают возможность предположить послыйный механизм образования гелевой матрицы в почвах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 13-04-00140.

Библиографический список

1. Тюлин, А.Ф. Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений / А.Ф. Тюлин. – М.: АН СССР, 1958. – 52 с.
2. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1990. – 325 с.
3. Александрова, Л.Н. Гумус как система полимерных соединений / Л.Н. Александрова / Тр. юб. сессии, посв. столетию со дня рождения В.В. Докучаева. – М.: АН СССР, – 1949. С. 225–232.
4. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
5. Österberg R., Mortensen K. Fractal dimension of humic acids. A small angle neutron scattering study // *European Biophysics Journal*. 1992. 21(3): 163–167.
6. Österberg R., Mortensen K. Fractal geometry of humic acids. Temperature-dependent restructuring studied by small-angle neutron scattering // *Humic substances in the global environment and implication on human health* // Ed. by N. Senesy, T. Miano. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 256–257.

7. Österberg R., Mortensen K.M., Ikai A. Direct observation of humic acid clusters, a nonequilibrium system with fractal structure // *Naturwissenschaften*. 1996. № 82. p. 137–139.
8. Федотов, Г.Н. Фрактальные структуры коллоидных образований в почвах / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, В.К. Иванов, В.И. Путляев, А.И. Куклин, А.Х. Исламов, А.В. Гаршев, Е.И. Пахомов // *Доклады Академии наук*, 2005. – Т. 404. – № 5. – С. 638–641.
9. Федотов, Г.Н. Коллоидно-химическая модель для описания некоторых почвенных процессов / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский // *Почвоведение*, 2006. – № 5. – С. 535–545.
10. Федотов, Г.Н. Возможные пути формирования наноструктуры в почвенных гелях / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский // *Почвоведение*, 2012. – № 8. – С. 908–920.
11. Федотов, Г.Н. Гумус как основа коллоидной составляющей почв / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский // *Доклады Академии наук*, 2007. – Т. 415. – № 6. – С. 767–771.
12. Piccolo, A. The Supramolecular Structure of Humic Substances. *Soil Science*. 2001. 166(11). pp. 810–832.
13. Милановский, Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природно-гидрофобно-гидрофильные соединения / Е.Ю. Милановский. – М.: ГЕОС, 2009. – 186 с.
14. Фридрихсберг, Д.А. Курс коллоидной химии / Д.А. Фридрихсберг – Л.: Химия, 1984. – 368 с.
15. Исаев, В.В. Синергетика для биологов: вводный курс / В.В. Исаев. – М.: Наука. – 2005, 158 с.
16. Федотов, Г.Н. Влияние влажности на фрактальные свойства почвенных коллоидов / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, Е.И. Пахомов, А.И. Куклин, А.Х. Исламов, Т.Н. Початкова // *Доклады Академии наук*, 2006. – Т.409. – № 2. – С. —199–201.
17. Артемьева, З.С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы / З.С. Артемьева. – М.: ГЕОС, 2010. – 240 с.
18. Ганжара, Н.Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов. – М.: Агроконсалт, 1997. – 82 с.
19. Овчинникова, М.Ф. Деградация гумуса (особенности проявления в разных условиях) / М.Ф. Овчинникова. – М.: Творческий лицей, 2012. – 236 с.
20. Савич, В.И. Агрономическая оценка гумусового состояния почв. Т. 2. / В.И. Савич, Н.В. Парахин, Л.П. Степанова, Л.Л. Шишов, М. Кершенц – Орел: ОрелГАУ, 2001. – 205 с.
21. Орлов, Д.С. Практикум по химии гумуса. Учеб. пособие / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина. – М.: МГУ, 1981. – 272 с.
22. Федотов, Г.Н. Существующие представления о возможных путях формирования гумусовых веществ в почвах / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба // *Почвоведение*, 2013. – № 12. – с. 1523–1529.
23. Федотов, Г.Н. Влияние температуры на изменение гелевых структур почв / Г.Н. Федотов, Ю.Д. Третьяков, Е.И. Пахомов, А.И. Куклин, А.Х. Исламов // *Доклады Академии наук*, 2006. – Т.407. – № 6. – с. 782–784.
24. Федотов Г.Н. Минеральные наночастицы в гумусовой матрице почвенных гелей / Г.Н. Федотов, В.С. Шалаев // *Вестник МГУЛ–Лесной вестник*, 2012. – № 7 (90). – С. 50–57.
25. Федотов, Г.Н. Микрофазное расслоение в гумусовых системах / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский, С.А. Шоба, Т.Ф. Рудометкина, М.С. Черич, В.С. Шалаев // *Доклады Академии наук*, 2009. – Т. 429. – № 3. – С. 336–338.
26. Федотов, Г.Н. Фрактальные кластеры из супермолекул гумусовых веществ в почвах / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба // *Доклады Академии наук*, 2013. – Т. 448. – № 3. – С. 366–369.
27. Федотов, Г.Н. Изучение механизма влияния органического вещества на структурно-механические свойства почв / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба, Д.Д. Хайдапова // *Доклады Академии наук*, 2014. – Т. 456. – № 1. – С. 121–125.
28. Федотов, Г.Н. Наноструктурная организация гелей различных типов, сосуществующих в почвах / Г.Н. Федотов, Т.Ф. Рудометкина, В.С. Шалаев // *Вестник МГУЛ–Лесной вестник*, 2011. – № 4. – с. 176–181.
29. Федотов, Г.Н. Особенности наноструктурной организации почв / Г.Н. Федотов, В.И. Путляев, Т.Ф. Рудометкина, Д.М. Иткис // *Доклады Академии наук*, 2008. – Т. 422. – № 6. – С. 767–770.
30. Федотов, Г.Н. О наноструктурной организации почв / Федотов Г.Н., Быстрова О.Н., Мартынкина Е.А. // *Доклады Академии наук*, 2009. – Т.425. – № 4. – С. 492–496.

INTERACTING PROCESS RESEARCH OF MINERAL PARTICLES WITH HUMUS MATRIX OF SOIL GEL

Fedotov G.N., Art. Scien. et al. MSU. MV University, Dr. Sci. (Biol.); Shalaev V.S., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)

gennadiy.fedotov@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

Lomonosov Moscow State University (MSU), Institute of Ecology Soil Science, MSU, GSP-1, Leninskiye Gory, 1-12, 119991, Moscow, Russia, Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The aim of this work was to evaluate the appropriateness of the model representations used and the permissibility of the consideration of the mineral particles in the humus matrix of the soil gels as inert, not interacting with the humus matrix. This can be seen by comparing the experimental data on the variation of soil properties in the chosen conditions and the model representations of the changes of soil gels, filled with various mineral particles, in the same conditions. The article considers the interaction model of the mineral particles with the humus matrix of the soil gels and compares it to the experimental data on the variation of soil properties in the selected conditions. The proposed model and its comparison with the experimental data show the active interaction of mineral particles with the humic matrix and explain the presence of the «structural transition» during hydration and drying out in a number of soils and its absence in the soils enriched by the iron compounds. They also show the reasons of soil gels sheeting and the nature of pop-gel cutan and allow suggesting the existence of the stratified formation mechanism of the gel matrix in the soils.

Keywords: mineral particles, humus matrix, soil gels.

References

1. Tyulin A.F. *Organo-mineral'nye kolloidy v pochve, ikh genezis i znachenie dlya kornevogo pitaniya vysshikh rasteniy* [Organo-mineral colloids in soil, their genesis and value for a root meal of the supreme plants]. Moscow: AN SSSR, 1958. 52 p.

2. Orlov D.S. *Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii* [Gumus acid of a soil and the general theory of a humus strands]. Moscow: MSU, 1990. 325 p.
3. Aleksandrova L.N. *Gumus kak sistema polimernykh soedineniy* [Gumus as system of polymeric connections]. Tr. yub. sessii, posv. stoletiyu so dnya rozhdeniya V.V. Dokuchaeva. Moscow: AN SSSR, 1949. pp. 225–232.
4. Aleksandrova L.N. *Organicheskoe veshchestvo pochvy i protsessy ego transformatsii* [Organic substance of soil and processes of its transformation]. Leningrad.: Nauka, 1980. 288 p.
5. Österberg R., Mortensen K. Fractal dimension of humic acids. A small angle neutron scattering study. *European Biophysics Journal*. 1992. 21(3): 163–167.
6. Österberg R., Mortensen K. Fractal geometry of humic acids. Temperature-dependent restructuring studied by small-angle neutron scattering. Humic substances in the global environment and implication on human health. Ed. by N. Senesy, T. Miano. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 256–257.
7. Österberg R., Mortensen K.M., Ikai A. Direct observation of humic acid clusters, a nonequilibrium system with fractal structure. *Naturwissenschaften*. 1996. № 82. p. 137–139.
8. Fedotov G.N., Tret'yakov Yu.D., Ivanov V.K., Putlyaev V.I., Kuklin A.I., Islamov A.Kh., Garshev A.V., Pakhomov E.I. *Fraktal'nye struktury kolloidnykh obrazovaniy v pochvakh* [Fraktal structure of kolloid formations in soil]. *Doklady Akademii nauk*, 2005. V. 404. № 5. –p. 638–641.
9. Fedotov G.N., Dobrovolskiy G.V. *Kolloidno-khimicheskaya model' dlya opisaniya nekotorykh pochvennykh protsessov* [Kolloid-chemical model for the description of some soil processes]. *Pochvovedenie* [Soil science], 2006. № 5. pp. 535–545.
10. Fedotov G.N., Dobrovolskiy G.V. *Vozможные пути формирования наноструктур в почвенных гелях* [Possible directions of formation nanostructure in soil gels]. *Pochvovedenie* [Soil science], 2012. № 8. pp. 908–920.
11. Fedotov G.N., Dobrovolskiy G.V. *Gumus kak osnova kolloidnoy sostavlyayushchey pochv* [Gumus as a basis of kolloid making of soil]. *Doklady Akademii nauk*, 2007. T. 415. № 6. pp. 767–771.
12. Piccolo, A. The Supramolecular Structure of Humic Substances. *Soil Science*. 2001. 166(11). pp. 810–832.
13. Milanovskiy, E.Yu. *Gumusovye veshchestva pochv kak prirodnye gidrofobno-gidrofil'nye soedineniya* [Gumus substance of soil as natural water-repellent and water-loving connections] / E.Yu. Milanovskiy. Moscow: GEOS, 2009. 186 p.
14. Fridrikhsberg, D.A. *Kurs kolloidnoy khimii* [Course of kolloid chemistry]. Leningrad: Khimiya [Chemistry], 1984. 368 p.
15. Isaev, V.V. *Sinergetika dlya biologov: vvodnyy kurs* [Synergetics for biologists: an introduction course]. Isaev. Moscow: Nauka. 2005, 158 p.
16. Fedotov, G.N., Tret'yakov Yu.D., Pakhomov E.I., Kuklin A.I., Islamov A.Kh., Pochatkova T.N. *Vliyanie vlazhnosti na fraktal'nye svoystva pochvennykh kolloidov* [Influence of humidity on fractal properties of soil kolloids]. *Doklady Akademii nauk*, 2006. T. 409. № 2. pp. 199–201.
17. Artem'eva, Z.S. *Organicheskoe veshchestvo i granulometricheskaya sistema pochvy* [Organic substance and granulated system of soil]. Moscow: GEOS, 2010. 240 p.
18. Ganzhara, N.F., Borisov B.A. *Gumusoobrazovanie i agronomicheskaya otsenka organicheskogo veshchestva pochv* [Humus formation and an agronomical estimation of organic substance of soil]. Moscow: Agrokonsalt, 1997. 82 p.
19. Ovchinnikova, M.F. *Degradatsiya gumusa (osobennosti proyavleniya v raznykh usloviyakh)* [Degradation of humus (features of display in different conditions)]. Moscow: Tvorcheskiy litsey, 2012. 236 p.
20. Savich V.I., Parakhin N.V., Stepanova L.P., Shishov L.L., Kershens M. *Agronomicheskaya otsenka gumusovogo sostoyaniya pochv* [Agronomical estimation of humus conditions of soil]. T. 2. Orel: OrelGAU, 2001. 205 p.
21. Orlov, D.S., Grishina L.A. *Praktikum po khimii gumusa* [Practical work in chemistry of humus. Studies. manual]. Moscow: MSU, 1981. 272 p.
22. Fedotov G.N., Shoba S.A. *Sushchestvuyushchie predstavleniya o vozможnykh putyakh formirovaniya gumusovykh veshchestv v pochvakh* [Exist of representation about possible directions of formation of humus substances in soil]. *Pochvovedenie*, 2013. № 12. pp. 1523–1529.
23. Fedotov G.N., Tret'yakov Yu.D., Pakhomov E.I., Kuklin A.I., Islamov A.Kh. *Vliyanie temperatury na izmenenie gelevykh struktur pochv* [Influence of temperature on change of gel structures of soil]. *Doklady Akademii nauk*, 2006. V. 407. № 6. pp. 782–784.
24. Fedotov G.N., Shalaev V.S. *Mineral'nye nanochastitsy v gumusovoy matritse pochvennykh geley* [Mineral nanoparticles in humus matrix of soil gels]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2012. № 7 (90). pp. 50–57.
25. Fedotov G.N., Dobrovolskiy G.V., Shoba S.A., Rudometkina T.F., Cherich M.S., Shalaev V.S. *Mikrofaznoe rassloenie v gumusovykh sistemakh* [Microphase stratification in humus systems]. *Doklady Akademii nauk*, 2009. V. 429. № 3. pp. 336–338.
26. Fedotov G.N., Shoba S.A. *Fraktal'nye klastery iz supermolekul gumusovykh veshchestv v pochvakh* [Fraktal clusters from supermolecules of humus substances in soil]. *Doklady Akademii nauk*, 2013. V. 448. № 3. pp. 366–369.
27. Fedotov G.N., Shoba S.A., Khaydapova D.D. *Izuchenie mekhanizma vliyaniya organicheskogo veshchestva na strukturno-mekhanicheskie svoystva pochv* [Studying of the mechanism of influence of organic substance on structurally-mechanical properties of soil]. *Doklady Akademii nauk*, 2014. T. 456. № 1. pp. 121–125.
28. Fedotov G.N., Rudometkina T.F., Shalaev V.S. *Nanostrukturnaya organizatsiya geley razlichnykh tipov, sosushchestvuyushchikh v pochvakh* [Nanostrukturnaya the organization of gels of the various types coexisting in soil]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2011. – № 4. – pp. 176–181.
29. Fedotov G.N., Putlyaev V.I., Rudometkina T.F., Itkis D.M. *Osobennosti nanostrukturnoy organizatsii pochv* [Feature of nanostructure organization of soil]. *Doklady Akademii nauk*, 2008. V. 422. № 6. pp. 767–770.
30. Fedotov G.N., Bystrova O.N., Martynkina E.A. *O nanostrukturnoy organizatsii pochv* [About nanostructure organization of soil]. *Doklady Akademii nauk*, 2009. V. 425. № 4. pp. 492–496.

ЗЕЛЕНый РОСТ КАК НОВЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Н.А. ХУТОРОВА, доц., вед. науч. сотрудник Института системных исследований леса МГУЛ, канд. экон. наук

khutorova@gmail.com

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, 1-я Институтская, д.1, МГУЛ

Рассматривается проблема поиска новых основ хозяйствования, ориентированных на создание низкоуглеродной экономики, формирование предпосылок и точек роста в процессе перехода к зеленой экономике. Для катализации зеленого роста необходима комплексная экологическая модернизация национальной экономики, что, безусловно, требует инвестиции в инновационные проекты, способные создать новые экономические возможности. Представлены основные индикаторы зеленого роста, разработанные международным сообществом. Индикаторы зеленого роста ОЭСР сгруппированы по стратегическим направлениям: переход к низкоуглеродной ресурсосберегающей экономике, сохранение природного капитала, повышение качества жизни людей, а также проведение политики стимулирования экономических возможностей, предоставляемых зеленым ростом. Объективная оценка прогресса зеленого роста производится на основании шести главных индикаторов: углеродоемкость, ресурсоемкость (материалоемкость), производительность с учетом потребностей окружающей среды, индекс природных ресурсов, изменения в землепользовании и растительном покрове и воздействие загрязнения воздуха на здоровье населения. При использовании модели зеленого роста важная роль отводится формированию моделей устойчивого производства и потребления. Отражены основные принципы зеленой экономики и зеленого роста, отмечена возрастающая роль экологического фактора при построении инновационной экономики, а также возможности формирования нового вектора развития российской экономики. В статье отмечено, что переход к «зеленой экономике» связан с многочисленными трудностями и проблемами.

Ключевые понятия: зеленый рост, зеленая экономика, зеленые финансы, экологическая модернизация, устойчивое развитие, экономический рост.

Сегодня перед человечеством стоят новые вызовы. Усугубляющиеся проблемы экологии и угрожающий рост антропогенной нагрузки на экосистему заставляют нас переосмыслить традиционные основы хозяйствования и начать переход к экологически ориентированной экономике. Такой тип экономики уже получил название «зеленой экономики» (green economy), а комплексную стратегию трансформации в зеленую экономику стали называть «зеленым ростом» (greengrowth).

Зеленая экономика уже не новый термин и широко используется для трактовки особого типа развития экономики, при котором основной целью остается повышение благосостояния людей при соблюдении социальной справедливости в условиях снижения антропогенной нагрузки на экосистему. Зеленую экономику необходимо рассматривать в неразрывной связи с концепцией устойчивого развития как национальной, так и глобальной экономики.

Основы зеленой экономики можно выразить в трех главных принципах:

– приоритет природных услуг на национальном и международном уровнях,

– рост занятости населения за счет создания «зеленых» рабочих мест и создание социальной практики,

– использование рыночных механизмов для достижения устойчивого развития.

Зеленый же рост подразумевает комплексную программу стимулирования экономического роста, нацеленную на снижение антропогенного воздействия путем перехода к экологически безопасному, низкоуглеродному и климатически устойчивому развитию путем проведения экологической модернизации экономики, а также социальную практику, от которой зависит благополучие общества.

Зеленый рост должен стать активатором инвестиционных проектов и инновационных открытий, которые лягут в основу устойчивого роста и, несомненно, приведут к возникновению новых экономических возможностей. Фактически зеленый рост можно определить как универсальную стратегию развития, адаптированную к конкретной стране или хозяйствующему субъекту с учетом конкретных различий в природных, человеческих и экономических ресурсах, ориентированную, в первую очередь, на повышение

ресурсоэффективности. В то же время зеленый рост – это фактически комплекс стимулирующих мер, направленных на формирование нового вектора развития отечественной экономики, приоритетами которой являются:

- рост доходов и занятости,
- сокращение выбросов парниковых газов,
- снижение энергоемкости и повышение энергоэффективности,
- повышение эффективности использования природных ресурсов,
- развитие рынка экологических (зеленых) инвестиций в чистые технологии и «природную» инфраструктуру,
- сохранение биоразнообразия и природного богатства,
- развитие рынка экологических товаров и услуг,
- развитие института социальной и экологической ответственности[1].

Для катализации зеленого роста необходима комплексная экологическая модернизация национальной экономики, что, безусловно, требует инвестиций в инновационные проекты, способные создать новые экономические возможности. Экологическая модернизация – это специально разработанная программа проведения технической и технологической модернизации производства товаров и услуг, а также социальная практика, способствующая снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду, реализуемая на международном, национальном и корпоративном уровнях [2].

Концепция «зеленого роста», нацеленная на обеспечение баланса эколого-экономического развития, впервые была представлена в 2005 г. в Сеуле на Конференции министров охраны окружающей среды Азиатско-Тихоокеанского региона[3]. Впоследствии, в разгар мирового экономического кризиса в 2009 г., эта идея нашла продолжение в концепции «Глобальный зеленый новый курс», предложенной Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП)[4]. Практическим результатом применения данной концепции должен стать переход к низкоуглеродной экономике, основанной на социально ответственном ведении

бизнеса и, что особенно важно отметить, на социально ответственном потреблении.

Постепенно концепция зеленого роста стала активно использоваться при формировании национальных программ развития различных стран и поддержана рядом организаций системы ООН, которые также выступили с новыми инициативами, основанными на «зеленом» росте и переходе к «зеленому росту»[5].

Инициативы зеленой экономики (GEI) (GreenEconomyReport. Навстречу «зеленой» экономике: пути к устойчивому развитию и искоренению бедности), проводимые Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) с 2008 г., объединяют больше 20 учреждений ООН для продвижения инвестиций в зеленых секторах и реализуются почти в 30 странах. С 2011 г. ЮНЕП на регулярной основе готовит и выпускает доклад «Зеленая экономика: пути, ведущие к устойчивому развитию и искоренению нищеты» [6, 7]. Аналитические отчеты еще раз доказывают, что принципы зеленой экономики находят свое применение в развитых странах, а также могут служить катализатором роста и борьбы с бедностью в развивающихся странах. Международное экспертное сообщество в лице Статистического подразделения ООН (UNSD), Всемирного банка (WB), Европейского статистического агентства (EUROSTAT), Европейского агентства по окружающей среде (EEA), Международного энергетического агентства уже разработали общий набор ключевых индикаторов для оценки состояния зеленой экономики, что позволяет объективно оценить прогресс зеленых инициатив и проектов в различных странах. [9].

Первой страной, которая объявила реализацию концепции «зеленого» роста в качестве национальной стратегии, стала Республика Корея. Основное внимание уделено трем элементам: промышленности, энергетике и инвестициям. Стратегия нацелена:

- на сохранение масштабов экономической деятельности в условиях тотального ресурсо- и энергосбережения;
- снижение нагрузки на окружающую среду;

– стимулирования инвестиций в природоохранную деятельность как движущую силу экономического роста.

Роль и место Республики Корея в современной мировой экономике весьма внушительно и почетно, особенно поражают темпы экономического роста последних лет и укрепление позиций мирового высокотехнологичного лидера даже в условиях стагнации мировой экономики. Несомненно, успех был обеспечен в том числе и за счет использования механизмов и инструментов зеленого роста. Корея, как и многие страны, в период кризиса приняла государственные программы поддержки и стимулирования экономики, рассчитанные до 2012 г., по которым было выделено 38,1 млрд долл. США и 80,5 % от этой суммы было направлено на проекты зеленого роста [10]. Сегодня список стран, проводящих политику зеленого роста, активно растет, задействованы страны со всех континентов разного уровня развития и благосостояния (Report Global Green Growth Forum 21-22 October 2013, Copenhagen Improving Resource Efficiencies in the Value Chain). Многие страны используют различные инструменты «зеленого роста» в своей национальной политике и стратегиях развития.

