

**ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА**

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК

Научно-информационный журнал
2006 г. № 1(43)

Координационный совет журнала

Главный редактор
Зам. главного редактора

А.Н. ОБЛИВИН
В.Д. НИКИШОВ

Члены совета

Н.И. КОЖУХОВ
В.А. ЛИПАТКИН
Е.И. МАЙОРОВА
О.Н. НОВОСЕЛОВ
А.К. РЕДЬКИН
Ю.П. СЕМЕНОВ
В.С. ШАЛАЕВ
А.С. ЩЕРБАКОВ

Ответственный секретарь

Е.А. РАСЕВА



Номер подготовили:

Ответственный секретарь
Редактор

Е.А. РАСЕВА
Т.Г. КРАПОТИНА

Набор и верстка

М.А. ЗВЕРЕВ

Оригинал-макет подготовлен в редакторе Microsoft Word 2000.

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации журнала «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник» ПИ № 77-12923 от 17.06.2002.

Перепечатка и воспроизведение полностью или частично текстов и фотографий журнала «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник» только с письменного разрешения издательства.

© Московский государственный университет леса, 2006

Подписано к печати 08.02.2006.
Объем 27 п. л.

Тираж 500 экз.
Заказ №

Издательство Московского государственного университета леса.
141005, Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.
Телефоны: (095) 588-57-62, 588-53-48, 588-54-15, факс (095) 588-51-09

СОДЕРЖАНИЕ

Лесное хозяйство

Корепанов Д.А.	<i>Естественное лесовозобновление на осушаемых болотах Волжско-Камского междуречья</i>	5
Сухоруков А.С.	<i>Насаждения сосны в условиях Национального парка «Лосиный остров»</i>	7
Степаненко И.И.	<i>Динамика макро- и микроструктуры древесины сосны в опытах с полными удобрениями в разных типах леса</i>	11
Гахрамани Л., Харин О.А.	<i>Закономерности строения сосновых насаждений по диаметру</i>	20
Сейидов А.К.	<i>Архитектоника роста корневой системы каштана съедобного на склонах различной экспозиции</i>	25
Родионов А.В.	<i>Обоснование оптимальных параметров комплексного освоения лесной площади (на примере республики Карелия)</i>	29
Мерзленко М.Д.	<i>Ценность фенологических наблюдений для лесохозяйственного производства</i>	37
Черкас Н.Д.	<i>Динамика численности и основные факторы, вызывающие сокращение численности рябчика (<i>Bonasa bonasia</i> L., 1758) в Беловежской пуце</i>	41

Деревообработка

Меркушев И.М.	<i>Анализ погрешности расчета средних размеров массива разноразмерных деталей и разработка метода их точного осреднения</i>	47
Дорняк О.Р., Свиридов Л.Т.	<i>Структурно-механические свойства и напряженно-деформированное состояние древесины в процессах прессования. Реологическое уравнение состояния древесины</i>	50
Дорняк О.Р., Свиридов Л.Т.	<i>Прогнозирование параметров структуры и прочности</i>	58

Лесонинженерное дело

Редькин А.К., Шадрин А.А.	<i>Гибкие технологические процессы лесобработывающих цехов</i>	65
Ширнин А.Ю.	<i>Экспериментальные исследования канатной подтрелевки</i>	72
Климушев Н.К.	<i>Неравномерность лесозаготовительного производства и ее моделирование</i>	75
Абузов А.В.	<i>Аэростатные системы трелевки – второе рождение</i>	78
Шамарин Ю.А., Сиротов А.В., Панферов В.И.	<i>Способ диагностирования элементов дизельной топливной аппаратуры лесных машин</i>	85
Шамарин Ю.А., Сиротов А.В., Панферов В.И.	<i>Модернизация устройства для диагностирования нагнетательных клапанов дизельной топливной аппаратуры и анализ результатов испытаний</i>	86
Климовских А.В.	<i>Построение модели взаимодействия круглых лесоматериалов</i>	90