Отрадно отметить, что о необходимости «зеленого» роста все чаще говорят и в России, в том числе на высоком политическом уровне, что приобретает все большую актуальность в условиях усиления политики изоляции и ограничительных санкций против Российской Федерации. Одним из важных шагов на пути к построению зеленой экономики стало подписание в 2012 г. «Основ государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 г.» [11]. Стратегия содержит четко прописанную стратегическую цель и принципы государственной политики в области экологического развития, а также формулировку задач, направленных на обеспечение экологически ориентированного роста экономики и внедрение экологически эффективных инновационных технологий, предотвращение и снижение текущего негативного воздействия на ок-

ружающую среду, сохранение природной среды, в том числе естественных экологических систем, развитие экономического регулирования и рыночных инструментов охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, формирование экологической культуры, развитие экологического образования и воспитания.

При решении задачи развития экономического регулирования и рыночных инструментов охраны окружающей среды используются разнообразные механизмы, особо выделить необходимо следующие:

а) установление платы за негативное воздействие на окружающую среду с учетом затрат, связанных с осуществлением природоохранных мероприятий;

б) замена практики взимания платы за сверхлимитное загрязнение окружающей среды на практику возмещения вреда, причиненного окружающей среде;

в) стимулирование предприятий, осуществляющих программы экологической модернизации производства и экологической реабилитации соответствующих территорий, а также обеспечение широкого применения государственно-частного партнерства по оздоровлению экологически неблагополучных территорий, ликвидации экологического ущерба;

г) формирование рынка экологичной продукции, технологий и оборудования, а также природоохранных услуг;

д) осуществление поддержки технологической модернизации, обеспечивающей уменьшение антропогенной нагрузки на окружающую среду, неистощительное использование возобновляемых и рациональное использование невозобновляемых природных ресурсов;

е) развитие рыночных инструментов охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности;

з) стимулирование привлечения инвестиций для обеспечения рационального и эффективного использования природных ресурсов, уменьшения негативного воздействия на окружающую среду, производства экологически чистой продукции, внедрения ресур-

сосберегающих технологий; проведения экологического аудита;

к) повышение экологической и социальной ответственности бизнеса;

л) стимулирование деятельности по использованию отходов в качестве вторичного сырья и энергоносителей;

м) государственное регулирование ввоза в РФ оборудования и технологий, не соответствующих экологическим требованиям, в том числе международным [11].

При решении задачи научного и информационно-аналитического обеспечения охраны окружающей среды и экологической безопасности используются следующие механизмы:

а) расширение комплексных фундаментальных и прикладных исследований в области прогнозирования угроз экологического характера, а также негативных последствий, связанных с изменением климата;

в) стимулирование проведения НИОКР в области охраны окружающей среды, ресурсосбережения и обеспечения экологической безопасности [11].

Еще одним важным документом в ходе разработки стратегии зеленого роста российской экономики стал доклад «Стратегия-2020: Новая модель роста — новая социальная политика», который был подготовлен группой высококомпетентных экспертов и опубликован в марте 2012 г. Там подчеркивается, что содержание федеральной политики в области экологического развития страны должна составить стратегия «зеленого» роста, предусматривающая интеграцию социально-экономического и экологического развития в виде «зеленой» экономики [12].

Аналогичные программы и концепции уже разработаны и предложены к реализации участниками Таможенного союза, особо стоит отметить комплексную программу «Зеленый мост» в Казахстане (http://gbpp.org/wp-content/uploads/2014/04/Green_Concept_En.pdf) и ряд программных документов в Беларуси (<http://www.uncsd2012.org/content/documents/793Belarus%20National%20Report%20on%20SD%20Rus.pdf>), что позволяет разрабатывать совмес-

тные индикаторы и требования для товаров и услуг, реализуемых в рамках этого объединения [13, 14]. Вообще стоит отметить, что во всех странах-участницах Евразийской экономической комиссии (Евразийская экономическая комиссия (ЕЭК), постоянно действующий регулирующий орган Таможенного союза и Единого экономического пространства, начала функционировать со 2 февраля 2012 г.) (ЕЭК) большое внимание уделяется продвижению инструментария зеленого роста, что приобретает особую значимость в современных реалиях.

Современное состояние российской экономики, фактическая рецессия и нарастающие санкции западных стран вынуждают искать новые схемы привлечения финансовых ресурсов и построения производственных цепочек, что открывает новые возможности для стимулирования экономического роста путем использования инструментов зеленого роста. В этом контексте речь, в первую очередь, идет о программах развития агропромышленного комплекса для обеспечения продовольственной и в целом национальной безопасности России. Сегодня для российских аграриев создана уникальная возможность ускоренного роста за счет снижения давления американских и европейских экспортеров, а удовлетворение потребностей в техническом перевооружении также должно отразиться синергетическим эффектом на отечественных предприятиях машиностроения и металлургии. Огромное позитивное значение в этом процессе играет создание новых зеленых рабочих мест в результате проведения экологической модернизации предприятий промышленности и сельского хозяйства и подготовки высококвалифицированных рабочих кадров, способных вести «зеленый бизнес».

Оценить процесс «озеленения» экономики возможно посредством состояния зеленых индикаторов или отдельных показателей. Так, например, в России выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, отходящих от стационарных источников, в I полугодии 2014 г. составили 8,7 млн т, что на 6,8 % меньше, чем в I полугодии 2013 г. [14]. Это положительный момент, причем, лидером по

снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу стали традиционно нефтяные регионы России. Наибольшее снижение объема выбросов загрязняющих атмосферу веществ отмечено в Тюменской области на 20,3 % от уровня I полугодия 2013 г., в том числе в Югре – на 23,2 %. Всего в I полугодии 2014 г. отмечено снижение выбросов загрязняющих атмосферу веществ в 57 субъектах Российской Федерации, на долю которых приходится 79,7 % общего объема выбросов [16]. Такие изменения вполне можно рассматривать как результат проведения мероприятий по модернизации технологических производств и внедрения инноваций, но также может свидетельствовать о простом снижении добычи углеводородов и других видов активности в связи с замедлением темпов роста экономики. Качественную оценку зеленого роста следует базировать на показателях развития инновационных секторов и темпах внедрения зеленых инноваций в производство. Так, стоимостная оценка инновационных това-

ров, работ, услуг, вновь внедренных или под-вергавшихся значительным технологическим изменениям в течение последних трех лет, в целом по РФ по видам экономической деятельности выросла почти в три раза с 778 млрд руб. в 2010 г. до 2,007 трлн руб. в 2012 г., причем основная доля пришлась на обрабатывающие производства (1,44 трлн руб.) [17]. Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг вырос с 4,8 % в 2010 г. до 8 % в 2012 г., и также наблюдается стремительный рост этого показателя на обрабатывающих производствах [16].

В таблице представлен список стран-лидеров по количеству запатентованных открытий в области охраны окружающей среды в период 2007–2009 гг. Как видно, Россия пока еще занимает достаточно скромное 22-е место в этом списке, а также важно отметить, что на долю первой десятки приходится 78,6 % всех инновационных открытий. Именно эти страны и лидируют в процессах построения зеленой экономики [18].

Еще одним интересным показателем зеленого роста является доля зеленых инноваций в общем количестве инноваций. Так, среди европейских стран несомненным лидером является Швеция с долей 75 %, далее следуют Нидерланды и Эстония с долей 50 % [9]. В среднем в странах ОЭСР в период с 2008 по 2012 г. около 7 % всех научных исследований и разработок было профинансировано государством [9].

В вопросах развития международного сотрудничества в области коммерциализации квот на выбросы и других единиц экономических механизмов Киотского протокола Россия имеет только 10 %-ю долю соглашений, в то время как доля Китая составила 25 %, Индии и Бразилии по 17 % [19]. Важное место в концепции зеленого роста отведено финансовым механизмам и инструментам формирования ресурсной базы, список которых постоянно расширяется. Большинство респондентов из всех стран мира отмечают, что основным барьером интенсификации зеленого роста остается нехватка финансовых ресурсов и слабый уровень развития сектора зеленых финансов.

Т а б л и ц а

Страны-лидеры по количеству запатентованных открытий в области охраны окружающей среды [18]
Leading countries in the number of patented inventions in the field of environment [18]

Место	Страна	Доля страны в общем количестве запатентованных открытий в области охраны окружающей среды (2007–2009)*, %
1	США	19,0
2	Германия	18,7
3	Япония	17,5
4	Южная Корея	5,6
5	Франция	4,8
6	Великобритания	3,6
7	Италия	3,4
8	Канада	2,7
9	Китай	1,7
10	Нидерланды	1,6
Всего первые 10 стран		78,6
18	Тайвань	0,9
21	Индия	0,7
22	РОССИЯ	0,5
25	Бразилия	0,4
31	ЮАР	0,2

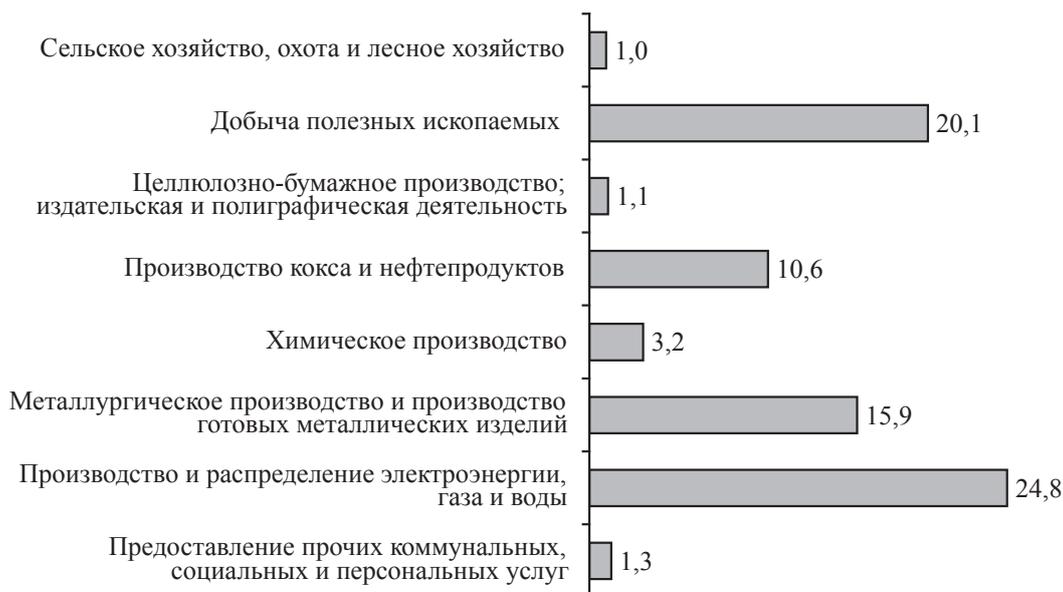


Рис. 1. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, по отдельным видам экономической деятельности в 2012 г. (млрд руб.) [16]

Fig. 1. Fixed capital investments aimed at environmental protection and rational use of natural resources by economic activity in 2012 (billion rubles). [16]



Рис. 2. Текущие затраты на охрану окружающей среды по отдельным видам экономической деятельности в 2012 г. (млрд руб.) [16]

Fig. 2. Current costs for environmental protection for certain types of economic activity in 2012 (billion rubles). [16]

Для России эта проблема также является основной. Так, инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, в 2012 г. составили около 80 млрд руб., распределение по отдельным видам эконо-

мической деятельности представлено на диаграмме рис. 1 [16].

В тот же период текущие затраты на охрану окружающей среды по направлениям природоохранной деятельности в 2012 г. составили 248 млрд руб., причем на охрану

атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата, сбор и очистку сточных вод и на обращение с отходами было направлено 47,1 млрд руб., 131,0 млрд руб. и 45,3 млрд руб. соответственно. Распределение текущих затрат на охрану окружающей среды по отдельным видам экономической деятельности в 2012 г. представлено на рис. 2 [16].

При использовании модели зеленого роста важная роль отводится формированию моделей устойчивого производства и потребления. Сегодня менеджмент промышленных и производственных компаний придает огромное значение усовершенствованию производственных процессов и формированию модели ответственного потребителя. Под ответственным потреблением стоит понимать широкий набор поведенческих особенностей простых граждан: это сортировка мусора, обязательная утилизация особых видов отходов, следование концепции «умный дом», «умный офис», «умный транспорт», энергосбережение и ресурсосбережение на всех этапах потребления и много другого.

Переход на зеленый путь развития требует особого внимания к инфраструктуре, и, как показывает практика, именно инфраструктурные проекты должны осуществляться с использованием самых передовых инновационных технологий и материалов, создавая при этом новую среду и социальную практику для граждан. Таким образом, формируется социально ответственный «зеленый бизнес», ориентированный на использование возобновляемых природных ресурсов, выпуск экологически чистой продукции, использование малоотходных и ресурсосберегающих технологий.

Как правило, компании, реализующие политику «зеленого бизнеса», имеют положительный имидж на национальных и мировых рынках, их продукция отличается высокой технологичностью и, следовательно, конкурентоспособностью.

Развитию зеленого бизнеса способствуют также разнообразные формы государственно-частного партнерства, в т.ч. «экологического партнерства», которые в настоящее время активно развиваются и находят подде-

ржку у частных и общественных институтов. В целом можно утверждать, что зеленый бизнес и ответственное потребление являются основополагающими элементами в повышении благосостояния населения и защиты окружающей среды.

Таким образом, основной задачей проведения политики «зеленого роста» является подготовка национальной экономики к переходу на траекторию устойчивого развития, достижение которого требует в современных условиях незамедлительного отказа от экстенсивного использования природных ресурсов и поиска более прогрессивных и инновационных моделей хозяйствования.

В то же время нельзя утверждать, что переход к зеленому росту будет легким и быстрым. Стратегия зеленого роста признает, что положительные результаты могут быть достигнуты только в определенных пределах при существующих технологиях производства и поведении потребителей. Сегодня достаточно сложно провести количественную и качественную оценку стоимости перехода на зеленую экономику, но однозначно можно утверждать, что, помимо финансовых вложений, требуется перестройка сознания и мышления как производителей, так и потребителей.

Не существует какого-либо универсального плана или программы для перехода к «зеленой экономике». Программы должны быть разработаны в соответствии с индивидуальными характеристиками национальной экономики, приоритетами ее развития, конкурентными преимуществами, природным капиталом, уровнем экономического развития и эффективностью деятельности национальной, политической и социальной сферы. При этом необходимо принимать во внимание и адаптировать уже наработанную международным сообществом методологическую базу оценки степени «озеленения» экономики в виде индикаторов состояния всех сфер национальной экономики и перспективных направлений развития. В этом случае инновации, безусловно, играют ведущую роль в процессе трансформации к зеленому росту, поскольку прерывают зави-

симось экономического роста и истощения природного капитала.

Уже не вызывает сомнений, что за счет активного использования механизмов и инструментов зеленого роста возможно ускорить темпы экономического роста и создать основы для формирования нового вектора развития российской экономики в целом.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Стратегия перехода к зеленой экономике. http://gbpp.org/wp-content/uploads/2014/04/Green_Concept_En.pdf
2. Хуторова Н.А. Экологическая модернизация – от теории к практике / Н.А. Хуторова // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник, 2013. – № 7.
3. A Guidebook to the Green Economy. Issue 4: A guide to international green economy initiatives. United Nations Division for Sustainable Development, UNDESA. 2013. Режим доступа: <http://sustainabledevelopment.un.org/index.php?menu=1516>.
4. Глобальный зеленый новый курс. Доклад Программы ООН по окружающей среде 2009 г. Режим доступа: http://www.uncclearn.org/sites/www.uncclearn.org/files/inventory/UNEP90_RUS.pdf.
5. ESCAP Energy Resources Development Series No. 41 Low-carbon Development Path for Asia and the Pacific: Challenges and Opportunities to the Energy Sector United Nations publication Copyright © United Nations 2010 <http://www.unescap.org/sites/default/files/Series-No-41.pdf>.
6. Green Economy Report. Навстречу «зеленой» экономике: пути к устойчивому развитию и искоренению бедности 739с. ЮНЕП, 2011 г. Режим доступа: <http://www.unep.org/greenconomy/GreenEconomyReport>.
7. Курс на зеленый рост. Резюме для лиц, принимающих решения. <http://www.oecd.org/greengrowth/48634082.pdf>.
8. Green growth indicators: A practical approach for Asia and the Pacific 26p. http://www.unescap.org/sites/default/files/GGI_2014.pdf.
9. OECD Green Growth Studies Green Growth Indicators 2014 p.147 <http://www.enviroportal.sk/uploads/files/Zeleny%20rast/OECDGG.pdf>.
10. Бобылев, Н. Переход к зеленой экономике в контексте устойчивого развития. 2010 г. / Н. Бобылев. Access mode: <http://mei.ru/wp-content/uploads/2013/10/SustainableRussia-WEB11.pdf>.
11. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 г. <http://kremlin.ru/acts/15177>.
12. Стратегия 2020: Новая модель роста – новая социальная политика. Итоговый доклад о результатах экспертной работы по актуальным проблемам социально-экономической стратегии России на период до 2020 г. 864с. <http://strategy2020.rian.ru/>.
13. Программа «Зеленый мост». <http://strategy2050.kz/ru/news/1158/>
14. Устойчивое развитие республики Беларусь на принципах «зеленой» экономики. <http://www.uncsd2012.org/content/documents/793Belarus%20National%20Report%20on%20SD%20Rus.pdf>.
15. Федеральная служба государственной статистики. Основные показатели охраны окружающей среды – 2013 г. http://www.gks.ru/bgd/regl/b_oxr13/Main.htm.
16. Федеральная служба государственной статистики. Технологическое развитие отраслей экономики – 2013 г. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/economydevelopment/#.
17. Matthieu Glachant Greening Global Value Chains: Innovation and the International Diffusion of Technologies and Knowledge. May 2013г. наука, инновации <http://www.greengrowthknowledge.org/node/4860/>.
18. Patents and clean energy: bridging the gap between evidence and policy. Final report UNEP, EPO and ICTSD 2010. <http://www.greengrowthknowledge.org/resource/patents-and-clean-energy-bridging-gap-between-evidence-and-policy>.
19. Доклад о развитии человеческого капитала в РФ 2011г. 150 с. <http://www.undp.ru/documents/nhdr2011rus.pdf>.
20. Порфирьев, Б. «Зеленая» экономика: реалии, перспективы и пределы роста / Б. Порфирьев. http://carnegieendowment.org/files/WP_Porfiriev_web.pdf.
21. Навстречу «зеленой» экономике России (Обзор) 2012г. http://www.sustainabledevelopment.ru/upload/File/Reports/ISD_UNEP_GE_Rus.pdf.

GREEN GROWTH AS A NEW POLICY DIRECTION FOR RUSSIAN ECONOMIC DEVELOPMENT

Khutorova N.A., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Economic)

khutorova@gmail.com

Moscow State Forest University (MSFU), 1stInstituskayast., 1, 141005, Mytishchi, Moscow region, Russia

The paper discusses the issue of a search for the new development direction, which should be focused on the creation of low-carbon economy, formation of prerequisites and growth points in the course of transition to the green economy. The green growth is about fostering economic growth and development while ensuring that the natural assets continue to provide the resources and environmental services on which our well-being relies. To do this it must catalyze investment and innovation, which will underpin the sustained growth and give rise to the new economic opportunities. The main indicators of the green

growth developed by the international community are provided in the article. The indicators of the green growth of OECD are grouped in the strategic directions: the transition to the low-carbon and resource-saving productivity, the increase in economic and environmental assets, environmental quality of life, economic opportunities and policy responses. The objective assessment of the green growth progress can be made on the basis of the main indicators describing the socio-economic context and the characteristics of the growth. A few headline indicators have been selected to facilitate communication with policy makers, the media and citizens. The basic principles of the green economy and the green growth are reflected in the article. The article shows the increasing role of an ecological factor in the process of creating the innovative economy. It is important to note that the green growth is a new political direction for the Russian economic development. To show the rating of the green growth we should use the indicators of innovative sectors development and green innovations introduction rates in production. The article notes that the transition to the «green economy» has numerous difficulties and problems.

Keywords: green growth, green economy, green finance instruments, ecological modernization, sustainable development, low-carbon economy.

References

1. *Strategiyaperekhoda k zelenoyekonomike* [The strategy of transition to the green economy] Available at: http://gbpp.org/wp-content/uploads/2014/04/Green_Concept_En.pdf
2. Khutorova N.A. *Ekologicheskaya modernizatsiya – ot teorii k praktike* [Ecological modernization – from theory to practice]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. № 7. 2013.
3. A Guidebook to the Green Economy. Issue 4: A guide to international green economy initiatives. United Nations Division for Sustainable Development, UNDESA. 2013 Available at: <http://sustainabledevelopment.un.org/index.php?menu=1516>
4. *Global'nyy zelenyy novyy kurs. Doklad Programmy OON po okruzhayushchey srede 2009 g* [Global green trend UN's report] Available at: http://www.unclearn.org/sites/www.unclearn.org/files/inventory/UNEP90_RUS.pdf
5. ESCAP Energy Resources Development Series No. 41 Low-carbon Development Path for Asia and the Pacific: Challenges and Opportunities to the Energy Sector United Nations publication Copyright © United Nations 2010. Available at: <http://www.unescap.org/sites/default/files/Series-No-41.pdf>
6. Green Economy Report. Navstrechu «zelenoy» ekonomike: puti k ustoychivomurazvitiyuiiskoreneniyubednosti 739 p. UNEP, 2011 [GreenEconomyReport] Available at: <http://www.unep.org/greeneconomy/>
7. *Kurs na zelenyy rost. Rezyume dlya lits, primayushchikh resheniya* [Green growth trend] Available at: <http://www.oecd.org/greengrowth/48634082.pdf>
8. Green growth indicators: A practical approach for Asia and the Pacific 26p. Available at: http://www.unescap.org/sites/default/files/GGI_2014.pdf
9. OECD Green Growth Studies Green Growth Indicators 2014 p. 147 Available at: <http://www.enviroportal.sk/uploads/files/Zeleny%20rast/OECDGG.pdf>
10. N. Bobylev *Perekhod k zelenoyekonomike v konteksteustoychivogorazvitiya. 2010.* [Transition to the green economy in the terms of sustainable development]. Available at: <http://rnei.ru/wp-content/uploads/2013/10/SustainableRussia-WEB11.pdf>
11. *Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossii na period do 2030 goda* [The base of governmental policy in the field of ecological development] Available at: <http://kremlin.ru/acts/15177>
12. *Strategiya 2020: Novaya model' rosta – novaya sotsial'naya politika. Itogovyy doklad o rezul'tatakh ekspertnoy raboty po aktual'nyim problemam sotsial'no-ekonomicheskoy strategii Rossii na period do2020 . 864 p.* [Strategy 2020 New model for growth]. Available at: <http://strategy2020.rian.ru/>
13. *Programma «Zelenyy most»* [Green Bridge. Strategy for Kazakstan] Available at: <http://strategy2050.kz/ru/news/1158/>
14. *Ustoychivoe razvitie respubliki Belarus' na printsipakh «zelenoy» ekonomiki.* [Sustainable development in terms of green economy for Belorussia] Available at: http://www.uncsd2012.org/content/documents/793Belarus%20National%20Report%20on%20SD%20_Rus.pdf
15. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Osnovnye pokazateli okhrany okruzhayushchey sredy – 2013.* [Federal State Statistics Service Environment indicators 2013] Available at: http://www.gks.ru/bgd/regl/b_oxr13/Main.htm
16. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Tekhnologicheskoe razvitie otrasley ekonomiki – 2013* [Federal State Statistics Service Production indices by economic activity 2013] Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/economydevelopment/#
17. Matthieu Glachant *Greening Global Value Chains: Innovation and the International Diffusion of Technologies and Knowledge.* May 2013 Available at: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/1W3P/IB/2013/05/30/000158349_20130530083155/Rendered/PDF/WPS6467.pdf
18. Patents and clean energy: bridging the gap between evidence and policy. Final report UNEP, EPO and ICTSD 2010 Available at: <http://www.greengrowthknowledge.org/resource/patents-and-clean-energy-bridging-gap-between-evidence-and-policy>.
19. *Doklad o razvitiy chelovecheskogo kapitala v RF 2011. 150 p.* [Human resources report in Russia] Available at: <http://www.undp.ru/documents/nhdr2011rus.pdf>
20. B. Porfir'ev, «Zelenaya» ekonomika: realii, perspektivy i predely rosta [green economy: realty, perspectives, growth limits] Available at: http://carnegieendowment.org/files/WP_Porfiriev_web.pdf
21. *Navstrechu «zelenoy» ekonomike Rossii (Obzor) 2012g.* [To the Russian green economy. Review] Available at: http://www.sustainabledevelopment.ru/upload/File/Reports/ISD_UNEP_GE_Rus.pdf.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

В.И. ЗАПРУДНОВ, проф. каф. геодезии и строительного дела МГУЛ, д-р техн. наук,
Н.Б. ПИНЯГИНА, проф. каф. экономики и управления МГУЛ, д-р экон. наук,
Н.С. ГОРШЕНИНА, доц. каф. экономики и управления МГУЛ, канд. экон. наук

zaprudnov@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Представлен подробный анализ основных показателей и финансовых результатов деятельности отраслей лесопромышленного комплекса. Результаты представленного исследования подтверждают, что замедление темпов роста российской экономики является сдерживающим фактором, ограничивающим развитие отраслей лесопромышленного комплекса. На основе аналитического обзора выявлены причины кризисной ситуации и пути их решения. Серьезное внимание уделено внешнеэкономической деятельности отраслей, так как лесопромышленный комплекс до настоящего времени остается экспортно-ориентированным и более 70 % продукции отправляется на экспорт. В связи с этим, особое внимание необходимо уделить увеличению реального роста внутреннего потребления лесопроизводства. Еще одна проблема возникает вследствие необходимости совершенствования инвестиционной политики и общей стратегии инвестиционной деятельности с целью увеличения объемов финансирования и рационального распределения их по отраслям лесопромышленного комплекса. Для принятия решений по инвестициям рассмотрен выбор источников финансирования по отраслям лесопромышленного комплекса. Важно подчеркнуть, что инвестиционный климат в стране не стал более благоприятным и действенных мер по созданию новых мощностей по-прежнему не предпринимается. Все развитие идет за счет собственных средств действующих предприятий, а их в условиях кризиса становится все меньше. Что касается строительства новых предприятий, реальных шансов на реализацию инвестиционных проектов пока не просматривается. Убедительным примером этого являются два новых проекта ЦБК в Красноярском крае, включенных в перечень приоритетных проектов, но не реализованных. На основании аналитического обзора сформулированы выводы и намечены пути выхода из кризисной ситуации. Так, потребность в преодолении стагнации ведет к поиску нетрадиционных путей, открывающих инновационные возможности для получения принципиально новых продуктов с высокой добавленной стоимостью на базе биорефининга. В связи с этим, значительно усилена роль Технологических Платформ и уделено внимание изысканию финансовых ресурсов для организации научно-инновационного развития лесопромышленного производства на базе адаптации существующих передовых биотехнологий, а также разработки, масштабирования и последующей коммерциализации новых отечественных биотехнологий. Очевидно, что реализация предложенных мер, включая конкретные проекты, может стать начальным этапом вхождения отечественного лесопромышленного комплекса в мировую биоэкономику только при активном и заинтересованном участии отраслевых бизнес-структур.

Ключевые слова: лесопромышленный комплекс, аналитический обзор, научно-инновационное развитие.

На сегодняшний день в целом по стране отмечено замедление темпов экономического развития. Так, валовой внутренний продукт, по данным Росстата, в 2013 г. достиг 66,7 трлн руб. и составил 101,3 % к уровню 2012 г., в то время как валовой внутренний продукт 2012 г. к уровню 2011 г. – 103,4 %, что свидетельствует о негативной тенденции данного показателя. Индекс промышленного производства в 2013 г. составил 100,3 %. В 2012 г. индекс промышленного производства увеличился к уровню 2011 г. на 2,6 % (рис. 1). Цены на промышленные товары возросли на 3,4 % в сравнении с 2012 г.

Замедление темпов роста российской экономики является сдерживающим фактором, ограничивающим развитие отраслей лесопромышленного комплекса. Производство целлюлозно-бумажной продукции в 2013 г. снизилось на 4,3 %. В целом по деревообра-

батывающей отрасли объемы производства увеличились на 1,4 %.

Индекс производства по виду деятельности «Обрабатывающие производства» в 2013 г. по сравнению с 2012 г. составил 100,1 %, в том числе в декабре 2013 г. – 101,6 % к уровню декабря 2012 г., следовательно, индексы обрабатывающих производств демонстрируют тенденцию к понижению на протяжении нескольких последних лет (рис. 2).

По большинству видов продукции в обрабатывающих отраслях в 2013 г. произошло снижение темпов производства в сравнении с 2012 г. (табл. 1) [1].

Аналогичная ситуация наблюдается в производстве продукции по виду «Лесозаготовки» (табл. 2). Так, индекс производства по виду «Лесозаготовки» в 2013 г. по сравнению с 2012 г. составил 97,2 %, в том числе 96,5 % в декабре 2013 г. к декабрю 2012 г. [1].

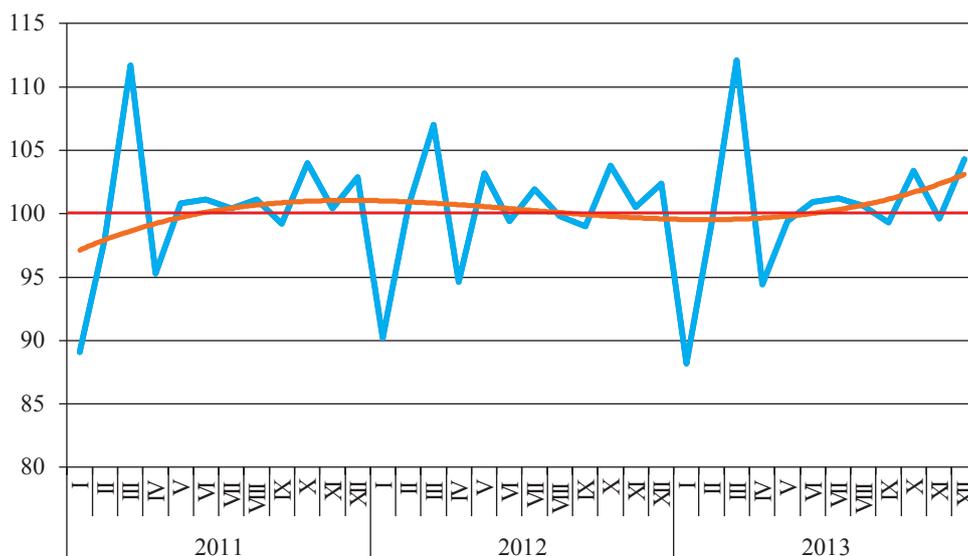


Рис. 1. Индекс промышленного производства, % к соответствующему месяцу предыдущего года
 Fig. 1. Industrial Production Index,% to the corresponding month of the previous year

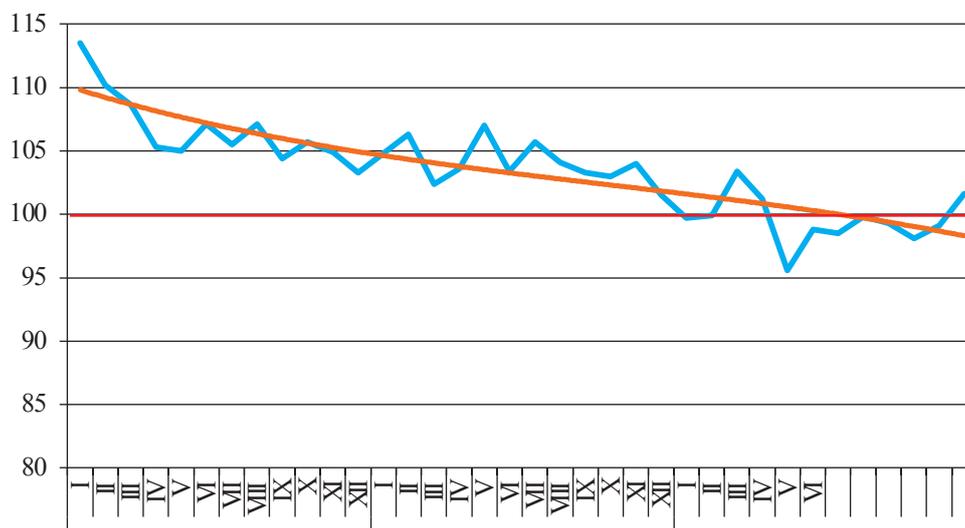


Рис. 2. Индекс производства по виду «Обрабатывающие производства», % к соответствующему месяцу предыдущего года
 Fig. 2. The index of production on «Manufacturing»,% to the corresponding month of the previous year

Более подробно остановимся на обзоре производства целлюлозно-бумажной продукции как одной из основных сфер деятельности лесопромышленного комплекса (табл. 3, 4) [1, 21].

В прошедшем году была прекращена производственная деятельность ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат», единственного предприятия в стране, выпускавшего целлюлозу растворимых сортов. По экономическим и финансовым причинам остановлен ОАО «Соломбальский ЦБК», по тем же причинам значительно снижены

объемы производства на ОАО «Кондопога», ОАО «Селенгинский ЦБК».

ЗАО «Интернешнл Пейпер», филиал ОАО «Группа «Илим» в г. Коряжме, Сегежский и Енисейский ЦБК, ОАО «Волга», «Пермский картон» и ряд других предприятий увеличили объемы за счет повышения уровня загрузки производственных мощностей. В целом на большинстве предприятий отрасли принимались вынужденные решения по ограничению производства из-за снижения спроса на выпускаемую продукцию.

Т а б л и ц а 1

Производство продукции по виду «Обработка древесины и производство изделий из дерева»
Production by type of «Manufacture of wood and of products of wood»

Виды продукции	2013	в % к 2012	Декабрь 2013	В % к	
				декабрю 2012	ноябрю 2013
Распиловка и строгание древесины; пропитка древесины	–	97,7	–	108,7	114,5
Лесоматериалы, продольно распиленные или расколотые, разделенные на слои или лущеные, толщиной более 6 мм; шпалы железно-дорожные или трамвайные деревянные, непропитанные, млн м ³	21,0	99,8	1,9	112,3	118,3
Щепа технологическая для производства целлюлозы и древесной массы, тыс. плотн.м ³	4177	92,0	305	83,4	90,2
Щепа топливная, плотн. тыс. м ³	482	120,8	48,8	118,6	112,9
Производство шпона, фанеры, плит, панелей		100,9		103,5	105,6
фанера клееная, состоящая только из листов древесины, тыс. м ³	3304	103,9	279	104,9	111,4
плиты древесно-стружечные и аналогичные плиты из древесины и других одревесневших материалов, тыс. усл. м ³	6657	98,9	595	104,8	99,8
плиты древесно-волокнистые из древесины или других одревесневших материалов, млн усл. м ²	419	90,3	36,5	95,8	103,6
Производство деревянных строительных конструкций, включая сборные деревянные строения, и столярных изделий	–	110,0	–	112,4	95,2
Производство деревянной тары	–	97,8	–	93,7	100,7
Производство топливных гранул, тыс. т	683,8	80,7	–	–	–

Т а б л и ц а 2

Производство продукции по виду «Лесозаготовки»
Production by type «Logging»

Виды продукции	2013	В % к 2012	Декабрь 2013	В % к	
				декабрю 2012	ноябрю 2013
Древесина необработанная, млн плотн. м ³ , в т. ч.:	114,4	96,7	–	–	–
– бревна хвойных пород	69,7	96,7	7,7	95,4	150,8
– бревна лиственных пород	21,9	100,7	2,8	102,1	181,6
– древесина топливная	14,1	89,5	2,1	88,3	178,1
– древесина необработанная (включая жерди и колья) прочая	8,8	99,5	1,4	98,3	164,7

Т а б л и ц а 3

**Объемы производства целлюлозы, массы древесной,
получаемой механическим способом**
Volumes of production of cellulose, wood pulp obtained by mechanical means

Виды продукции, тыс. т	2013	2012	+	2013 / 2012, %	Уд. вес, %
Целлюлоза древесная и целлюлоза из прочих волокнистых материалов в т.ч.:	7 200,0	7 656,3	–456,3	94,0	100,0
– целлюлоза древесная, растворимые сорта	29,4	79,5	–50,1	37,0	0,4
– целлюлоза древесная сульфатная, кроме растворимых сортов	4 773,8	4 988,6	–214,8	95,7	66,3
– целлюлоза древесная сульфитная, кроме древесных пород	305,6	333,1	–27,5	91,7	4,2
– масса древесная, получаемая механическим способом; полуцеллюлоза древесная; целлюлоза из прочих волокнистых материалов	2 091,2	2 255,1	–163,9	92,7	29,0

**Производство, экспорт, импорт и внутреннее потребление
целлюлозно-бумажной продукции в 2012–2013 гг.
Manufacture, import, export and domestic consumption of pulp and paper products in 2012-2013**

Наименование продукции	Производство		Экспорт		Импорт		Потребление		2013 / 2012, %
	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	
Целлюлоза товарная, тыс. т	2 060,7	2 331,5	1803,0	2003,3	137,0	104,5	394,7	432,7	91,2
Бумага и картон, всего, тыс. т	7 741,0	7 773,2	2360,1	2306,6	2162,2	2094,7	7543,1	7561,3	99,8
Бумага газетная, тыс. т	1 584,7	1 815,6	1039,7	1220,6	5,8	4,5	550,8	599,5	91,9
Картон, всего, тыс. т	3 024,6	3 009,0	–	–	–	–	–	–	–
Бумага и картон в расчете на душу населения, кг	53,9	54,2	16,4	16,1	15,1	14,6	52,5	52,7	99,5
Бумага газетная в расчете на душу населения, кг	11,0	12,7	7,2	8,5	0,0	0,0	3,8	4,2	91,7

Снижение объемов производства товарной целлюлозы на Сясьском ЦБК, Монди Сыктывкарском ЛПК, филиале группы «Илим» в г. Коряжме при увеличении варки целлюлозы произошли из-за роста объемов производства бумаги и картона на этих предприятиях.

Импорт товарной целлюлозы в 2013 г. составил 137,0 тыс. т, в т.ч. за счет лиственной целлюлозы из древесины тропических пород 14,6 тыс. т.

Общее производство бумаги по стране, по данным Росстата, снизилось на 1,1 % к уровню 2012 г. Однако ввод в эксплуатацию и освоение новых мощностей за последние два года позволили увеличить производство бумаг различных видов на филиале ОАО «Группа «Илим», ОАО «Каменская БКФ», ОАО ЦБК «Кама», ОАО «Сясьский ЦБК». Увеличили выпуск за счет проведения модернизации бумагоделательных машин ЗАО «Интернешнл Пейпер», ОАО «Алатырская бумажная фабрика», ОАО «Полиграфкартон». Между тем, из-за отсутствия финансовых средств длительно простаивали буммашины ОАО «Кондопога» в конце 2012 г. и в течение всего 2013 г., в результате предприятие уменьшило производство бумаги на 219,6 тыс. т от объемов ее выпуска в 2012 г. Ряд предприятий увеличил объемы производства за счет более ритмичной работы, в их числе Сегежский, Енисейский, Сокольский ЦБК, ОАО «Картонтара» (г. Майкоп).

Еще одна проблема возникает вследствие необходимости совершенствования ин-

вестиционной политики и общей стратегии инвестиционной деятельности с целью увеличения объемов финансирования и рационального распределения их по отраслям лесопромышленного комплекса (табл. 5) [1, 6, 7].

Инвестиции в основной капитал в 2013 г. в целом по стране снизились на 6,7 %. В 2012 г. их объем незначительно увеличился, на +0,7 % к уровню 2011 г.

Инвестиции в основной капитал по организациям лесопромышленного комплекса в 2013 г. сократились на 21,8 %, в том числе по ЦБП – на 15,6 %.

В целом по стране инвестиционный климат в 2013 г. не улучшился. Доля инвестиций в лесопромышленном комплексе составила 0,9 % от объема инвестиций по стране в целом.

Удельный вес инвестиций в основной капитал предприятий по производствам ЛПК составил:

- по лесозаготовкам – 5,0 %;
- по обработке древесины, производству изделий из дерева и пробки (кроме мебели) – 41,5 %;
- по производству целлюлозно-бумажной продукции – 45,0 %;
- по производству мебели – 8,5 %.

Для принятия решений по инвестициям целесообразно рассмотреть выбор источников финансирования по отраслям лесопромышленного комплекса (табл. 6) [1, 4, 5, 7].

В структуре источников финансирования инвестиций в основной капитал за 2013 г.

Инвестиции в основной капитал по «чистым» видам экономической деятельности по крупным и средним организациям за 2013 г.
Investments in fixed assets «pure» economic activities of large and medium organizations for 2013

Виды деятельности	Использовано, млн руб.		Индекс физического объема инвестиций в основную капитал за 2013 г., %	Удельный вес в общем объеме инвестиций в основной капитал за 2013 г., %
	за 2013 г.	за 2012 г.		
Всего	9 208 382,9	9 353 087,0	93,3	100,0
Лесозаготовки	4 107,2	6 298,4	63	0,0
Обрабатывающие производства	1 622 902,9	1 514 295,3	101,4	17,6
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели	33 815,6	45 885,1	70,6	0,4
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них	36 660,2	43 065,9	84,4	0,4
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги и картона	27 092,0	31 692,1	84,8	0,3
Производство целлюлозы и древесной массы	11 532,6	17 367,1	65,9	0,1
Производство бумаги и картона	15 559,5	14 325,1	107,7	0,2
Производство бумаги	5 738,3	4 507,0	126,3	0,1
Производство картона	9 821,2	9 818,0	99,2	0,1
Производство изделий из бумаги и картона	9 568,2	11 373,8	83,4	0,1
Производство гофрированного картона, бумажной и картонной тары	3 355,7	3 353,5	99,2	0,0
Производство бумажных изделий хозяйственно-бытового и санитарно-гигиенического назначения	4 240,8	5 850,9	71,9	0,0
Производство писчебумажных изделий	37,3	8,2	451,8	0,0
Производство обоев	1 312,7	1 414,8	92	0,0
Производство прочих изделий из бумаги и картона	621,8	746,3	82,6	0,0
Производство мебели	6 809,0	4 682,9	138,6	0,1

по целлюлозно-бумажному производству 79,9 % составили собственные средства, 20,1 % – привлеченные средства, в том числе: 13,8 % – кредиты банков, из них только 1,6 % – кредиты иностранных банков.

Далее, на основе представленного аналитического обзора целесообразно рассмотреть основные показатели производства и продаж продукции и финансовые результаты деятельности отраслей лесопромышленного комплекса (табл. 7) [1].

Как и в прежние годы, производство лесозаготовок остается убыточным. Рентабельность целлюлозно-бумажного производства в отчетном году снизилась по сравнению с отчетными данными за 2012 г. на 0,9 %. Если цены на продукцию ЦБП выросли на 2,1 %, то услуги собственных монополий увеличились: на производство, передачу и распределение электроэнергии, газа и воды – на 9,2 %, на грузовые перевозки – 8,4 % [9–16].

В целлюлозно-бумажном производстве на 3,5 % возросла доля расходов на приобретение топлива, электроэнергии, услуг по транспортировке грузов.

Обратим внимание на то, что в результате ухудшения общеэкономической ситуации в стране в 2013 г. по сравнению с 2012 г. прибыль по предприятиям лесопромышленного комплекса уменьшилась в 2 раза, продолжали быть нерентабельными лесозаготовки (рост убытков на 41,7 %). Прибыль целлюлозно-бумажного производства в 2013 г. составила 44,2 % к уровню 2012 г. (табл. 8) [1].

**Источники финансирования инвестиций в основной капитал
по крупным и средним организациям за 2013 г., млн руб.**
Sources of financing investment in fixed assets of large and medium organizations for 2013 million rubles

Виды деятельности	Собственные средства	в том числе		Привлеченные средства	в том числе										
		прибыль, остающаяся в распоряжении организации	амортизация		кредиты банков	из них кредиты иностранных банков	заемные средства других организаций	Бюджетные средства	из них			средства внебюджетных фондов	прочие	из них	
									из федерального бюджета	из бюджетов субъектов федерации	из местных бюджетов			средства вышестоящих организаций	средства от выпуска корпоративных облигаций
Всего	4378142	1740345	2070895	4830241	879411	86320	589358	1790062	930368	736321	123373	26537	1544874	1192116	8617
Лесозаготовки	3641	737	2454	10877	7857	0	1058	4	2	2	0	0	1958	1758	0
Обрабатывающие производства	980805	451984	439467	481134	230340	22853	143297	32264	26918	5231	114	158	75075	42625	1015
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели	19036	7138	10445	9397	5947	221	3071	7	6	0	0	0	373	174	0
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них	30899	18036	11877	7793	5331	609	2151	12	6	5	1	0	299	295	0
Производство мебели	3633	2192	1120	798	415	0	132	10	10	0	0	0	241	241	0

В 2013 г. 25 % обрабатывающих предприятий страны работали убыточно, их общий убыток увеличился на 68,6 % к показателю 2012 г. По крупным и средним предприятиям лесопромышленного комплекса убытки в 2013 г. возросли в сравнении с 2012 г. на 76,4 %, в том числе в производстве целлюлозно-бумажной продукции 29,1 % предприятий работали убыточно. На текущий момент 24,6 % предприятий ЛПК имели общую дебиторскую задолженность в 193 193,4 млн руб. Удельный вес просроченной дебиторской задолженности в общем объеме задолженности за этот период уменьшился на 0,3 % от уровня 2012 г.