Экономика

Внуковский Н.И., Бутко Г.П.	<i>Формирование стратегии управления конкурентоспособностью организации (предприятия)</i>	96
Лапшина Е.Ю.	<i>Основные направления маркетинговой деятельности на мебельных предприятиях</i>	101
Сиротова И.В.	<i>Понятие конкурентоспособности как одного из важнейших компонентов маркетинга</i>	105

Физика

Васильев М.И.	<i>Анализ спектров колебаний язычков голосовых планок с применением оптических методов</i>	109
---------------	--	-----

Математическое моделирование

Никонов В.Г., Никонов Н.В.	<i>Некоторые классы функций k-значной логики без запрета</i>	117
Никонов Н.В.	<i>О связях и отличиях полузапретов I, II-го рода и запретов k-значных функций</i>	124
Василевская Е.А., Пудикова Н.Н., Рыбников К.К.	<i>Основные типы математических моделей узлов нейросистем с пороговыми функциями активации и полиэдральные методы их анализа</i>	134
Духин А.А.	<i>Сравнительная оценка метода сжатия видеoinформации, основанного на адаптивном квантовании векторов и ряда известных эффективных методов</i>	138
Духин А.А.	<i>Об одной комбинаторной задаче в теории групп</i>	147
Шабанин О.В.	<i>О сложности представления пороговых функций в традиционных базисах</i>	152
Колобашкин С.М., Беляев К.В.	<i>Метод оценки качества работы пользователя с теоретическими учебными материалами</i>	156
Гаврилова М.А.	<i>Проблемы использования математических тестов в профессиональной подготовке</i>	164
Полещук И.А.	<i>Выбор адекватного оператора агрегирования информации из класса функций k-значной логики</i>	170
Комаров Е.Г., Поярков Н.Г.	<i>Модели обработки информации контрольных мероприятий на этапе довузовской подготовки обучающихся</i>	175

Международное сотрудничество

Шалаев В.С.	<i>Международное сотрудничество в Московском государственном университете леса: направления и результативность</i>	179
-------------	--	-----

Литературоведение

Щербаков С.А.	<i>«Берестяные» эпитеты Николая Клюева</i>	190
Щербаков С.А.	<i>Дерево как модель мира</i>	192
Туфанова О.А.	<i>Мотив огня в творчестве Протопопа Аввакума</i>	196
Надарейшвили Г.М.	<i>Жаль, что там не было Путина...</i>	200
Рамазанов С.В.	<i>Хранитель русского леса</i>	202
Петрик В.В., Тутыгин Г.С.	<i>Новый учебник «Лесомелиорация ландшафтов»</i>	206

ЕСТЕСТВЕННОЕ ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА ОСУШАЕМЫХ БОЛОТАХ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Д.А. КОРЕПАНОВ, докторант Уральского ЛТУ, канд. с.-х. наук

В результате осушения болот улучшаются почвенно-гидрологические условия произрастания древесной растительности. Это приводит к тому, что открытые болота, вырубки, гари, редины и сенокосы зарастают древесно-кустарниковой растительностью; изменяются напочвенный покров, почва. Динамика облесения болот, состав естественного лесовозобновления зависят от типа болота и интенсивности его осушения.

Исследования естественного лесовозобновления в условиях Волжско-Камского междуречья проводились на осушаемых олиготрофных, мезоолиготрофных, мезотрофных и евтрофных болотах в Кировской, Пермской и Нижегородской областях. Естественное лесовозобновление под пологом леса отсутствовало. В настоящее время вырубка на осушаемом болоте заросла лесом [3, 4].