По обрабатывающим производствам в 2013 г. на 1,6 % снизилось количество предприятий, имеющих просроченную дебиторскую задолженность в сравнении с 2012 г. Удельный вес просроченной задолженности в 2013 г. уменьшился в общем объеме задолженности на 0,5 %.

В производстве ЦБК количество предприятий, имеющих просроченную задолженность, не изменилось. В денежном выражении дебиторская задолженность в 2013 г. возросла до 73 941,4 млн руб., а удельный вес просроченной задолженности снизился на 0,9 % от уровня 2012 г.

**Основные экономические показатели производства и продаж
продукции (работ, услуг) в 2013 г., млн руб.**

Main economic indicators of production and sales of products (works, services) in 2013, million rubles

Виды деятельности	Количество организаций, единиц	Выручка от продаж	Затраты на производство проданных товаров, работ, услуг	Прибыль (убыток) от продаж	Уровень рентабельности (убыточности), %	Затраты на 1 рубль товарной продукции, коп.
Лесозаготовки	269	69 127,6	69 838,6	-711,0	-1,0	101,0
Обрабатывающие производства	13 274	26 646 467,0	24 338 072,6	2308394,4	9,5	91,3
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели	419	269 322,0	249 179,2	20142,8	8,1	92,5
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них	220	424 138,6	388 433,9	35704,7	9,2	91,6
Производство мебели	212	109 693,3	100 606,2	9087,1	9,0	91,7
Всего по лесопромышленному комплексу	1120	872 281,5	808 057,9	64233,6	7,9	92,6

**Прибыль (убыток) до налогообложения крупных и средних предприятий
и организаций за 2013 г., млн руб.**

Profit (loss) before taxation of large and medium-sized enterprises and organizations for 2013 million rubles

Виды деятельности	Количество организаций, единиц	Прибыль (убыток), млн руб.		Темп роста, %
		2013	2012	
Всего по России	58 959	6 541 623,8	7 629 046,3	85,7
Лесозаготовки	269	-3 287,8	-2 319,6	141,7
Обрабатывающие производства	13 274	1 544 701,8	2 152 491,8	71,8
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели	419	6 471,3	9 841,2	65,8
Распиловка и строгание древесины; пропитка древесины	193	-5 027,9	-1582,5	317,7
Производство пиломатериалов, кроме профилированных, толщиной более 6 мм; производство непитанных железнодорожных и трамвайных шпал из древесины	165	-4 671,9	-1534,1	304,5
Производство биотоплива (топливные гранулы и брикеты) из отходов деревопереработки	3	-9,9	-22,3	44,6
Производство шпона, фанеры, плит, панелей	111	7 738,9	8 122,1	95,3
Производство клееной фанеры, щитов, древесных плит и панелей	98	9 211,4	8 350,3	110,3
Производство древесно-стружечных плит	25	3 498,9	3 458,6	101,2
Производство древесно-волокнистых плит	10	654,8	703,8	93,0
Целлюлозно-бумажное производство; издательская и полиграфическая деятельность	1174	25 220,1	42 822,7	58,9
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них	220	13 441,8	30 396,5	44,2
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги и картона	60	3 739,2	17 289,5	21,6
Производство бумаги и картона	52	12 662,4	18 981,3	66,7
Производство изделий из бумаги и картона	160	9 702,6	13 107,0	74,0
Производство гофрированного картона, бумажной и картонной тары	95	2 503,8	5 352,0	46,8
Производство писчебумажных изделий	6	4 039,2	3 067,2	131,7
Производство мебели	212	4 299,2	4 643,5	92,6
Всего по лесопромышленному комплексу	1120	20 924,5	42 561,7	49,2

В настоящее время в лесопромышленном комплексе снизилось количество предприятий, имеющих просроченную задолженность по платежам в бюджет на 0,7 % от состояния на 1 января 2013 г. и уменьшилась в денежном выражении общая задолженность по этому виду платежей. В целлюлозно-бумажном производстве увеличилось число предприятий и общая задолженность по этим видам платежей, а также на 5,4 % возросла просроченная задолженность в сравнении с состоянием на 1 января 2013 г.

Несмотря на неудовлетворительные финансовые показатели в 2013 г., по всем видам экономической деятельности лесопромышленного комплекса обеспечен рост реальной заработной платы работников. Среднемесячная зарплата работников ЦБП составила 92 % от общероссийского уровня среднемесячной зарплаты.

Следующая проблема, которую необходимо рассмотреть, – это отсутствие реального роста внутреннего потребления продукции лесопромышленного комплекса [2, 3]. В связи с этим проведем аналитический обзор внешнеэкономической деятельности России в целом и отраслей лесопромышленного комплекса. Сегодня лесопромышленный комплекс экспортно-ориентированный и более 70 % продукции уходит на экспорт. Отметим, что в 2013 г., по данным Росстата, внешнеторговый оборот России составил 844,2 млрд US\$ по сравнению с 837,2 млрд US\$ в 2012 г. Сальдо торгового баланса сложилось положительное в размере 208,6 млрд US\$, что на 1,1 млрд US\$ больше, чем в 2012 г. При этом в торговле со странами дальнего зарубежья сальдо равнялось 176,4 млрд US\$ (увеличение на 3,2 млрд US\$), со странами СНГ – 32,2 млрд US\$ (снижение на 2,1 млрд US\$).

Экспорт России в 2013 г. сохранился практически на уровне 2012 г. и составил 526,4 млрд US\$ (в 2012 г. – 524,7 млрд US\$) (рис. 8).

Доля экспорта лесной и целлюлозно-бумажной продукции (гр.44, 47–48 ТН ВЭД ТС) в 2013 г. составила 2,1 % (в 2012 г. – 1,9 %). Значительно выросли поставки продукции лесозаготовительной и деревообра-

батывающей промышленности (на 10,2 % в объемном и на 11,6 % в стоимостном выражении) при снижении физических объемов экспорта целлюлозно-бумажной продукции (на –3,9 %), прежде всего, товарной целлюлозы и газетной бумаги. Однако рост цен на большинство видов товаров в 2013 г. позволил увеличить валютную выручку на 4,0 % (рис. 4, 5).

В структуре экспорта продукции лесопромышленного комплекса (гр.44, 47, 48 ТН ВЭД) на долю продукции деревообработки и лесозаготовок приходится почти 87 % в объемном и 71 % в стоимостном выражении. В 2013 г. по сравнению с 2012 г. отмечено увеличение стоимостных объемов экспорта по всем видам товаров 44 группы ТН ВЭД. Наиболее заметно выросли объемы поставок трех основных видов лесной продукции: пиломатериалов (4407), необработанной древесины (4403) и фанеры (4412).

В 2013 г. выросли стоимостные объемы экспорта большинства видов продукции целлюлозно-бумажной продукции, за исключением двух основных – товарной целлюлозы (4702–4704) и газетной бумаги. В течение года повышались цены на многие товары 47–48 групп ТН ВЭД, в связи с этим при общем снижении тоннажа экспорта целлюлозно-бумажной продукции на –3,9 % валютная выручка увеличилась на +4,0 %.

В структуре экспорта товарной целлюлозы основной объем – 97 % – составляет сульфатная (4703). Из этого объема 55 % приходится на беленую хвойную (NBSK), 26 % составляет беленая лиственная (ВНКР) и 19 % – небеленая хвойная. В августе-сентябре 2013 г. в связи с прекращением деятельности ОАО «Байкальский ЦБК» и полным закрытием производства растворимых сортов товарной целлюлозы в России были остановлены поставки за рубеж продукции по коду 4702. Единственным производителем и экспортером сульфитной хвойной целлюлозы небеленой (4704 11) и беленой (4704 21) является Сясьский ЦБК. В Китай поставляется около 60 % продукции предприятия, оставшиеся 40 % экспортируются в Германию, Индонезию и некоторые другие страны.

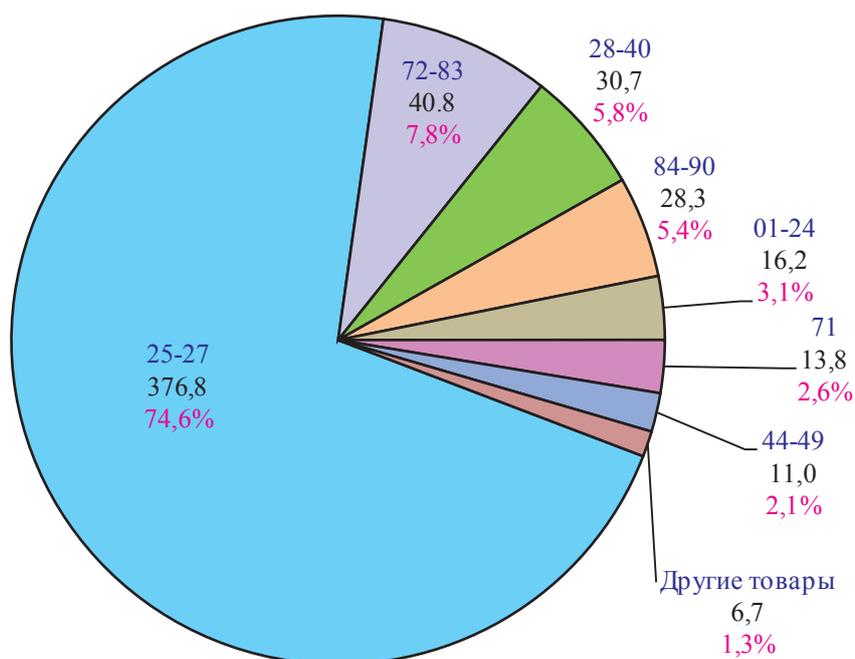


Рис. 3. Структура экспорта РФ в 2013 г., млрд US\$
 Fig. 3. Structure of Russian export in 2013, US \$ bn

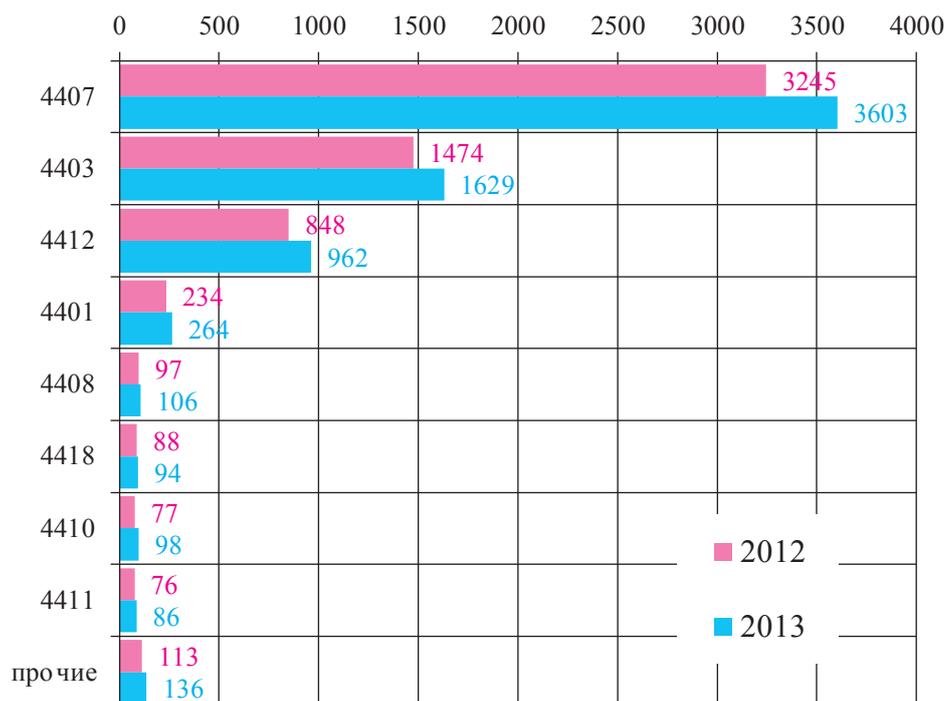


Рис. 4. Структура экспорта продукции лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности в 2012–2013 гг., млн US\$ [1]
 Fig. 4. The structure of exports of forestry and wood processing industry in 2012-2013., Million US \$ [1]

Около 88 % от общего объема экспорта товарной сульфатной целлюлозы приходится на предприятия ОАО «Группа «Илим» в Усть-Илимске, Братске и Коряжме. Оставшиеся 12 % объемов экспорта поставили за рубеж Архангельский, Марийский ЦБК и ЦЗ

«Питкяранта». Из-за останова производства в 2013 г. практически прекратились экспортные поставки Соломбальского ЦБК.

Импорт России в 2013 г., по данным Ростата, составил 317,8 млрд US\$ и по сравнению с 2012 г. увеличился на +1,6 % (рис. 6).

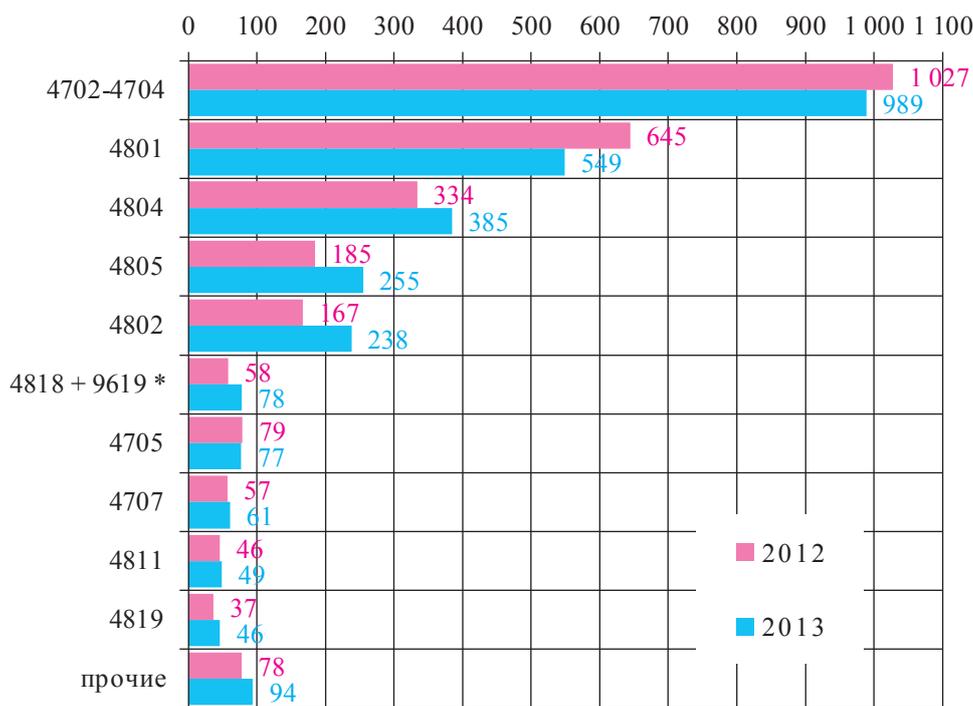


Рис. 5. Структура экспорта целлюлозно-бумажной продукции в 2012–2013 гг., млн US\$ [1]
 Fig. 5. The structure of exports of pulp and paper products in 2012-2013., Million US \$ [1]

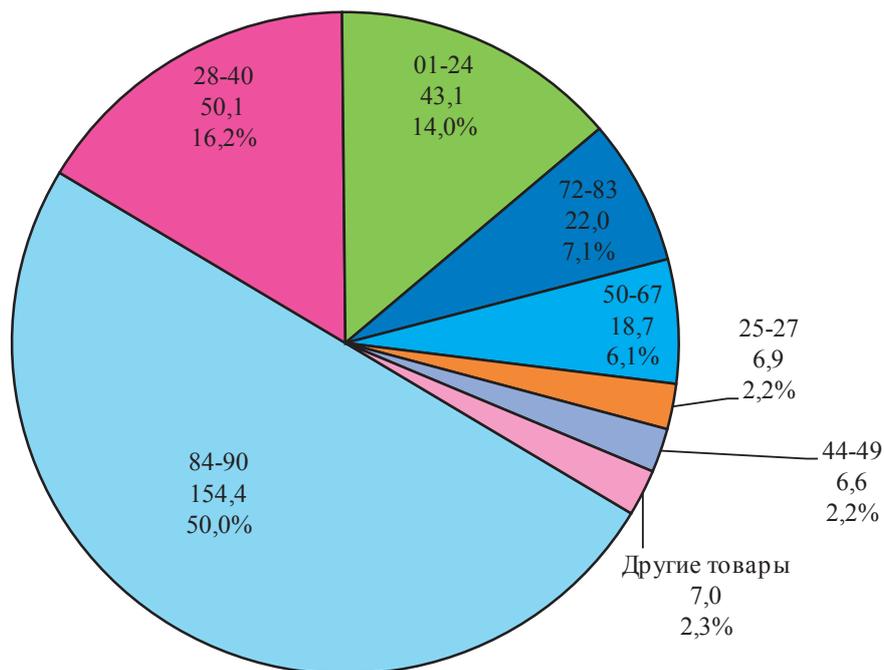


Рис. 6 Структура импорта РФ в 2013 г., млрд US\$
 Fig. 6 Structure of imports of the Russian Federation in 2013, US \$ bn

Доля импорта продукции лесопромышленного комплекса (44–49) в 2013 г. составила 2,1 % и не изменилась по сравнению с 2012 г. Из 6,6 млрд долл. стоимости импорта 1,3 млрд приходится на товары 44 группы (древесина и изделия из нее), 4,5 млрд – цел-

люлозно-бумажная продукция (гр. 48), оставшиеся 0,8 млрд долл. – стоимость продукции полиграфической промышленности (гр. 49) (рис. 7).

Основным объектом импорта являются плиты ДВП (4411) – 29 % и ДСП (4410) –



Рис. 7. Структура импорта продукции лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности в 2012–2013 гг., млн US\$ [1]

Fig. 7. Structure of imports of products of forestry and wood processing industry in 2012-2013., Million US \$ [1]

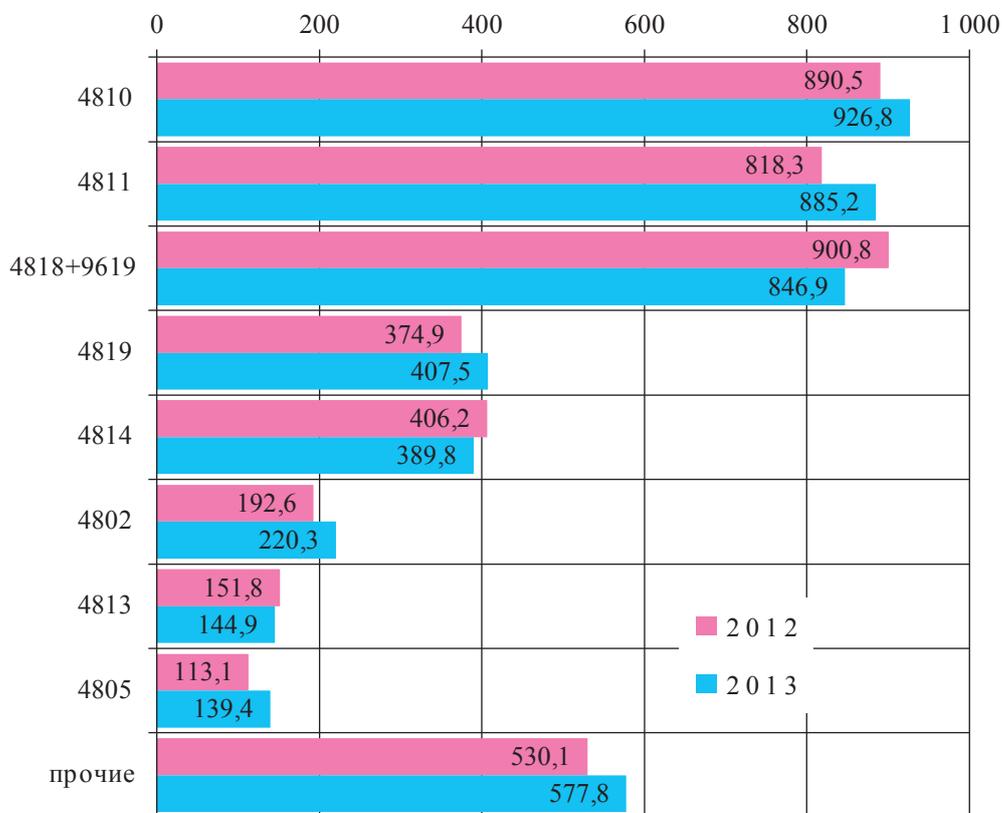


Рис. 8. Структура импорта целлюлозно-бумажной продукции в 2012–2013 гг., млн US\$ [1]

Fig. 8. Structure of imports of pulp and paper products in 2012-2013., million US \$ [1]

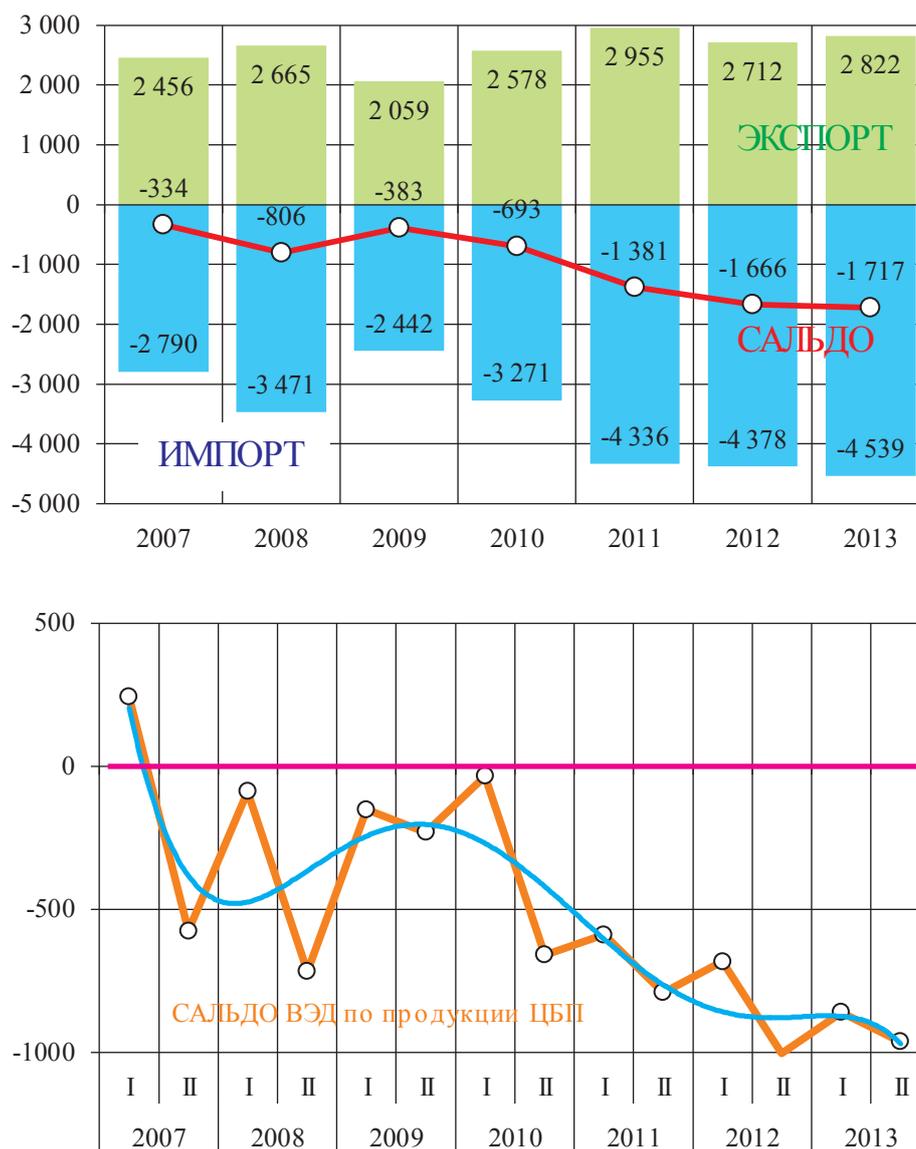


Рис. 9, 10. Сальдо внешнеэкономической деятельности по продукции целлюлозно-бумажной промышленности (гр. 47–48 ТНВЭД), млн US\$ [1]

Fig. 9, 10. The balance of foreign trade activities by products of the pulp and paper industry (с. 47-48 HS) million US \$ [1]

25 % от общего объема. На долю столярных изделий (4418) приходится 21 %.