Данные естественного лесовозобновления на осушаемом олиготрофном болоте приводятся в таблице. Прослеживается тенденция снижения успешности лесовозобновления с уменьшением интенсивности осушения. В целом влияние осушения на улучшение роста древостоя проявляется очень слабо: даже в зоне интенсивного осушения производительность древостоя характеризуется V классом бонитета. С лесоводственной точки зрения осушение не дало положительного результата. Причиной последнего является бедность торфяных почв олиготрофных болот и высокое стояние ПГВ, несмотря на интенсивное осушение [6]. Только верхний 10-сантиметровый слой почвы имеет высокую зольность и удовлетворительное содержание подвижных форм фосфора и калия. Нижележащие слои почвы отличаются очень низкой зольностью, повышенной кислотностью и малым содержанием фосфора, калия и кальция [7]. Бедность торфяных почв оли-

готрофных болот затрудняет развитие на них древесной растительности различного состава, и чистый сосновый древостой даже в зоне интенсивного осушения отличается крайне низкой производительностью в пределах V класса бонитета [6]. Кроме того, естественному возобновлению препятствует в интенсивно осушенной части болота зависание семян в переосушенном очесе. В приканальной полосе, с более благоприятными почвенно-гидрологическими условиями, в результате усиленной дифференциации и отпада деревьев с возрастом становится меньше, чем в экстенсивно осушенной части болота. Густота молодняков возрастает с увеличением интенсивности осушения. В экстенсивно осушенной части болота наблюдаются замедленный процесс дифференциации и более благоприятные условия для прорастания семян [1].

Несколько в лучшем состоянии произрастают молодняки сосны на осушаемых мезоолиготрофных болотах. Более благоприятные почвенно-гидрологические условия обеспечили хорошее лесовозобновление. В приканальной полосе число стволов несколько ниже, что обусловлено отпадом оставших в росте деревьев. Древостой в приканальной полосе произрастает по III классу бонитета. Однако возобновление только сосной и единично березой указывает на бедность торфяных почв. Сравнение со шкалой оценки успешности естественного возобновления показывает, что возобновление на осушаемых мезоолиготрофных болотах региона исследования происходит успешно и обеспечивает необходимое количество деревьев на всей междуречной полосе [5]. Снижение числа деревьев с увеличением интенсивности осушения, обусловленное процессом естественного изреживания, необходимо регулировать рубками ухода с I класса возраста.

Основные лесотаксационные показатели молодняков сосны на осушаемых болотах

Расстояние от канала, м	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота, сомкнутость	Число стволов, шт./га	Запас, м ³ /га	Класс бонитета	Возраст, лет	Состав
Олиготрофное								
10	–	0,80	0,7	15800	–	V,2	10	10С, ед.Б
30	–	0,54	0,9	22200	–	Va	10	10С
50	–	0,40	0,5	8400	–	Va	10	10С
Мезоолиготрофное								
5	2,3	2,6	0,57	8650	15	III,0	13	10С, ед.Б
13	1,6	2,1	0,72	15210	11	III,1	13	10С
22	1,5	1,8	0,41	8750	10	IV,0	13	10С
Мезотрофное								
10	5,1	5,6	0,74	11900	52	II,5	19	9С1Б
30	4,0	4,0	0,44	10300	28	III,2	19	10С, ед.Б
50	3,1	3,0	0,27	7200	15	IV,2	19	10С, ед.Б
Евтрофное								
10	6,4	11,5	1,44	15200	140	I,a	16	10Б, ед.Е
50	2,6	5,0	1,37	21600	42	II,0	16	8Б2Ив
100	2,5	4,5	1,06	19000	34	II,5	16	7Б3Ив

Осушение мезотрофных болот сопровождается хорошим естественным возобновлением и дает высокий лесоводственный эффект (таблица). Сосновые молодняки повышают производительность с V по II класс бонитета. В составе появляется береза до 1–3-х единиц, что имеет большое почвоулучшающее значение. Однако такой эффективности осушение достигает только при глубине каналов более 1 м. Осушение сосновых древостоев на переходных болотах каналами глубиной менее 1 м малоэффективно. В этом случае в приканальной полосе сосновый молодняк произрастает только по III классу бонитета; III классу бонитета соответствуют также средний и текущий приросты. Как на верховых болотах, естественное возобновление успешно происходит на осушаемых переходных болотах с помощью сосны, особенно в приканальной полосе. Высокая сомкнутость древесного полога и большое число стволов в приканальной части древостоя требуют проведения рубок ухода с I класса возраста с целью регулирования густоты и состава молодняков [2].