В 2013 г. выросли стоимостные объемы импорта товаров по всем трем указанным группам, что позволило на 10,4 % увеличить стоимость поставленных товаров по всей продукции деревообрабатывающей промышленности в целом.

Необходимо отметить, что если в общей стоимости экспорта продукции лесопромышленного комплекса в 2013 г. удельный вес продуктов деревообработки и лесозаготовок (гр.44) составляет 71 %, то в стоимости

импорта на долю товаров указанной группы приходится только 22 %.

В связи с этим еще одна сфера, которая представляет интерес – внешнеэкономическая деятельность целлюлозно-бумажной промышленности (рис. 8).

В общем объеме импорта продукции целлюлозно-бумажной промышленности в Россию в 2013 г. со значительным отрывом лидируют товары с высокой добавленной стоимостью – мелованные бумага и картон (4810) – 20,4 %, бумага и картон с покрытием и пропиткой (4811) – 19,5 %, продукция хозяйс-

твенно-бытового и санитарно-гигиенического назначения (4818 и 9619) – 18,7 %. Несмотря на то, что потребление и цены на большинство указанных товаров в странах Западной Европы продолжали снижаться в течение 2013 г., рост спроса российского рынка стимулировал рост объема поставок в РФ мелованных и ламинированных бумаг и картонов как в физическом, так и в стоимостном выражении.

Главным поставщиком высококачественных мелованных бумаг и картонов в Россию является Финляндия, на ее долю приходится 46,3 % от общего объема импорта данного вида продукции. На втором месте по объемам поставок в Россию находятся компании Китая – 13,4 %. Только за 2013 г. объем импорта данных товаров из Китая увеличился с 87,5 до 114 тыс. т, или на 30,3 %.

Наибольший объем импорта товаров группы 4810 составляют бумага и картон для печати и письма чистоцеллюлозные (4810 19 900 0), составляющие около 29 % от общего объема поставок.

По итогам 2013 г. отрицательное сальдо внешнеэкономического баланса по продукции ЦБП (47–48 гр. ТН ВЭД) достигло рекордного значения в 1 717 млн US\$. Вместе с тем несколько снизились темпы его роста – на 3,1 % по сравнению с 2012 г., тогда как в 2012 г. этот показатель составил 20,6 % (рис. 9, 10).

В 2013 г. при росте импорта в стоимостном выражении на 4,9 %, экспорт продукции ЦБП после трех относительно благополучных лет снизился по сравнению с предыдущим годом на 5 %. В первую очередь, такое снижение явилось следствием падения объемов экспорта товарной целлюлозы (гр.4702–4704) из-за остановов Соломбальского и Байкальского ЦБК, трудностей на ЦЗ «Питкяранта».

Вторым фактором, повлиявшим на падение объемов экспорта российской целлюлозно-бумажной продукции, как отмечалось выше, стала остановка газетного комбината ОАО «Кондопога», повлекшая снижение на 200 тыс. т объемов экспорта из России газетной бумаги.

На основании представленного аналитического обзора можно сделать следующие выводы.

1. В условиях продолжающегося кризиса производство целлюлозно-бумажной продукции в развитых странах начинает стагнировать, а темпы его роста в развивающихся странах резко снизились.

Падение мирового производства бумаги и картона в 2013 г. превысило 1 %, в странах ЕС оно составило 1,3 %.

Российская ЦБП не является исключением. И если общие объемы производства бумаги и картона в 2013 г. практически не изменились (что также свидетельствует о стагнации), то производство газетной бумаги упало на 12,7 %, а производство товарной целлюлозы – на 11,6 %. Это соответствует формирующимся тенденциям снижения потребления типографских бумаг и смещению потребительских акцентов в направлении упаковочных видов бумаги и картона, а также санитарно-гигиенической продукции.

Объемы производства российского картона в 2013 г. несколько выросли (100,5 %), в том числе существенно выросли объемы производства тест-лайнера (106,6 % к уровню 2012 г.).

Что касается объемов потребления бумаги и картона, то они несколько уменьшились (на 18 тыс. т), в основном за счет газетной бумаги, что отражает общую тенденцию, связанную с ростом влияния электронных СМИ. Несмотря на устойчивые экспортные ниши, занятые российскими производителями газетной бумаги, формирующиеся тенденции обязывают искать пути для увеличения экономической эффективности и диверсификации производства.

2. Экспорт бумаги, картона и изделий из них вырос (102,3 % в количественном выражении и 109,4 % в стоимостном выражении), в основном за счет наращивания продаж целлюлозных картонов и улучшения конъюнктуры цен.

Экспорт товарной целлюлозы снизился (90 % от уровня 2012 г.) в связи с закрытием Байкальского ЦБК и прекращением деятельности Соломбальского ЦБК.

В 2013 г. не удалось добиться снижения импорта бумаги, картона и изделий из них (гр.48 ТН ВЭД) (103,2 % к уровню 2012 г.

в количественном и стоимостном выражении), что свидетельствует об отсутствии импортозамещающих мощностей и отставании отечественных производителей от растущего спроса внутреннего рынка. Вступление России в ВТО пока не принесло ощутимых преимуществ, хотя меры по защите отечественных производителей целлюлозно-бумажной продукции предпринимаются, в том числе и с участием РАО «Бумпром».

3. Инвестиционный климат в стране не стал более благоприятным, и действенных мер по созданию новых мощностей по-прежнему не предпринимается. Все развитие идет за счет собственных средств действующих предприятий, а их в условиях кризиса становится все меньше. Инвестиции в основной капитал по ЦБП в 2013 г. снизились на 15,6 %. В структуре источников финансирования инвестиции в основной капитал по ЦБП собственные средства составили 79,9 % (30,9 млрд руб.), привлеченные средства – 20,1 % (7,8 млрд руб.), в том числе кредиты банков – 13,8 % (5,3 млрд руб.) [8, 19, 20].

Что касается строительства новых предприятий, то реальных шансов на реализацию инвестиционных проектов пока не просматривается. И убедительным примером этого является незавидная участь проектов двух новых ЦБК в Красноярском крае, включенных в перечень приоритетных.

Действующие в стране условия привлечения инвестиций не позволяют решать задачу развития отечественного целлюлозно-бумажного производства для удовлетворения внутреннего спроса на бумагу, картон и изделия из них. В результате за период с 2007 по 2013 г. отрицательное сальдо внешнеэкономического баланса по продукции ЦБП выросло с 334 до 1 717 млн долл. США, или в 5,1 раза [18].

4. В целом динамика экономических и социальных показателей ЦБП укладывается в русло кризисных явлений, происходящих в российской промышленности в целом и обрабатывающих отраслях в частности.

Увеличилась доля затрат на оплату труда (на 0,3 % при таком же увеличении по обрабатывающим отраслям в целом), на 0,4 %

увеличилась амортизация основных средств при таком же увеличении в целом по стране. Резко (почти в 3 раза) снизилась прибыль предприятий ЦБП, что является неизбежным следствием роста цен на услуги естественных монополий, а также отставания роста производительности труда от роста заработной платы (опережение составило 6,3 %). Удельный вес убыточных предприятий вырос за год на 12,2 %. Значительно увеличилась задолженность крупных и средних предприятий, являющихся основой стабильного состояния отрасли (по платежам в бюджет – на 18,6 %), а просроченная задолженность по ним возросла в 2,7 раза. Задолженность этих предприятий по кредитам возросла на 25,1 %.

5. В сложившейся ситуации участие в региональных союзах лесопромышленников дает компаниям возможность получать аналитическую информацию о положении дел в лесном секторе, о подготовленных проектах и вышедших в свет законодательных и нормативно-правовых актах, возможность формировать свод общих проблем. Кроме того, такое участие помогает лесопромышленникам разрабатывать предложения и меры по устранению проблем и направлять их в центральный союз лесопромышленников, который после сводки и изучения может довести объединенные предложения до государственных органов власти. Это реально может повлиять на некоторые решения в сфере лесопромышленного комплекса [17].

6. Потребность в преодолении стагнации ведет к поиску, помимо традиционных путей, заключающихся в применении наилучших доступных технологий, снижении материалоемкости, энергоемкости и росту экологической эффективности производства, также и нетрадиционных путей, открывающих инновационные возможности для получения принципиально новых продуктов с высокой добавленной стоимостью на базе биорефайнинга.

Во всем мире инструментом для реализации подобных инноваций являются Технологические Платформы. Существует Европейская лесная Технологическая Платформа, создана и Российская лесная Техно-

логическая Платформа, участниками которой являются крупные отраслевые бизнес-структуры, а также отраслевые НИИ и учебные заведения. Российская лесная Технологическая Платформа включена в состав Технологической Платформы «БиоТех-2030», а также в Государственную программу РФ «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».

7. Утвержден план мероприятий (дорожная карта) «Развитие биотехнологий и генной инженерии», в составе которых РАО «Бумпром» и отраслевыми НИИ разработаны предложения по основным направлениям развития биотехнологий в лесопромышленном комплексе.

8. Значительно усилена роль Технологических Платформ и уделено внимание изысканию финансовых ресурсов для организации научно-инновационного развития лесопромышленного производства на базе адаптации существующих передовых биотехнологий, а также разработки, масштабирования и последующей коммерциализации новых отечественных биотехнологий [2, 3].

Реализация тематики отраслевой «дорожной карты», включая конкретные проекты, может стать начальным этапом вхождения отечественной ЦБП в мировую биоэкономику только при активном и заинтересованном участии отраслевых бизнес-структур.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

- Итоги работы целлюлозно-бумажной промышленности России в 2013 г. – Аналитический отчет РАО «БУМПРОМ». – М., 2014.
- Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 г. – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. – Рим, 2012.
- Доклад о повышении эффективности лесного комплекса Российской Федерации. – Государственный совет, 2013.
- Шарп У. Инвестиции : учебник / У. Шарп, Г. Александер, Дж. Бейли; пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 1027 с.
- Саймон Вайн. Инвестиции и трейдинг: Формирование индивидуального подхода к принятию инвестиционных решений / В. Саймон. – Альпина Паблишерз, 2010. – 643 с.
- Савицкий, А.А. Экономическая оценка инвестиций лесного сектора : учеб. пособие / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина. – М.: МГУЛ, 2013. – 618 с.
- Савицкий, А.А. Управление инвестициями: теория и практика: практикум / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина. – М.: МГУЛ, 2013. – 110 с.
- Бутко, Г.П. Методы оценки инвестиционной привлекательности лесопромышленного предприятия на современном этапе развития / Г.П. Бутко, В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 2. – С. 130–134.
- Кондратюк, В.А. Инвестиционные процессы в лесопромышленном комплексе Российской Федерации / В.А. Кондратюк, Н.П. Кожемяко, А.В. Кондратюк // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4. – С. 51–56.
- Пинягина, Н.Б. Лесной сектор сегодня: взгляд бизнеса / Н.Б. Пинягина // Дерево.ру. – 2012. – № 5. – С. 24–27.
- Пинягина, Н.Б. Состояние и перспективы развития лесопромышленного комплекса России / Н.Б. Пинягина, В.И. Запруднов, А.А. Савицкий, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 1. – С. 167–174.
- Запруднов, В.И. Концептуальные основы экономического развития лесного комплекса России / В.И. Запруднов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 1. – С. 48–56.
- Запруднов, В.И. Аналитические исследования деятельности лесного сектора России и зарубежных стран / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4. – С. 82–96.
- Запруднов, В.И. Исследования перспектив развития лесопромышленного комплекса России в современных условиях / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 5. – С. 60–73.
- Запруднов, В.И. Тенденции и перспективы развития лесопромышленного комплекса России / В.И. Запруднов, Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 6. – С. 106–116.
- Савицкий, А.А., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Анализ инвестиционной деятельности лесного комплекса России за период 2005–2012 гг. / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4. – С. 206–211.
- Пинягина, Н.Б. Отрицательная динамика / Н.Б. Пинягина // Лесная индустрия. Теория и практика бизнеса. – 2013. – № 12. – С. 9.
- Савицкий, А.А. Анализ показателей работы целлюлозно-бумажной промышленности России в период 2007–I полугодие 2013 гг. / А.А. Савицкий // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 6–11.
- Запруднов, В.И., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Современное состояние лесного сектора Российской Федерации, задачи и перспективы развития лесозаготовительной промышленности / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 81–102.
- Кравченко, Р.В., Пинягина Н.Б. Условия и перспективы создания в Архангельской области лесного территориально-производственного кластера / Р.В. Кравченко, Н.Б. Пинягина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 111–118.
- Савицкий, А.А., Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Условия и факторы роста инвестиций в модернизацию лесного сектора / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 160–172.

ANALYTICAL REVIEW OF THE CURRENT STATE AND PROSPECTS OF SCIENTIFIC AND INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE FORESTRY INDUSTRY

Zaprudnov V.I., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.); Pinyagina N.B., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Economic); Gorshenina N.S., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D (Economic)

zaprudnov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow reg., Russia

The article presents a detailed analysis of the key indicators and financial results of the activity of the timber industry complex sectors. The results of the present study confirm that the slowdown of the growth rates of the Russian economy is a constraining factor that limits the development of the timber industry branches. The causes of the crisis situation in the timber industry complex and their solutions were identified on the basis of the analytical review. Much attention in the article is paid to the foreign economic activity sectors, as the timber industry still remains export-oriented and more than 70% of production is exported. Thus, particular attention should be given to the increase in the real growth of domestic consumption of the forest products. Another problem arises from the need to improve the investment policy and the overall strategy of the investment activities in order to increase funding volumes and their rational distribution by the sectors of the timber industry complex. The article describes the choice of funding sources for the investment decision-making by the sectors of the timber industry complex. It is important to emphasize that the investment climate in the country has not become more favorable and effective measures for the creation of new power are still not taken. All development proceeds due to the existing enterprises' own means, but they disappear due to the crisis. As for the construction of the new enterprises, the real chances for realization of the investment projects are yet small. An example of this is the fact that the two new projects of the PPM in the Krasnoyarsk region, included in the list of priority projects, were not implemented. Certain conclusions were formulated and ways to exit out of the crisis were identified on the basis of the analytical review. Thus, the need to overcome the stagnation leads to the search for innovative ways that open up innovative possibilities for obtaining radically new products with high added value on the basis of biorefining. Thus, the role of technology platforms increases and finding financial resources for the organization of scientific and innovative development of timber industry production based on the adaptation of the existing advanced bio-technologies, as well as the development, scaling and subsequent commercialization of the new domestic biotechnology, is important. Obviously, the implementation of the proposed measures, including specific projects, may be the initial stage of entering of the domestic timber industry complex to the global bioeconomy only with the active and committed participation of industry-specific business structures.

Keywords: timber industry complex, analytical review, scientific and innovative development.

References

1. *Itogi raboty tsellyulozno-bumazhnoi promyshlennosti Rossii v 2013 g.* [Results of the work of pulp and paper industry in Russia in 2013]. The analytical report of the RAO "Bumprom", Moscow, 2014.
2. *Prognoz lesnogo sektora Rossiiskoi Federatsii do 2030 g.* [The Russian Federation forest sector Forecast until 2030], Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2012.
3. *Doklad o povyshenii effektivnosti lesnogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii* [Re-port on improving the efficiency of the forest complex of the Russian Federation], State Council, 2013.
4. Sharp U., G. Aleksander, Dzh. Beili. *Investitsii* [Investments], Moscow, INFRA-M, 2012. 1027 p.
5. Saimon Vain. *Investitsii i treiding: Formirovanie individual'nogo podkhoda k prinyatiyu investitsionnykh reshenii* [Investing and Trading: Formation of individual approach to making an investment decisions], Alpina Publishers, 2010. 643 p.
6. Savitskii A.A., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Ekonomicheskaya otsenka investitsii lesnogo sektora* [Economic evaluation of investment forest sector], Moscow, MSFU, 2013. 618 p.
7. Savitskii A.A., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Upravlenie investitsiyami: teoriya i praktika* [Investment Management: Theory and Practice: practical work], Moscow, MSFU, 2013. 110 p.
8. Butko G.P., Zaprudnov V.I. *Metody otsenki investitsionnoi privilekatel'nosti lesopromyshlennogo predpriyatiya na sovremennom etape razvitiya* [Methods of evaluation of timber industry company investment attractiveness on a modern stage of development], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, no. 2, pp. 130-134.
9. Kondratiuk V.A., Kozhemiako N.P., Kondratiuk A.V. *Investitsionnye protsessy v lesopromyshlennom komplekse Rossiiskoi Federatsii* [Investment processes in the forestry sector of the Russian Federation], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, no.4, pp. 51-56.
10. Piniagina N.B. *Lesnoi sektor segodnya: vzglyad biznesa* [Forest sector today: business vision], Tree.ru, 2012, no.5, pp.24–27.
11. Piniagina N.B., Zaprudnov V.I., Savitskii A.A., Gorshenina N.S. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Rossii* [Status and prospects of Russian timber industry development], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011, no.1, pp. 167-174.
12. Zaprudnov V.I. *Kontseptual'nye osnovy ekonomicheskogo razvitiya lesnogo kompleksa Rossii* [Conceptual basis of Russian forest sector economic development], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011, no.1, pp. 48-56.
13. Zaprudnov V.I., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Analiticheskie issledovaniya deyatel'nosti lesnogo sektora Rossii i zarubezhnykh stran* [Analytical research of forest sector activities in Russia and abroad], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, no.4, pp. 82-96.
14. Zaprudnov V.I., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Issledovaniya perspektiv razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Rossii v sovremennykh usloviyakh* [Study of Russian timber industry complex development prospects in modern conditions], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2012, no. 5, pp. 60-73.

15. Zaprudnov V.I., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Tendentsii i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Rossii* [Trends and development prospects of Russian timber industry complex], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011, no. 6, pp. 106–116.
16. Savitskii A.A., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Analiz investitsionnoi deyatel'nosti lesnogo kompleksa Rossii za period 2005–2012 gg.* [Analysis of Russian forest complex investment activity from 2005 to 2012], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, no.4, pp. 206–211.
17. Piniagina N.B. *Otritsatel'naya dinamika* [Negative dynamics], Lesnaja indus-trija. Teorija i praktika biznesa. – Forest Industry. Theory and practice of the business, 2013, no. 12, p. 9.
18. Savitskii A.A. *Analiz pokazatelei raboty tsellyulozno-bumazhnoi promyshlennosti Rossii v period 2007– I polugodie 2013 gg.* [Analysis of the indicators of the Russian pulp and paper industry work in the period of 2007- I half-year 2013], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2014, no. 3, pp. 6–11.
19. Zaprudnov V.I., Pinjagina N.B., Gorshenina N.S. *Sovremennoe sostoyanie lesnogo sektora Rossiiskoi Federatsii, zadachi i perspektivy razvitiya lesozagotovitel'noi promyshlennosti* [The current state of the Russian Federation forest sector, objectives and prospects of the logging industry development], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2014, no. 3, pp. 81–102.
20. Kravchenko R.V., Pinjagina N.B. *Usloviya i perspektivy sozdaniya v Arkhangel'skoi oblasti lesnogo territorial'no-proizvodstvennogo klastera* [Conditions and prospects of the forest territorial industrial cluster creation in the Arkhangelsk region], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2014, no. 3, pp. 111–118.
21. Savitskii A.A., Piniagina N.B., Gorshenina N.S. *Usloviya i faktory rosta investitsii v modernizatsiyu lesnogo sektora* [Conditions and factors of the investments growth in the forestry sector modernization], Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2014, no. 3, pp. 160–172.