Естественное лесовозобновление на осушаемых евтрофных болотах происходит успешно (таблица). Благоприятные почвен-

но-гидрологические условия способствуют зарастанию не покрытых лесом осушаемых площадей березой, осинкой, ивой, которые «заглушают» хвойный молодняк. Лиственные молодняки достигают высоких запасов стволовой массы с производительностью до I–Ia класса бонитета в приканальной полосе. Имеющийся еловый подрост «сидит» под пологом лиственных, а сосновый вымирает. Для улучшения состава и снижения густоты молодняков на осушаемых евтрофных болотах необходимо проведение рубок ухода сразу после смыкания лиственных пород.

Таким образом, осушение не покрытых лесом площадей способствует хорошему естественному возобновлению древесных пород нужного состава. На олиготрофных болотах, начиная с I–II классов возраста, необходимы удобрение и проведение рубок ухода для регулирования густоты древостоя, на переходных болотах, начиная с I класса возраста, необходимо проведение рубок ухода для регулирования густоты и состава древостоя. На евтрофных болотах при наличии достаточного подроста хвойных пород необходимо регулирование рубками ухода густоты и состава древостоя с первого десятилетия после осушения. С учетом плодород-

дия евтрофных болот и острой нужды в балансовой древесине искусственное лесовозобновление должно быть направлено на создание еловых посадок крупномерным посадочным материалом и на реконструкцию лиственных молодняков.

Библиографический список

1. Вомперский, С.Э. Биологические основы эффективности лесосушения / С.Э. Вомперский. – М.: Наука, 1968. – 312 с.
2. Залесов, С.В. Рубки ухода на Урале и пути повышения их лесоводственной и экономической эффективности / С.В. Залесов, Н.А. Луганский // Ускорение социально-экономического развития Урала. – Свердловск, 1989. – С. 89 – 100.
3. Мелехов, И.С. Возобновление леса в связи с рубками на Севере / И.С. Мелехов // Лесное хозяйство. – 1953. – № 6. – С. 4–7.
4. Обыденников, В.И. Влияние сплошных рубок на лесорастительную среду и восстановление леса / В.И. Обыденников. – М.: ВНИПИЭЛеспром. – Вып. 4. – 1984. – С. 45.
5. Рубцов, В.Г. Оценка лесовозобновления на разных категориях осушенных площадей: методические рекомендации / В.Г. Рубцов. – Л.: Издание ЛенНИИЛХ. – Л., 1973. – 62 с.
6. Сабо, Е.Д. Естественное возобновление на осушенных болотах / Е.Д. Сабо, Г.Д. Спешнева, С.В. Шаренко, В.В. Юрасова // Лесное хозяйство. – 1981. – № 11. – С. 19 – 21.
7. Смоляк, Л.П. Эколого-физиологические основы мелиорации лесных почв / Л.П. Смоляк, В.Г. Реуцкий. – Минск: Наука и техника, 1971. – 160 с.

НАСАЖДЕНИЯ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЛОСИНЫЙ ОСТРОВ»

А.С. СУХОРУКОВ, *асп. каф. лесных культур МГУЛ*

Национальный парк «Лосиный остров» представляет собой уникальный лесной массив Московского мегаполиса с более чем 150-летней историей ведения в нем лесного хозяйства. Он расположен в северо-восточной части Москвы и примыкающей к ней части Московской области и занимает площадь 12,4 тыс. га.