ДОМОСТРОЕНИЕ – ЛОКОМОТИВ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ФИНЛЯНДИИ

В.А. ШЛЯМИН, *торговый представитель РФ в Финляндии, д-р экон. наук,*

А.Е. ТЮРИН, *консультант Торгового представительства РФ в Финляндии, канд. экон. наук*

rusfintrade@yandex.ru, tyurin84@gmail.com

00140, Хельсинки, Техтанкату 1С

Анализируется опыт Финляндии в модернизации лесопромышленного комплекса путем популяризации деревянного домостроения, в том числе многоэтажного, применения конструктивных материалов, таких как CLT-панели, в строительстве. Рассматриваются перспективы применения современных и экологических технологий в России. Финляндия является одним из мировых лидеров в жилищном строительстве. В 2013 г. в стране было построено около 26 тыс. малоэтажных домов. При этом государственная поддержка деревянного домостроения осуществляется в рамках поддержки строительных компаний в целом. Перед компаниями ставится задача максимально расширить возможность использования древесного сырья как в индивидуальном домостроении, так и в многоэтажном. Наибольший потенциал применения деревянных компонентов заложен в многоэтажном домостроении. Правительство Вологодской области в 2013 г. начало формировать международный кластер деревянного домостроения. Кластерный подход станет одним из действенных инструментов конкуренции в домостроении, кадровой политике, создании деревообрабатывающих производств.

Ключевые слова: деревянное домостроение, международный кластер, российско-финляндское сотрудничество.

Российская Федерация, обладающая крупнейшими запасами леса в мире и одним из самых крупных лесопромышленных комплексов (ЛПК) на планете, озабочена проблемой относительно низкой эффективности использования лесосырьевых ресурсов по сравнению со странами – технологическими лидерами в этом секторе экономики, к которым относится Финляндия.

В данной статье мы хотели бы обратить внимание читателей на некоторые новые направления модернизации ЛПК Финляндии, в частности, индивидуального домостроения, которые, на наш взгляд, заслуживают внимания отечественных руководителей отрасли,

предприятий, научно-исследовательских организаций и вузов.

Прежде всего, предельно кратко охарактеризуем место и роль ЛПК в финской экономике.

Лесная промышленность формирует около 5 % валового внутреннего продукта (ВВП) страны. На долю лесной промышленности Финляндии, приходится около 20 % объема промышленного производства и 19,7 % экспортных доходов Финляндии. В отдельных регионах на лесной сектор приходится более 25 % валового регионального продукта.

Таможенная статистика свидетельствует, что объемы экспорта продукции лесной промышленности являются одними из самых весомых в структуре экспорта Финляндии. По данным Ассоциации лесной промышленности Финляндии, в стоимостном выражении экспорт отрасли в 2013 г. превысил 8 млрд евро, в т.ч. мелованные бумага и картон – 3,9 млрд евро, бумага и картон 1,3 млрд евро, пиломатериалы – 1,4 млрд евро, целлюлоза – 1,4 млрд евро [1].

Интересный факт, – сравнивая полученную чистую прибыль лесовладельцев Финляндии (частных лесовладельцев) и Ленинградской области (государственная собственность), д.э.н., профессор, В.Н. Петров отметил, что финский собственник леса получает в 4–6,5 раза больше чистой прибыли из расчета на один м³ заготовленной древесины, чем российский, при сопоставимых средних ценах на лесопroduкцию, диктуемых рынком. Таким образом, низкая стоимость круглого леса на корню в России не гарантирует преимущества продукции российского ЛПК на европейском рынке [2].

В связи со снижением спроса в Европе на традиционные лесоматериалы Финляндия встала на путь развития биоэкономики в химической, энергетической и строительной отраслях. Стратегический директор Министерства экономики и занятости Финляндии Сикстен Сунабакка отметил: «Многие бумажные фабрики в Финляндии были закрыты, но снизилось ли использование местной древесины? Правильный ответ – нет» [3]. Все большее количество древесины в Финляндии используется для получения энергии, новых материалов, в том числе для строительства домов, например многоэтажных.

Финляндия – один из мировых лидеров в современном деревянном домостроении. По информации Ассоциации строительной промышленности Финляндии, за 2013 г. было построено около 26 тыс. малоэтажных домов.

В Финляндии можно выделить два преобладающих типа строительства жилых домов: самостоятельное строительство (что, в первую очередь, характерно для индивидуальных домов и домов дачного типа) и строительство, осуществляемое профессиональными организациями (строительство многоэтажных домов и домов типа «таун-хаус»).

Следует отметить, что государственная поддержка деревянного домостроения Финляндии осуществляется в рамках поддержки строительной отрасли в целом.

Финским правительством совместно с деревообрабатывающей промышленностью реализуется «Стратегическая программа лесного сектора» [4], принятая в 2011 г., которая имеет одной из целей расширение использования древесного сырья в жилищном строительстве в Финляндии и сопредельных регионах.

В рамках программы поощрения деревянного строительства публичный сектор совместно с промышленностью стремится к повышению степени обработки в деревообрабатывающей промышленности, а также к поощрению деревянного и малоэтажного строительства. Программа призвана обеспечить потребности в недорогом жилье, соответствующем жилищным нормам, принятым в стране. Помимо создания малоэтажных зданий, программа нацелена на поощрение использования древесины в других строительных объектах – строительстве многоэтажных домов, офисных зданий, сельскохозяйственных строений, мостов, а также в реставрационных проектах, интерьерах, обустройстве дворов и прилегающих участков. Финская строительная индустрия традиционно предусматривает сдачу домов «под ключ».

По данным лесопромышленного концерна «Стора Энсо», в скандинавских странах доля использования древесины в небольших жилых зданиях как конструкционного материала составляет около 80 %. Похожая ситуация в Канаде и США – регионах со сходными погодными условиями и высокими запасами лесных ресурсов.

В Финляндии доля строительства зданий высотой более 2 этажей с использованием древесины является пока довольно низкой – 4–5 % от объема всего рынка, тогда как в Швеции эта доля составляет уже около 20 %. В Швеции развитие отрасли интенсивно шло в период с 2000 по 2010 гг. Если в Финляндии, где только в 2011 г. были утверждены новые нормы, развитие деревянного домостроения пойдет такими же темпами, то это, по оценкам вице-президента компании «Стоура Энсо»

М.Каллио, может обеспечить дополнительный потенциал рынка до 400–500 миллионов евро.

Довольно быстро растет строительная отрасль и в России. В 2010 г. было построено 58 млн м² нового жилья, а к 2015 г. этот объем должен вырасти до 90 млн м², то есть с 750 тыс. единиц в 2010 г. до 1 200 тыс. ед. к 2015 г. [5]. Например, потребление современных панелей «crosslaminated timber» (CLT. Ниже мы еще вернемся к описанию этих изделий) составляет примерно 32 м³ на 100 м² для жилых домов. Так, 10 тыс. домов по 100 м² каждый потребуют примерно 320 тыс. м³ CLT-панелей. Для получения 1 м³ CLT необходимо около 3,0 м³ древесины, и поэтому на строительство 10 тыс. домов необходимо около 900 тыс. м³ круглой древесины.

Средняя цена одного м² жилья в Российской Федерации по итогам 2013 г., по данным Федеральной службы государственной статистики [6], составляет около 50 тыс. руб. (1040 €/м²). Древесина может составить до 35 % от используемого строительного материала.

Потенциал добавленной стоимости для 900 тыс. м³ круглого лесоматериала составляет приблизительно 10 тыс. ед. × 100 м²/ед. × 1040 € / м² × 35 % = 364 млн евро на российском рынке, в том числе стоимость сопутствующих продуктов.

По оценке компании «Стора Энсо», потенциал роста добавленной стоимости круглых лесоматериалов в России есть. Потребность в доступном новом современном жилье на внутреннем рынке огромна, высокий спрос существует. Россия обладает большими запасами лесных ресурсов, однако отсутствие необходимой инфраструктуры является основным препятствием для развития отрасли.

Наибольший потенциал для роста деревянного домостроения заложен в увеличении строительства многоэтажных структур, общественных зданий, модернизации фасадов существующих многоквартирных домов, строительстве дополнительных этажей.

Новые правила энергоэффективности в Финляндии вступили в силу 1 июля 2012 г. К ним относятся обязательные для применения первичные энергетические коэффициенты для оценки общего потребления энергии здания-

ми. Целью этих правил является увеличение использования возобновляемых источников энергии для отопления и охлаждения зданий.

По прогнозам Министерства экономики и занятости Финляндии, в 2015–2017 гг. национальный строительный кодекс Финляндии будет принимать во внимание воздействие на окружающую среду в результате производства многих видов строительных материалов. В связи с этим древесина, как возобновляемый и экологически чистый источник энергии и строительных материалов, будет более конкурентоспособным сырьем.

В Финляндии, по данным Конфедерации строительной промышленности Финляндии, около 500 тыс. дач, и их число растет, так как около семи тысяч новых домов строятся каждый год. Из них почти 99 % из древесины. Всего же существуют 2 850 тыс. зарегистрированных жилых строений. В течение последних двадцати лет около 30 тыс. новых домов строятся ежегодно. На частные дома приходится чуть меньше половины производства нового жилья. Восемь из десяти отдельных домов имеют деревянный каркас, а 3/4 имеют деревянные фасады.

По информации Министерства экономики и занятости, Финляндия занимает второе после Испании место в ЕС по удельному весу строительства многоквартирных домов. В структуре жилого строительства около 43 % всех зданий многоэтажные. Строительство из бетона доминировало на рынке многоэтажного домостроения в течение последних 50 лет.

Деревянное домостроение интенсивно развивается в Финляндии с начала 1990-х гг. Усилия были сосредоточены, в частности, на строительстве многоэтажных деревянных зданий и повышении их энергоэффективности. Правила пожарной безопасности в Финляндии были изменены в 1997 г. в целях содействия более широкому использованию древесины в строительстве сооружений и фасадов зданий. Было разрешено возведение домов высотой до четырех этажей. Пожарные нормы были изменены еще раз 15 апреля 2011 г. для обеспечения использования древесины в жилых и офисных зданиях высотой от 5 до 8 этажей с деревянным каркасом и фасадом. Кроме того,

возможности использования древесины были распространены на ремонт, реконструкцию и расширение для пригородных зданий.

Сегодня, в соответствии с пожарными нормами, деревянные здания высотой более двух этажей должны быть оборудованы автоматическими системами пожаротушения (спринклерная система). Максимальная высота жилого или офисного здания с деревянным каркасом и фасадом, который соответствует классу «P2», составляет 14 метров для 3–4-этажного и 26 метров для 5–8-этажного здания.

Применение спринклерной системы «низкоопасного уровня» (LN) достаточно для многоэтажных каркасных 3–4-этажных зданий, в то время как система «средней опасности» ON1 должна устанавливаться в 5–8-этажных жилых сооружениях и в офисных 3–8-этажных зданиях. Современные спринклерные системы на основе водяного тумана для жилых помещений, в отличие от разработанных для нужд судостроительной промышленности, требуют на 90 % меньше воды.

Древесина может быть использована в строительстве домов без спринклерной системы в зданиях и фасадах с бетонным каркасом до четырех этажей, и до восьми этажей, если все здание оснащено спринклерной системой. Кроме того, один дополнительный верхний этаж с использованием древесины может быть построен без спринклерной системы, в случае наличия бетонного каркаса.

После отмеченного низкого уровня активности в течение последних нескольких лет деревообрабатывающие компании вновь осуществляют интенсивные инвестиции в развитие строительства многоэтажных каркасных зданий в Финляндии. В общей сложности более 650 жилых домов и три многоэтажных каркасных офисных здания были построены в восьми населенных пунктах Финляндии к 2014 г. В настоящее время на рассмотрении находятся проекты строительства до 7 тыс. квартир в различных частях Финляндии.

В 1990-х гг., следуя примеру аналогичной американской технологической платформы, так называемые «открытые системы деревянного строительства» были разработаны для строительства многоэтажных каркасных

зданий в Финляндии. Этот метод, основанный на возведении каркасных конструкций «слой за слоем», хорошо подходит для строительства сборных домов. Большинство жилых многоэтажных деревянных зданий до сих пор были построены в «соответствии с основными решениями» открытой системы деревянного домостроения.

Использование перекрестно клееных плит (CLT) становится все более распространенным в строительстве многоэтажных каркасных зданий в Финляндии. Система с применением CLT предполагает использование массивных деревянных панелей в качестве поддержки вертикальных и горизонтальных элементов здания. В Финляндии компания «Стора Энсо» развивает эту систему.

Компания «Мется Вуд» предлагает проект многоэтажных зданий, основанный на LVL-балках. Многоэтажные деревянные здания, построенные в г. Юлеярви (Ylöjärvi) в 1997 г. и г. Хельсинки (р-н Виикки, Viikki) в 2012 г., а также многоэтажные деревянные офисные сооружения, имеют деревянный каркас как основу. Каркас таких зданий может быть собран быстро, что позволяет ему быть защищенным от непогоды еще на ранних стадиях.

В течение нескольких лет организация «Финиш вуд ресеч» (ФВР) ведет работу по разработке промышленного стандарта, названного «РункоПЕС» («RunkoPES»), для сборных деревянных элементов строительства. Цель – стандартизировать соединения несущих элементов между системами здания. Система «РункоПЕС» внедрена в 2013 г.

Также существует рыночный потенциал для использования древесины в реконструкции существующих пригородных многоэтажных зданий из бетона. Подтверждением этого стала недавно завершенная реконструкция многоквартирных домов в Пелтосаари (Peltosaari). Проект стал наглядным примером того, как энергоэффективность загородного дома может быть улучшена за счет использования древесины.

По данным Ассоциации строительной промышленности, в связи с ослаблением спроса на лесобумажную продукцию, крупные лесопромышленные компании, такие как

«Стора Энсо», «УПМ-Кюммене», «Мется Групп», стремятся занять нишу на рынке многоэтажного деревянного домостроения. На основании данных, полученных нами от компании-застройщика «Стора Энсо» и владельца недвижимости и инвестора – пенсионного фонда «Этера», предлагаем Вашему вниманию краткое описание осуществленного проекта строительства жилого комплекса в районе Виикки г. Хельсинки.

Жилищный комплекс «Виикки» – один из крупнейших в Финляндии проектов деревянного домостроения, в рамках которого построено 103 квартиры общей площадью 6,348 тыс. м². Стоит отметить, что владелец здания компания «Этера» не планирует продажу, а только сдачу в аренду.

Основные показатели.

– Монтажные работы проведены в течение декабря 2011 г. – февраля 2012 г.

– Возведение каркаса несущих элементов крыши заняло 2 недели / дом.

– Перекрытия и наружные стены возведены за 4 недели / дом.

– Первые квартиры стали пригодны к эксплуатации через 6 месяцев от начала строительства.

– Энергоэффективность – класса «А» в соответствии с нормами ЕС.

– Огнестойкость для несущих конструкций – 60 мин.

– Здания оборудованы спринклерной системой пожаротушения второго поколения. Современные инженерные системы позволяют строить дома с использованием древесины до 15 этажей в соответствии с законодательством Европейского союза.

По мнению «Стора Энсо», преимущества подобного проекта.

1. Возведение типового жилого здания из древесины экономит 4–6 месяцев по сравнению с традиционно применяемыми вариантами аналогичных домов из кирпича и сборного железобетона.

2. Огнестойкости легко достичь с помощью массивных конструкций, даже без покрытия.

3. Возведение в зимних условиях возможно без специального оборудования.

4. Подготовка конструкций на заводе обеспечивает высокое качество и уменьшает объемы работы на строительной площадке.

5. Акустическая защита, защита от проникновения вибраций и т.д. выполняются в соответствии с требованиями Евросоюза.

6. Стоимость здания из древесины не превышает стоимости аналогичных зданий из бетона и кирпича.

Панели домов выполнены из CLT. Материал широко применяется для наружных и внутренних стен, потолков и крыш. CLT представляет собой деревянный строительный материал, состоящий из перекрестно сращенных отдельных слоев пиломатериала, называемых ламелями. Структура CLT формируется из 3, 5, 7 или более слоев ламелей, которые различаются по толщине.

Технология производства выглядит следующим образом. Сращенные и строганные ламели укладываются перпендикулярно друг к другу, после чего поверхность проклеивается под необходимым углом. Чтобы избежать неконтролируемого образования трещин, края досок не проклеиваются. Слои проходят предварительное прессование с краев перед применением основного пресса. Для склеивания элементов используется меламиновый клей. Согласно европейской норме (EN 301) этот материал используется для склейки несущих деревянных элементов, как при внутреннем, так и при наружном применении. Он устойчив к погодным воздействиям, исключается видимый клеевой шов.

Быстрая и легкая сборка элементов, а также подготовка и обрезка плит под размер осуществляется еще на заводе при помощи автоматических обрабатывающих центров, что позволяет значительно сэкономить время строительства. Легкость материала позволяет реализовывать как новые архитектурные идеи, так и традиционные строительные схемы. Здания из этих плит являются сейсмоустойчивыми. По словам старшего вице-президента компании «Мется Вууд» Ари Тиукканена [7], в случае изготовления панельных элементов на заводе стоимость строительства здания с использованием CLT-панелей в России должна быть ниже, чем в Финляндии.

Европейская CLT набирает популярность в США. Американцы оценивают эту систему как «инновационный метод деревянного строительства». По прогнозам немецкого журнала «Holzkurier», спрос на американском рынке может составить до 4 млн м³ этого материала.

В России традиционно деревянное домостроение рассматривается как малоэтажное. В восприятии россиян деревянное здание предназначено, скорее, для дачи или хозяйственной постройки. Статистика за последние три года говорит о сокращении производства деревянных домов заводского изготовления (2011 г. – 202,4 тыс. м², 2012 г. – 187,6 тыс. м², 2013 г. – 182,8 тыс. м²). Вместе с тем новости, поступающие из Европы и Северной Америки, побуждают российских специалистов и бизнесменов пересмотреть сложившиеся стереотипы.

В Вологодской области в 2013 г. начал формироваться Международный кластер деревянного домостроения и деревообработки. Программа развития Международного кластера позволяет объединить подготовку профессиональных кадров, привлечение новых технологий, создание современных производств с привлечением как отечественного, так и финского опыта. Реализация программы создаст предпосылки повышения доли импортозамещающей продукции, а также создаст базу для расширения номенклатуры потенциальных экспортных товаров Вологодской области. Стоит отметить достаточно высокую степень заинтересованности финских компаний в участии в данном проекте.

Кластерный подход стал одним из действенных инструментов государственной политики по повышению национальной и региональной конкурентоспособности во многих странах. Финляндия создала конкурентоспособную систему по подготовке кадров, сеть научных парков и современных деревообрабатывающих производств.

Географическая близость расположения Вологодской области и Финляндии, схожие климатические условия, заинтересованность в сотрудничестве создают хорошие предпосылки для взаимодействия. Принимая

во внимание российско-финляндскую Декларацию о партнерстве для модернизации от 11 марта 2011 г., в которой одним из пунктов взаимных интересов записано развитие деревянного домостроения, Торговое представительство Российской Федерации в Финляндии поддержало программу по двустороннему сотрудничеству и развитию технологической кооперации в деревообработке и деревянном домостроении.

Разработанная стратегия и программа Международного кластера деревянного домостроения и деревообработки Вологодской области, при их успешном воплощении, могут быть использованы при создании отраслевых кластеров в других регионах России с учетом их территориальных особенностей.

В октябре 2013 г. в Торгпредстве России в Финляндии состоялось заседание круглого стола «Многоэтажное энергоэффективное деревянное домостроение. Потенциал российского рынка» с участием более пятидесяти представителей строительных, инжиниринговых и девелоперских компаний, органов государственной власти, а также научно-исследовательских учреждений России и Финляндии.

Участники рассмотрели возможности интенсификации использования древесины в многоэтажном энергоэффективном домостроении с применением элементов финского опыта в России, уделив особое внимание проблемам адаптации строительных и противопожарных норм Европейского союза к условиям Российской Федерации, обмену инженерным, конструкторским и технологическим опытом. Были рассмотрены перспективы реализации пилотных проектов многоэтажного деревянного домостроения в ряде российских регионов.

Семинар в Торгпредстве принял рекомендацию, адресованные органам исполнительной власти, экспертному и бизнес-сообществу [8]:

I. Рекомендовать российским федеральным и региональным органам исполнительной власти, организациям и предприятиям, в чью компетенцию входят вопросы капитального строительства и архитектуры,

а также пространственного планирования, изучить прогрессивный опыт Финляндии по многоэтажному энергоэффективному деревянному домостроению. Оценить конкурентные преимущества деревянного домостроения в российских условиях.

II. Ассоциациям бизнеса, Торгово-промышленным палатам, администрациям субъектов Российской Федерации с участием Министерства строительства и ЖКХ Российской Федерации (при его координирующей роли), Министерства Российской Федерации по развитию Дальнего Востока разработать предложения по формированию рынка деревянного домостроения с учетом региональных, национальных особенностей и традиций.

III. Внести изменения в следующие российские своды правил (СП):

– В СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции» (Актуализированная редакция СНиП II-25-80). Учесть современные технологии производства деревянных конструкций.

– В СП 31-105-2002 «Проектирование и строительство энергоэффективных одноквартирных жилых домов с деревянным каркасом». Указанный свод правил охватывает строительство деревянных домов только из каркасов и из досок и не учитывает современные возможности производителей комплектов быстровозводимых домов на деревянном каркасе высокой степени заводской готовности на основе клееных изделий.

– В СП 31-106-2002 «Проектирование и строительство инженерных систем одноквартирных жилых домов». Учесть современные системы жизнеобеспечения деревянных домов.

– В СП 30.13330-2012 «Внутренний водопровод и канализация. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*» привести п.11.1 в соответствие с европейскими нормами.

IV. Разработать новые стандарты: ГОСТ Р «Жилые здания из древесины. Общие технические условия» и ГОСТ Р «Здания бревенчатые и брусчатые, изготовленные промышленным способом. Общие технические условия».

В нормативной правовой базе Российской Федерации в настоящее время отсутствуют стандарты, регламентирующие общие требования оценки и контроля, а также экологической безопасности жилых зданий из древесины на всех стадиях их создания. Кроме того, отсутствуют стандарты, определяющие качество изготовленных в промышленных условиях бревенчатых и брусчатых зданий и других бревенчатых и брусчатых построек, предназначенных для круглогодичного пользования.

V. Адаптировать российские противопожарные нормы в деревянном домостроении с действующими европейскими нормами. В частности, разработать единый комплекс российских противопожарных требований к домам, которые можно отнести к деревянным и имеющим высоту более двух этажей.

Решение вышеуказанных задач необходимо осуществлять с привлечением Министерства строительства и ЖКХ Российской Федерации и Министерства по чрезвычайным ситуациям Российской Федерации.

VI. Поддержать инициативу Санкт-Петербурга, Архангельской области, Республики Карелия по реализации пилотных проектов многоэтажного деревянного домостроения. Принять к сведению уникальный потенциал и инвестиционную привлекательность Дальневосточного Федерального округа, готовность его территорий к взаимодействию с предприятиями Финляндии. Просить Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, Министерство строительства и ЖКХ Российской Федерации, Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий поддержать данную инициативу и сформировать соответствующую совместную с финскими партнерами Программу реализации указанных пилотных проектов на 2014–2017 гг.

VII. Поддержать инициативу Вологодской области, ее финских партнеров по формированию регионального кластера в области деревообрабатывающей промышленности и деревянного домостроения. Отметить важ-

ность проводимой работы по развитию кадрового потенциала путем реформирования профессионального и дополнительного профессионального образования с участием финских образовательных организаций.

Идея реализации пилотного проекта в рамках регионального международного кластера по деревянному домостроению и деревообработке получила поддержку со стороны руководства Вологодской области. Рассматривается вопрос строительства многоэтажного здания с использованием деревянных конструкций для демонстрации позитивного опыта в рамках постоянной выставки деревянного домостроения в г. Череповце совместно с финскими организациями.

В случае успешной реализации такого проекта можно создать условия для использования указанной технологии в промышленных масштабах, а также строительства в России новых мощностей, например, по производству панелей CLT. По подсчетам специалистов Ассоциации лесопильных предприятий Финляндии, при создании одного рабочего места в лесопромышленном комплексе появляется пять мест в сопутствующих отраслях [9].

Вопрос популяризации многоэтажного деревянного домостроения в России рассматривался в апреле 2014 г. в г. Москве (в Министерстве промышленности и торговли Российской Федерации) в ходе 5-го заседания Рабочей группы по сотрудничеству в лесопромышленном комплексе российско-финляндской Межправительственной комиссии по экономическому сотрудничеству.

На наш взгляд, многоэтажное деревянное домостроение может стать локомотивом внутреннего спроса на продукцию российского лесопромышленного комплекса, если принять во внимание актуальность региональных программ обеспечения россиян доступным и качественным жильем.

Библиографический список

1. <http://www.forestindustries.fi/> – Ассоциация лесной промышленности Финляндии.
2. <http://www.lesvesti.ru/news/expert/7889/> – Интернет-версия газеты «Лесные вести».
3. http://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset_ohjelmat_ja_karkihankkeet/metsaan_strateginen_ohjelma/ajankohtaista_mso_sta/sixten_sunabacka_tem_n_blogissa_suomen_puujalka_kestaa_myos_siirryttaessa_biotalouteen.114799.news – блог стратегического директора Министерства экономики и занятости Финляндии С. Сунабаки.
4. https://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset_ohjelmat_ja_karkihankkeet/metsaan_strateginen_ohjelma/ohjelma?v_114439=238468 – Министерство экономики и занятости Финляндии
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. N 1050 «О федеральной целевой программе «Жилище» на 2011–2015 гг.»
6. <http://www.gks.ru/>
7. Меморандум о результатах встречи Торгового представителя Российской Федерации в Финляндии Валерия Шлямина с вице-президентом компании «Метса Вууд» Ари Тиукканеном от 13.08.2014 г.
8. Многоэтажное энергоэффективное деревянное домостроение. Потенциал российского рынка». Сборник материалов круглого стола. 15 октября 2013 г. г. Хельсинки / отв. Ред. В.А. Шлямин, – п. Правдинский: ФГБНУ «Росинформагротех». 2014. – 128 с.
9. Меморандум о результатах встречи Торгового представителя Российской Федерации в Финляндии Валерия Шлямина с директором Ассоциации лесопильных предприятий Финляндии Кайем Меривуори от 21.08.2014 г.

CONSTRUCTION – LOCOMOTIVE FORESTRY COMPLEX MODERNIZATION OF FINLAND

Shlyamin V.A., Russia's trade representative in Finland, Dr. Sci. (Economic); Tyurin A.Ye., a consultant of the Trade Representation of the Russian Federation in Finland, Ph.D (Economic)

rusfintrade@yandex.ru, tyurin84@gmail.com
00140, Helsinki, Tehteenkatu 1C

In the article the authors analyze the experience of Finland in the modernization of the timber industry through the promotion of the wooden construction, including a multi-storey construction, and the use of construction materials, such as CLT-panel construction. The perspectives of the use of modern and environmentally friendly technologies in Russia are shown. Finland is one of the world leaders in housing construction. About 26 thousand low-rise buildings were built in the country in 2013, and state support for wood construction is a part of the support of the construction companies in general. The companies' goal is to maximize the possibility of the use of wood raw material both in the individual house-building and in multi-storey construction. The greatest potential of wooden components use is incorporated in high-rise building. The government of the Vologda region began to form an international cluster of wooden construction in 2013. The cluster approach will be one of the most effective tools of competition in the building, personnel policy, the establishment of wood-processing industries.

Keywords: wooden house construction, international cluster, Russian-Finish cooperation.

References

1. <http://www.forestindustries.fi/> – Assosiatsiya lesnoy promyshlennosti Finlyandii [Finnish Forest Industries Federation].
2. <http://www.lesvesti.ru/news/expert/7889/> – Internet-versiya gazety «Lesnye vesti» [online version of the newspaper “Forest News”].
3. http://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset_ohjelmat_ja_karkihankkeet/metsaalan_strateginen_ohjelma/ajankohtaista_mso_sta/sixten_sunabacka_tem_n_blogissa-suomen_puujalka_kestaa_myos_siirryttaessa_biotalouteen.114799.news – blog strategicheskogo direktora Ministerstva ekonomiki i zanyatosti Finlyandii S. Sunabakki [Blog strategic director of the Ministry of Economy and Employment of Finland S. Sunabakki].
4. https://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset_ohjelmat_ja_karkihankkeet/metsaalan_strateginen_ohjelma/ohjelma?v_114439=238468 – Ministerstvo ekonomiki i zanyatosti Finlyandii
5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17 dekabrya 2010 g. N 1050 «O federal'noy tselevoy programme «Zhilishche» na 2011–2015 gg.» [Ministry of Economy and Employment of Finland].
6. <http://www.gks.ru/>
7. Memorandum o rezul'tatakh vstrechi Torgovogo predstavatelya Rossiyskoy Federatsii v Finlyandii V. Shlyamina s vitseprezidentom kompanii «Metsya Vuud» Ari Tiukkanenom ot 13.08.2014 g. [Memorandum on the outcome of the meeting of the Trade Representative of the Russian Federation in Finland Valery SHLYAMINA vice-president of the company “Metsд Vuud” Ari Tiukkanenom from 13.08.2014].
8. Mnogoetazhnoe energoeffektivnoe derevyannoe domostroenie. Potentsial rossiyskogo rynka». Sbornik materialov kruglogo stola. 15 oktyabrya 2013 g. g. Khel'sinki [Multi-story energy-efficient wooden construction. Potential of the Russian market. “The collection of materials of the round table. October 15, 2013 in Helsinki] p. Pravdinskiy: FGBNU «Rosinformagrotekh». 2014. 128 s.
9. Memorandum o rezul'tatakh vstrechi Torgovogo predstavatelya Rossiyskoy Federatsii v Finlyandii Valeriya Shlyamina s direktorom Assosiatsii lesopil'nykh predpriyatii Finlyandii Kayem Merivuori ot 21.08.2014 g. [Memorandum on the outcome of the meeting of the Trade Representative of the Russian Federation in Finland V. Shlyamina with the director of the Association of Finnish sawmills Kayem Merivuori].

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗОВ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

В.С. ШАЛАЕВ, *проф. каф. технологии деревоперерабатывающих производств МГУЛ,
д-р техн. наук, директор ИСИЛ*

shalaev@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, 1-я Институтская, д.1, МГУЛ

Рассматриваются результаты мониторинга деятельности семи вузов лесотехнического профиля. Подчеркивается лидирующее место в этой группе двух вузов: Поволжского государственного технологического университета и Московского государственного университета леса. Данные мониторинга предопределяют устранение из российского образовательного пространства большинства рассматриваемых вузов лесотехнического профиля, что ни в коей мере не определяется потребностью лесного комплекса. При этом никто не говорит об уровне, качестве подготовки специалистов с высшим образованием для лесного комплекса в укрупненных вузах. И это следует рассматривать как весьма важный, если не важнейший аргумент в оценке эффективности мониторинга деятельности вузов лесотехнического профиля. При этом международное лесное сообщество, обеспокоенное проблемами лесного образования, на XXIII Всемирном конгрессе Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), который объединяет порядка 15 тыс. ученых из 700 организаций более чем 100 стран, обсуждало в 2010 г. этот вопрос на специальном заседании на тему «Будущие изменения в лесном образовании». В дискуссии приняли участие известные в мире представители научного сообщества, студенчества, бизнеса и промышленности, неправительственных организаций, международной лесной политики. Было подчеркнуто, что всестороннее лесное образование является здоровой основой лесного сектора в будущем и должно включать различные аспекты меняющихся социальных, экономических и политических условий. Рассматривались две главных цели: изменения и идентификация составляющих эффективного лесного образования в будущем, роль и конкретные действия международного научного лесного сообщества. По итогам дискуссии было отмечено, что фундаментальные изменения в обществе требуют серьезного внимания к лесному образованию. На первый план перед лесным образованием выдвигается необходимость рассмотрения широкого диапазона критических проблем, с которыми встречается современное общество.

Ключевые слова: мониторинг, вузы лесотехнического профиля.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки» от 7 мая 2012 г. было

начато проведение мониторинга деятельности образовательных учреждений, в первую очередь вузов. Главная цель, сформулированная в Указе «...оценки эффективности

Итоги мониторинга деятельности вузов в 2012–2014 гг. [3–5]
Results of the monitoring activities of universities in 2012-2014. [3-5]

Годы	2012	2013	2014
Охват мониторингом вузов и филиалов	502 вуза, 930 филиалов	934 вуза, 1478 филиалов	968 вузов, 1356 филиалов
Имеют признаки неэффективности	136 вузов, 450 филиалов	418 вузов и филиалов	1006 вузов и филиалов

их работы, реорганизации неэффективных государственных образовательных учреждений...» [1]. Далее, соответствующая Межведомственная комиссия в Протоколе заседания от 29 апреля 2013 г. подчеркнула, что целью мониторинга является формирование статистических и аналитических материалов ...последующего принятия решений в отношении вузов и их филиалов, отнесенных к «группе образовательных организаций, имеющих признаки неэффективности» [2].

Для любой управляемой системы можно привести два управляющих фактора: «кнут» и «пряник». В данном случае мы имеем дело в первую очередь с фактором «кнута». Оценим эффективность его действия.

В качестве итогов мониторинга деятельности вузов можно привести обобщающую информацию за 2012–2014 гг. (табл. 1).

Эффективность мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования рассмотрим на примере вузов лесотехнического профиля, традиционно работавших и работающих в интересах лесного комплекса страны. В качестве примера возьмем наиболее известные и давно работающие вузы, такие как (в алфавитном порядке) Брянская государственная инженерно-техническая академия (БГИТА), Воронежская государственная лесотехническая академия (ВГЛТА), Московский государственный университет леса (МГУЛ), Поволжский государственный технологический университет (Волготех), Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (СПбГЛТУ), Сибирский государственный

технологический университет (СибГТУ), Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ). В табл. 2–4 приведены значения показателей по итогам мониторинга деятельности указанных вузов, опубликованным в 2012–2014 гг. [6–7]. Среди этих вузов нет известного Архангельского лесотехнического института (АЛТИ), вошедшего в состав Северного (Арктического) федерального университета (САФУ), так как лесная, лесотехническая составляющая в деятельности САФУ (по отзывам ряда ответственных представителей АЛТИ) практически «потерялась» и это, как говорится, в лучшем случае.

Что обращает на себя внимание? Первый год проведения мониторинга, очевидно, явился первым опытом, и вряд ли в должной мере может быть сравним с последующими. Последующие два в большей степени сопоставимы, в этом случае возможно сделать некоторые выводы. Первый из них относительно видов деятельности:

– лишь одна только образовательная деятельность несколько улучшилась, если в 2013 г. ни один из 7 рассматриваемых вузов не преодолел пороговое значение (как, впрочем, и в 2012 г.), то в 2014 г. – два вуза из семи (Брянская государственная инженерно-техническая академия и Поволжский государственный технологический университет) преодолели этот уровень;

– научно-исследовательская деятельность по пороговым значениям осталась не преодолена для Брянской государственной инженерно-технической академии и Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета как в 2013, так и в 2014 гг.;

Значения показателей по итогам мониторинга деятельности вузов (2012 г.)
Scores for the results of monitoring activities of universities (2012)

Наименование вуза	Значения показателей по видам деятельности				
	Образовательная	Научно-исследователь- ская	Международная	Финансово-эконо- мическая	Инфра- структура
БГИТА	59,309/60	14,583/50	0,0188/0,7	762,499/1100	10,302/11
ВГЛТА	53,573/60	36,344/50	0,0729/0,7	982,502/1100	10,211/11
МГУЛ	59,413/60	71,481/50	0,0087/0,7	1123,533/1100	16,558/11
Волготех	59,52/60	122,696/50	0,0/0,7	1265,77/1100	10,919/11
СПбГЛТУ	55,742/63	53,635/75	0,0583/3	1218,987/1500	16,695/13
СибГТУ	53,037/60	71,933/50	0,0034/0,7	1000,996/1100	14,692/11
УГЛТУ	55,546/60	82,148/50	0,001/0,7	1385,63/1100	12,261/11

Примечание: в знаменателе показаны пороговые значения

Значения показателей по итогам мониторинга деятельности вузов (2013 г.)
Scores for the results of monitoring activities of universities (2013)

Наименование вуза	Значения показателей по видам деятельности					
	Образова- тельная	Научно-исследова- тельная	Международная	Финансово-эко- номическая	Инфра- структура	Трудоустройство
БГИТА	55,88/60	44,86/50	2,03/1	1107,05/1100	11,25/11	96.684/98,276
ВГЛТА	54,56/60	75,56/50	9,94/1	1173,12/1100	10,39/11	98.236/98,276
МГУЛ	57,88/60	109,15/50	5,79/1	1350,87/1100	18,15/11	99.771/98,276
Волготех	55,74/60	148,35/50	3,06/1	1925,5/1100	12,75/11	99.317/98,243
СПбГЛТУ	56,28/63	58,91/75	6,01/83	1649,81/1500	19,56/813	97.885/98,684
СибГТУ	53,41/60	124,38/50	0,32/1	1471,18/1100	14,4/11	97,748/98,932
УГЛТУ	51,04/60	167,64/50	1,11/1	1724,91/1100	14,81/11	98.241/97,895

Примечание: в знаменателе показаны пороговые значения.

Значения показателей по итогам мониторинга деятельности вузов (2014 г.)
Scores for the results of monitoring activities of universities (2014)

Наименова- ние вуза	Значения показателей по видам деятельности						
	Образова- тельная	Научно-исследео- вательская	Междуна- родная	Финансово-эко- номическая	Инфраструк- тура	Трудоустрой- ство	Дополн. Показатель
БГИТА	62,08/60	27,07/51,28	2,14/1	1338,84/1327,57	12,78/13,92	95.818/98,516	4,58/2,78
ВГЛТА	54,52/60	92,65/51,28	11,35/1	1332,12/1327,57	11,46/13,92	97,66/98,516	4,14/2,78
МГУЛ	58,1/60	115,94/51,28	5,82/1	1827,7/1327,57	18,53/13,92	98,698/98,516	3,97/2,78
Волготех	62,36/60	154,81/51,28	3,688/1	1750,85/1327,57	12,81/13,92	99,437/98,705	4,73/2,78
СПбГЛТУ	55,63/66,38	55,97/122,41	6,38/4,92	1674,42/1839,87	20,37/13,13	98,488/99,088	4,31/4,52
СибГТУ	56,94/60	102,06/70,1	0,278/1	1534,65/1566,11	14,63/14,51	96,843/97,778	4,85/2,87
УГЛТУ	54,11/60	159,64/70,1	1,528/1	1788,66/1566,11	16,15/14,51	97,642/97,848	4,51/2,87

Примечание: в знаменателе показаны пороговые значения.

**Основные количественные характеристики системы
высшего образования (раздел 5.3)
Basic quantitative characteristics of the system higher education (section 5.3)**

Годы	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Число образовательных организаций высшего образования, имеющих признаки неэффективности	167	139	111	84	56	28

– Сибирский государственный технологический университет в обоих мониторингах не смог преодолеть пороговое значение в разделе международной деятельности;

– по остальным видам деятельности показатели по совокупности рассматриваемых вузов не улучшились.

В целом же, если в 2013 г. (табл. 3) было 15 показателей в «красной зоне», т.е. для семи рассматриваемых вузов 15 показателей не смогли преодолеть пороговые значения, то в 2014 г. (табл. 4) это уже 18 показателей. Мониторинг как возможный инструмент улучшения качества всей деятельности вуза, повышения эффективности не работает в должной мере, по крайней мере, для рассматриваемых вузов. И налицо заданность мониторинга в большей степени на сокращение количества вузов, а не на повышение эффективности деятельности. В конечном итоге, это подтверждается запланированными количественными характеристиками системы высшего образования (табл. 5), приведенными в распоряжении Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2012 г. № 2620-р г. в соответствующем Плане мероприятий («дорожная карта») «Изменения в отраслях социальной сферы, направленные на повышение эффективности образования и науки», раздел 5.3. [8].

При этом в 2014 г. в группу неэффективных попали два, не самых слабых для лесотехнического направления, вуза. Их реорганизация, объединение с более крупным и эффективным вузом приведет к существенному удару по системе высшего образования для лесного комплекса страны. Это показывает пример включения АЛТИ в состав САФУ.

Возможно, уровень эффективности деятельности укрупненных вузов и повысится, нельзя делать выводы за такой короткий промежуток времени, но ассимиляция вузов лесотехнического профиля вряд ли пойдет последним на пользу. Создание, выращивание научно-образовательных школ лесного, лесотехнического направления имеет свою специфику, требует больших усилий и затрат, как материальных, так и временных. Кстати и показатели собственно самого САФУ, например, по таким видам деятельности как «международная», «инфраструктура», «трудоустройство» существенно ниже, чем у большинства рассматриваемых вузов лесотехнического профиля.

В качестве дополнительного аргумента можно привести результаты последнего конкурсного отбора научных проектов в рамках реализации государственного задания в сфере научной деятельности, когда среди 7 победителей по разделу «Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство» пять из рассматриваемых вузов, в том числе два!!! из СПбГЛТУ (признанному по итогам последнего мониторинга неэффективным), по одному из МГУЛ и Волготеха [9]. Здесь логично подчеркнуть еще один, явно выраженный вывод. Данные мониторингов подчеркивают лидирующее место (по количеству первых-вторых мест по видам деятельности среди рассматриваемых вузов) в этой группе именно этих двух вузов: Поволжского государственного технологического университета и Московского государственного университета леса.

Показатели же табл. 5 и данные мониторинга определяют устранение из российского образовательного пространства большинства рассматриваемых вузов

лесотехнического профиля, что ни в коей мере не определяется потребностью лесного комплекса. При этом никто не говорит об уровне, качестве подготовки специалистов с высшим образованием для лесного комплекса в укрупненных вузах. И это следует рассматривать как весьма важный, если не важнейший аргумент в оценке эффективности мониторинга деятельности вузов лесотехнического профиля.

При этом международное лесное сообщество, обеспокоенное проблемами лесного образования, на XXIII Всемирном конгрессе Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), которое объединяет порядка 15 тыс. ученых из 700 организаций более чем 100 стран, в 2010 г. обсуждало этот вопрос на специальном заседании (Президентской дискуссии) на тему «Будущие изменения в лесном образовании». В дискуссии приняли участие известные в мире представители научного сообщества, студенчества, бизнеса и промышленности, неправительственных организаций, международной лесной политики.

Было подчеркнуто, что всестороннее лесное образование является здоровой основой лесного сектора в будущем и должно включать различные аспекты меняющихся социальных, экономических и политических условий. Рассматривались две главных цели: изменения и идентификация составляющих эффективного лесного образования в будущем; роль и конкретные действия международного научного лесного сообщества.

По итогам дискуссии было отмечено, что фундаментальные изменения в обществе требуют серьезного внимания к лесному образованию. На первый план перед лесным образованием выдвигается необходимость рассмотрения широкого диапазона критических проблем, с которыми встречается современное общество. Отмечая значимость проблемы и обосновывая это важное направление в работе ИЮФРО, было предложено даже создать международную целевую группу ИЮФРО по изучению проблем и

разработке направлений и форм совершенствования лесного образования [10], именно лесного образования.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 599 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки».
2. Протокол заседания Межведомственной комиссии по проведению мониторинга деятельности государственных образовательных учреждений высшего образования в целях оценки эффективности их работы от 29 апреля 2013 г. № ДЛ-12/05пр. http://минобрнауки.рф/новости/3354/файл/2223/13.05.14-Протокол_ДЛ-12_05.pdf
3. Презентация директора Национального центра общественно-профессиональной аккредитации, д.т.н., проф. Наводнова В.Г. «Новое в оценке образовательных организаций высшего образования», Москва, Семинар «Экспертиза качества профессионального образования», 19–23 мая 2014.
4. Протокол заседания Межведомственной комиссии по проведению мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования от 13 декабря 2013 г. № ДЛ-33/05пр. [http://минобрнауки.рф/новости/3873/файл/2673/ДЛ-33_05пр%20от2013.12.2013%20\(2\).pdf](http://минобрнауки.рф/новости/3873/файл/2673/ДЛ-33_05пр%20от2013.12.2013%20(2).pdf)
5. Протокол заседания Межведомственной комиссии по проведению мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования от 3 июня 2014 г. № ДЛ-25/05пр. <http://минобрнауки.рф/новости/4233/файл/3186/Протокол%20заседания%20МВК%203%20июня%202014%20ДЛ-25:05пр.pdf>
6. Мониторинг деятельности федеральных образовательных учреждений высшего профессионального образования. Российская Федерация. Министерство образования и науки Российской Федерации. Москва, 2012. http://минобрнауки.рф/пресс-центр/2774/файл/1265/12.10.31-Мониторинг_Результаты.pdf
7. Информационно-аналитические материалы по результатам анализа показателей эффективности образовательных организаций высшего образования. <http://www.miccedu.ru/monitoring/>
8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2012 г. № 2620-р г. Москва. План мероприятий («дорожная карта») «Изменения в отраслях социальной сферы, направленные на повышение эффективности образования и науки», раздел 5.3. <http://www.rg.ru/2013/01/14/obraz-eff-site-dok.html>
9. Материалы сайта Минобрнауки <http://минобрнауки.рф/>
10. Материалы XXIII Всемирного конгресса ИЮФРО, Сеул, Республика Корея, 23–28 августа 2010. Президентская дискуссия. <http://www.iufro2010.com>

THE EFFECTIVENESS OF MONITORING FOREST
TECHNICAL UNIVERSITIES' ACTIVITIES

Shalaev V.S., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)

shalaev@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1stInstituskayast., 1, 141005, Mytishchi, Moscow region, Russia

This article presents the monitoring results of seven forest technical universities activities. The leading position of two universities in this group is emphasized. These are the Volga State Technological University and the Moscow State Forest University. The monitoring data predetermine elimination of the majority of the forest technical universities monitored from the Russian educational space, which is not caused by the forest complex demands. Thus the level, the quality of the higher education specialists training for a forest complex in the integrated universities is not discussed. Yet it should be considered as a very important, if not the major argument in an assessment of efficiency of forest technical universities activity monitoring. The international forest community, concerned by the problems of forest education, discussed this issue on the last World Congress of the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), which unites 15 thousand scientists from 700 organizations of more than 100 countries in 2010 on a special meeting on the subject «The Future Changes in Forest Education». Famous scientists, representatives of students, business and the industry, non-governmental organizations, the international forest policy, took part in the discussion. It was underlined that comprehensive forest education is a healthy basis of the forest sector in the future and should include various aspects of the changing social, economic and political conditions. Two main goals, the future challenges and the identification of components for an attractive and effective forest education in the future and the role and specific actions of the international scientific forest community were considered. Following the results of the discussion, it was noted that fundamental changes in the society demand close attention to the forest education. The forest education need in the consideration of a wide range of critical problems which modern society meets is put in the forefront.

Keywords: monitoring, forest technical universities.

References

1. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 7 maya 2012 g. № 599 «O merakh po realizatsii gosudarstvennoy politiki v oblasti obrazovaniya i nauki» [The decree of the President of the Russian Federation from May, 7th, 2012 № 599 «About measures on realization of a state policy in the field of education and sciences»].
2. Protokol zasedaniya Mezhvedomstvennaya komissiya po provedeniyu monitoringa deyatel'nosti gosudarstvennykh obrazovatel'nykh uchrezhdeniy v tselyakh otsenki effektivnosti ikh raboty vysshego obrazovaniya ot 29 aprelya 2013 g. № DL-12/05pr. [The report of session the Interdepartmental commission on carrying out of monitoring of activity of the state educational establishments with a view of an estimation of efficiency of their work of higher education from April, 29th, 2013 № ДЛ-12/05пр.]. Access mode: http://minobrnauki.rf/novosti/3354/fajl/2223/13.05.14-Protokol_DL-12_05.pdf
3. Prezentatsiya direktora Natsional'nogo tsentra obshchestvenno-professional'noy akkreditatsii, d.t.n., prof. Navodnova V.G. «Novoe v otsenke obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya» [Presentation of director of the National center of socially-professional accreditation, prof. Navodnov V.G. «New in an estimation of the educational organizations of higher education», Moscow, the Seminar «Examination of quality of vocational training», on May, 19-23th 2014], Moskva, 2014.
4. Protokol zasedaniya Mezhvedomstvennaya komissiya po provedeniyu monitoringa effektivnosti obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya ot 13 dekabrya 2013 g. № DL-33/05pr. [The report of session the Interdepartmental commission on carrying out of monitoring of efficiency of the educational organizations of higher education from December, 13th, 2013 № ДЛ-33/05пр.]. Access mode: [http://minobrnauki.rf/novosti/3873/fajl/2673/DL-33_05pr_%20ot2013.12.2013_%20\(2\).pdf](http://minobrnauki.rf/novosti/3873/fajl/2673/DL-33_05pr_%20ot2013.12.2013_%20(2).pdf)
5. Protokol zasedaniya Mezhvedomstvennoy komissii po provedeniyu monitoringa effektivnosti obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya ot 3.06 2014 g. № DL-25/05 pr. [The report of session of the Interdepartmental commission on carrying out of monitoring of efficiency of the educational organizations of higher education from June, 3rd, 2014]. Access mode: http://minobrnauki.rf/novosti/4233/fajl/3186/Protokol_%20zasedaniya_%20MVK_%203_%20ijunya_%202014_%20DL-25:05pr.pdf
6. Monitoring deyatel'nosti federal'nykh obrazovatel'nykh uchrezhdeniy vysshego professional'nogo obrazovaniya. Rossiyskaya Federatsiya. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii [Monitoring of activity of federal educational establishments of the higher vocational training. The Russian Federation. The Ministry of Education and sciences of the Russian Federation. Moscow, 2012] Access mode: http://minobrnauki.rf/press-centr/2774/fajl/1265/12.10.31-Monitoring_Rezul'taty.pdf
7. Informatsionno-analiticheskie materialy po rezul'tatam analiza pokazateley effektivnosti obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya [Information-analytical materials by results of the analysis of parameters of efficiency of the educational organizations of higher education]. Available at: www.miccedu.ru/monitoring.
8. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 30 dekabrya 2012 g. № 2620-r g. Moskva [The order of the Government of the Russian Federation from December, 30th, 2012 2620-V Moscow. A plan of measures («motoring map») «Changes in branches of the social sphere, directed on increase of efficiency of education and a science», section 5.3]. Access mode: www.rg.ru/2013/01/14/obraz-eff-site-dok.html
9. Materialy sayta Minobrnauki [Materials of site of Minobrnauki]. Access mode: <http://minobrnauki.rf>.
10. Materialy XXIII Vsemirnogo kongressa IYuFRO, Seul, Respublika Koreya, 23–28 avgusta 2010 [Materials of XXIII World congress IUFRO, Seoul, Republic Korea, on August, 23-28rd 2010. Presidential discussion]. Access mode: www.iufro2010.com.

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ В МИРЕ: ОТ ЛЮБЛЯНЫ ДО СОЛТ-ЛЕЙК-СИТИ

В.С. ШАЛАЕВ, проф. каф. технологии перерабатывающих производств МГУЛ,
д-р техн. наук, директор ИСИЛ

shalaev@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, 1-я Институтская, д.1, МГУЛ

Рассматривается научная направленность исследований, наиболее близких 5-му отделению ИЮФРО «Лесная продукция»: доклад «Будущие исследования лесной продукции» Вальтера Лизе на XVIII Всемирном конгрессе ИЮФРО в 1986 г. в Любляне; доклад «Исследования лесной продукции в ИЮФРО: история и будущее для потребностей общества» Роберта Янгса и Джона Янгквиста на XXI Всемирном конгрессе ИЮФРО в 2000 г. в Малайзии. Дается ссылка на направленность проведенной в Португалии в 2012 г. Конференции мирового уровня, организованной на базе 5-го отделения ИЮФРО. Приводится спектр действующих в настоящее время в рамках 5-го отделения ИЮФРО 32 рабочих и специальных исследовательских групп, которые отражают совокупность научных исследований ученых мирового сообщества, работающих по рассматриваемой тематике. Дается некоторая характеристика программы заседаний XXIV Всемирного конгресса ИЮФРО и Стратегии «Связывая леса, науку и людей» на 2015–2019 гг. Приводятся пять укрупненных тематических направлений Стратегии: 1. Леса для людей; 2. Леса и изменения климата; 3. Леса и лесная продукция для «зеленого» будущего; 4. Биоразнообразие, экосистемные услуги и биоинвазия; 5. Взаимодействие лесов, почвы и воды. Подробнее рассматривается третье направление «Леса и лесная продукция для «зеленого» будущего». Даются акценты его направленности: открытие новых лесных продуктов и услуг – биоэнергии, биоматериалов, недревесных продуктов, разнообразных услуг, обеспечивающих совершенствование окружающей среды и благосостояние человека; оптимальное использование лесного сырья, его экономических, социальных и экологических преимуществ при обеспечении устойчивости развития и вклада в «зеленое» будущее; разработка системы истинной оценки вклада лесов, их экосистемных услуг, лесной продукции в традиционный ВВП и «зеленую/на биооснове» экономику.

Ключевые слова: лесные исследования, лесная продукция, направленность

Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО) за более чем 120 лет развития охватывает весь спектр лесных исследований. Такое значимое направление, как «Лесная продукция», представлено в ИЮФРО отделением 5, одним из девяти функционирующих.

Еще в 1986 г. на XVIII Всемирном конгрессе ИЮФРО в Югославии профессор Вальтер Лизе/Walter Liese (Президент ИЮФРО в 1977–1981 гг.) выступил с докладом «Будущие исследования лесной продукции», в котором дал их достаточно подробную характеристику [1]. Он выделил ряд будущих направлений исследований, среди которых: спрос и запасы; быстрорастущие плантации; отходы; склеивание; защита древесины; химическое использование; менее известные породы древесины; основные породы древесины; древесина для конструкций; другие лигно-целлюлозные ресурсы; информативность и реализация результатов; междисциплинарный подход; уменьшение ресурсного обеспечения исследований.

В 2000 г. на XXI Всемирном конгрессе ИЮФРО в Малайзии профессор Роберт Л.Янгс/Robert L.Youngs и Джон А.Янгквист/John A.Youngquist (руководители 5-го отделения ИЮФРО) представили доклад «Исследования лесной продукции в ИЮФРО: история и будущее для потребностей общества» [2] с их оценкой направлений исследований в мире, среди которых: новые знания факторов качества древесины; новые подходы к эффективности использования древесины как инженерного материала; эффективные обрабатывающие методы в производстве для увеличения разнообразия ресурсов, условий обработки и потребностей; эффективные и экологичные методы защиты древесины; новые концепции композиционных материалов на основе древесины; методы производства с увеличением переработки тропических пород древесины; более эффективное использование древесины для энергетических целей; лучшее понимание недревесной продукции, размеров этих ресурсов и их производных; совершенствование использования бамбука и раттана; новые продвижения при анализе

годовых колец; расширение понимания техники маркетинга для увеличения эффективности соответствующей продукции для потребительских нужд.

Проведенная в Португалии (июль 2012 г.) Конференция мирового уровня, организованная на базе 5-го отделения ИЮФРО, где было представлено более 500 докладов ученых из более чем 60 стран, подтвердила отмеченные тенденции [3, 4].

Перед XXIV Всемирным конгрессом ИЮФРО, который состоялся в США в октябре 2014 г., в рамках 5-го отделения ИЮФРО сформировались и действуют 32 рабочие и специальные исследовательские группы, спектр которых отражает совокупность научных исследований ученых мирового сообщества, работающих по рассматриваемой тематике [5]. Основная часть их соответствует указанному еще в 1986 г. В. Лизе, отражает оценки Р.Л. Янгса и Дж.А. Янгквиста 2000 г., однако появились и направления, отражающие современное состояние и определенные перспективы: качество древесины; моделирование качества древесины; анализ годовых колец; исследование изменчивости древесины; физико-механические свойства древесины и материалов на основе древесины; неразрушающая оценка древесины и материалов на основе древесины; фундаментальные свойства древесины и материалов на основе древесины; защита древесины; биологическое сопротивление древесины; защита древесины в карантинных целях, пищевой упаковки и торговли; защита древесины в условиях тропиков; защита культурных артефактов; защита и окончательная обработка поверхности; сушка древесины; клеи и склеивание; пиление и машинная обработка; промышленный инжиниринг, операционный анализ и логистика; композитные и восстановленные материалы и продукция; свойства и использование плантационной древесины; использование пиломатериалов из засушливых регионов; использование древесины плантационного тика; использование древесины плантационного эвкалипта; энергия и химические продукты из лесной биомассы; маркетинг и бизнес-управление при производстве лесной про-

дукции; культура древесины; недревесные лесные продукты; медицинские лесные продукты; съедобные лесные продукты; бамбук и раттан; устойчивое использование лесной продукции; образование в области лесной продукции.

Сопоставление предшествующих прогнозов и сложившаяся в настоящее время совокупность направлений исследований рабочих и специальных исследовательских групп 5-го отделения ИЮФРО показывают их соответствие в содержательной части. Хотя необходимо подчеркнуть определенное развитие–расширение границ этого отделения и некий социально-экологический тренд, что, впрочем, вполне отвечает общей коррекции направленности лесных исследований в мире. С одной стороны, в рамках 5-го отделения «Лесная продукция» появились ранее не имеющие достаточно громкого звучания исследовательские группы, связанные с недревесными, медицинскими, съедобными лесными продуктами, бамбук и раттан, и говорящие о многофункциональности использования продукции леса; образование в области лесной продукции; культура древесины – новое и весьма интересное направление. С другой стороны, появились отвечающие общим тенденциям развития общества группы–направления, такие как «Энергия и химические продукты из лесной биомассы», «Устойчивое использование лесной продукции», «Композитные и восстановленные материалы и продукция».

Программа работы XXIV Всемирного конгресса ИЮФРО, прошедшие сессии-заседания подтверждают вышесказанное. Это и выделение целых восьми сессий в единое направление – тему «Лесная биомасса и биоэнергия». Это и направленность рассматриваемых исследований «Лесной продукции» (18 сессий–заседаний) в интересах «зеленого» будущего, их содержательная составляющая [6–9].

Не останавливаясь на достоинствах и преимуществах лесной продукции, в первую очередь способности воспроизводства, следует отметить следующее. Рост народонаселения (а это неизбежно) естественно приведет к

росту потребления лесной продукции. Тезис же устойчивого развития (хотя мы уже сейчас потребляем в 1,5–2 раза больше ресурсов, чем в состоянии обеспечить Земля [9–10]), тезис «зеленой» экономики предопределяют необходимость и целесообразность соответствующего роста производства лесной продукции при сохранении общей площади лесов. Именно поэтому развитие различных направлений исследований в рассматриваемой области носит весьма значимый и перспективный характер.

При этом рассмотренная и утвержденная Стратегия ИЮФРО «Связывая леса, науку и людей» на 2015–2019 гг. определила пять укрупненных направлений–областей и три институциональных цели развития [11]. Среди них: 1) Леса для людей; 2) Леса и изменения климата; 3) Леса и лесная продукция для «зеленого» будущего; 4) Биоразнообразие, экосистемные услуги и биоинвазия; 5) Взаимодействие лесов, почвы и воды.

Особо следует остановиться на 3-м направлении. Раздел состоит из трех частей.

Состояние проблемы

Одна треть земной суши покрыта лесами. Наши леса и возобновляемая продукция, которую они производят, будут играть решающую роль в будущем благополучии населения мира. Более четверти населения Земли зависит от лесов как средства существования. Большая часть мировой древесной биомассы потребляется населением как основное сырье для приготовления пищи и отопления. Тем не менее леса должны также обеспечивать пресной водой, чистым воздухом, биоразнообразием, хранением углерода и многими другими экосистемными услугами. Следовательно, спрос на лесную продукцию и экосистемные услуги будет расти в соответствии с увеличением населения.

Обоснование

Важнейшая роль лесов в благополучии населения Земли достаточно определена. Вместе с тем, перспективы удовлетворения будущих потребностей еще недостаточно ясны и изучены. Мы знаем, что леса могут играть

все более важную роль в устойчивости мировой экономики, на региональном и местном уровне, в благосостоянии людей, при формирующейся на биологической основе экономике. Однако обеспечение возрастающих требований для удовлетворения индивидуальных потребностей без ущерба способностям лесов является серьезной междисциплинарной задачей, стоящей перед лесным научно-исследовательским сообществом.

Акценты направленности

1. Открытие новых лесных продуктов и услуг – биоэнергии, биоматериалов, недревесных продуктов, совершенствования окружающей среды и благосостояния человека. Разработка новых продуктов из лесного сырья в последние годы ориентирована в значительной степени на биотопливо и биоэнергетику. Вместе с тем, другие виды продукции также не менее значимы, например новые способы использования древесины в строительстве, древесно-стружечные биоматериалы, включая биохимические вещества, биопластик и пищевые добавки. Кроме того, все большее признание получают разнообразные услуги леса, обеспечивающие благополучие человека. Эти новые лесные продукты и услуги должны быть исследованы и оценены по их вкладу в будущее.

2. Оптимальное использование лесного сырья. Важно максимально использовать экономические, социальные и экологические преимущества лесной продукции при обеспечении устойчивости развития и вклада в «зеленое» будущее. Обеспечивает ли лесная продукция действительно более устойчивое развитие, чем другая конкурирующая продукция (например, бетон, сталь, конопля, хлопок), особенно при целостном подходе и оценке воздействия на окружающую среду?

3. Вклад лесов и их экосистемных услуг в традиционный ВВП и «зеленую/на биооснове» экономику. Леса и предоставляемые ими услуги неоднократно и последовательно недооценены. В результате, среди прочего, мы имеем процессы обезлесения и деградации лесов. Учитывая, что в ближайшее время не прогнозируется изменения экономической

системы в мире, сможем ли мы в соответствии с текущей ситуацией разработать системы оценки, которые подтвердят истинную ценность лесов, особенно в сопоставлении с конкурирующей продукцией?

Этим положением одобренная международным лесным сообществом Стратегия на 2015–2019 гг. подчеркивает значимость рассматриваемых направлений исследований лесной продукции и в наиболее общем виде определяет динамику их развития.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Библиографический список / References

1. Liese W. Future research in forestry. Congress Report. 18th IUFRO World Congress. – 7–21 September, 1986. – p.44–52.
2. Youngs Robert L., Youngquist, John A. Forest Products Research in IUFRO: History and Future in Meeting Society's Needs. <http://iufro2000.com>.
3. 2012 IUFRO Conference, Division 5 «Forest Products». Final Program, Proceedings and Abstracts Book. 8–13 July 2012. Estoril Congress Centre, Lisbon, Portugal. 590 p.
4. Шалаев, В.С. Направления лесных исследований в мире: Навстречу XXIV Всемирному конгрессу ИЮФРО / В.С. Шалаев // Технология и оборудование для переработки древесины / Науч. тр. – Вып. 370. – М.: МГУЛ, 2014. – С. 4–9.
5. <http://www.iufro.org>
6. <http://iufro2014.com>
7. International Union of Forest Research Organizations. XXIV World Congress. Oct. 5-11, 2014. Salt Lake City, USA. Program. Outline & Schedule. 260 p.
8. International Union of Forest Research Organizations. XXIV World Congress. Oct. 5-11, 2014. Salt Lake City, USA. Information & Registration. 60 p.
9. The International Forestry Review. Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research. XXIV IUFRO World Congress, 5-11 October 2014, Salt Lake City, USA. Abstracts. Editor: John A. Parrotta, Cynthia F. Moser, Amy J. Scherzer, Nancy E. Koerth and Daryl R. Lederle. Published by the Commonwealth Forestry Association, Vol. 16(5), 2014. 578 p.
10. Живая планета – 2010. Биоразнообразие, биоёмкость и развитие, доклад Всемирного фонда дикой природы (WWF), подготовленный совместно с Лондонским зоологическим обществом (ZSL) и Всемирной сетью экологического следа (GFN) – Россия, 118 с.
11. Zhivaya planeta – 2010 [The live planet – 2010] Bioraznoobrazie, bioemkost' i razvitie. A biodiversity, biocapacity and development, the report of the World Wide Fund for Nature (WWF) prepared together with the London zoological society (ZSL) and Worldwide network of an ecological footprint (GFN). Rossiya, 118 p.

FOREST PRODUCTS RESEARCHES IN THE WORLD: FROM LJUBLJANA TO SALT LAKE CITY

Shalaev V.S., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)

shalaev@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishchy, Moscow region, Russia

This paper examines the scientific directions of the surveys closest to the Fifth Division in the IUFRO, the «Forest Product». These are the report «Future research in forest products» by Walter Liese at the XVIII IUFRO World Congress in Ljubljana, 1986 and the report «Forest Products Research in IUFRO: History and Future of the Community's Needs» by Robert Youngs and John Youngquist at the XXI IUFRO World Congress in Malaysia, 2000. The main directions of the IUFRO 5th Division International Conference held in Portugal, 2012 are listed. The range of 32 working and special research groups acting within the framework of the fifth Division of IUFRO reflects the total of the scientific surveys made by the leading scientists of the international scientist community. Some characteristics of the Program of the XXIV IUFRO World Congress and the Strategy for 2015-2019 "Interconnecting forests, science and people" is given. The five integrated Themes of the Strategy are given: 1. Forests for People; 2. Forests and Climate Change; 3. Forests and Forest Products for a Greener Future; 4. Biodiversity, Ecosystem Services and Biological Invasions; 5. Forest, Soil and Water Interactions. The third Theme «Forests and Forest Products for the Green Future» is considered in more detail. Its emphasis areas are given. These are: the discovery of the new forest products and services (bioenergy, biomaterials, non-wood products, providing improvement of environment and human well-being), the optimal use of forest raw materials, the economic, social, and environmental benefits of using forest products while ensuring their sustainability and making a contribution to the green future, the development of the system of the true evaluation of forests, their ecosystem services and forest products impact in the traditional GDP and the Green/Bio-Based economy.

Key words: Forest Researches, Forest Products, Directions.

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

Азаров Василий Ильич, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАЕН.

e-mail: azarov@mgul.ac.ru

Артамонов Дмитрий Владимирович, профессор, доктор технических наук, кафедра «Автономные информационные и управляющие системы» Пензенского государственного университета, вице - президент Пензенского научного центра Академии информатизации отделения Международной академии информатизации, член - корреспондент Академии информатизации образования, директор Межотраслевого регионального центра повышения квалификации Пензенского государственного университета.

e-mail: aius@pnzgu.ru

Беляев Михаил Юрьевич, доктор технических наук, начальник отдела, заместитель руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королева.

e-mail: mikhail.belyaev@rsce.ru

Бемманн Альбрехт, профессор, доктор технических наук, Дрезденский технический университет, директор Института профессуры для стран Восточной Европы, Германия.

e-mail: albrecht.bemmann(at)forst.tu-dresden.de

Драпалюк Михаил Валентинович, профессор, доктор технических наук, проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия».

e-mail: md@vglta.vrn.ru

Евдокимов Юрий Михайлович, профессор, кандидат химических наук; академик Нью-Йоркской Академии Наук, чл.-корр. РАЕН, член центрального правления Нанотехнологического общества России (ЦП НОР).

e-mail: evdok@mgul.ac.ru

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

Козлов Александр Ильич, кандидат технических наук, ученый секретарь Совета ОАО «НПО ИТ».

e-mail: ako1405@yandex.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 Элс, 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 Лесная 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 деревообрабатывающих 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

Титов Анатолий Матвеевич, кандидат технических наук, заместитель начальника отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ.
e-mail: amt@mccrsa.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: tfsd@inbox.ru

Шимкович Дмитрий Григорьевич, профессор, доктор технических наук, заведующий отделом ООО «Кудесник»
e-mail: shimkovich@mgul.ac.ru