В административно-хозяйственном отношении Национальный парк разделяется на шесть лесопарков: Яузский, Лосиноостровский, Лосинопогонный, Мытищинский, Алексеевский и Щелковский. Яузский и Лосиноостровский лесопарки находятся в Московской части, их площадь составляет 3077 га, и их территория соседствует с районами Северо-Восточного административного округа: Ярославским, Алексеевским и Ростокино. С юга к парку примыкают районы Восточного административного округа: Богородское, Метрогородок, а также парк «Сокольники». Лосинопогонный, Мытищинский, Алексеевский и Щелковский лесопарки площадью 9323 га расположены в Московской области на территории Балашихинского, Мытищинского, Пушкинского и

Щелковского административных районов, а также г. Королева.

По лесорастительному районированию «Лосиный остров» находится у границы южной подзоны зоны смешанных лесов средней части Русской равнины. Преобладающими являются разновидности подзолистых почв. Значительную площадь занимают почвы избыточного увлажнения. На плоских возвышенностях, сложенных моренными и водно-ледниковыми суглинками, с затрудненным стоком встречаются глееватые и глеевые почвы. По гранулометрическому составу преобладают легкосуглинистые почвы на древнеаллювиальных отложениях.

Территория Национального парка пересечена довольно густой сетью рек, ручьев и лощин. Здесь берут начало р. Яуза с ее притоками – Ичкой и Сосенкой и р. Пехорка с рядом небольших притоков, относящихся к бассейну р. Москвы. Через Лосиноостровский лесопарк протекает река Лось (приток р. Ичка) и речка Будайка (приток р. Яуза).

Лесорастительные условия Лосиноостровского острова в основном представлены суборями (В2-3 – С2-3) и имеют относительно бога-

тые условия произрастания, отражающие переходную полосу от свежевлажных простых суборей к свежевлажным сложным суборям. В целом климатические и лесорастительные условия Лосинового острова благоприятны для произрастания лесов из местных пород – лесообразователей высокой продуктивности.

Богатые лесорастительные условия всегда обеспечивали высокую производительность хвойных насаждений. По данным В.Я. Добровлянского [1], в XIX веке здесь встречались сосновые насаждения с запасом до 120 таксационных сажен на десятине ($684 \text{ м}^3/\text{га}$), а запасы хвойных культур в возрасте 30–35 лет достигали 40–50 кубических сажен на десятине ($228\text{--}285 \text{ м}^3/\text{га}$). Отдельные единичные деревья имели диаметр на высоте груди 30–57 дюймов (76–145 см) и высоту до 90–130 футов (27–39 м). Средний возраст сосняков составлял 90 лет.

На территории Национального парка «Лосиный остров» расположена бывшая Лосиноостровская лесная дача, чья история заслуживает особого внимания. Именно в ней в 1842 г. было проведено первое для средней полосы России лесоустройство, а с 1844 г. были начаты систематические работы по созданию лесных культур.

В течение всей документальной истории Лосиноостровской лесной дачи основными лесообразующими породами в ее лесном фонде были ель и сосна, затем к ним добавились береза, липа и отчасти дуб. Лесонасаждения с преобладанием этих древесных пород суммарно занимали 95–97 % площади земель, покрытых лесной растительностью.

Основным направлением при восстановлении леса на вырубках, редирах и расстроенных лесонасаждениях было создание лесных культур хвойных пород. За более чем 150-летний период было создано путем посева или посадки около 5 тыс. га искусственных насаждений. Наибольшие объемы работ по посеву и посадке леса производились после массовой гибели лесов, поврежденных стихийными бедствиями (ураганами и засухами).

Изначально (с 1844 г.) в лесокультурной практике Лосиноостровской лесной дачи преобладало направление, связанное с закладкой культур сосны. Вплоть до 70-х годов XIX века лесные культуры создавались в основном по раскорчеванным вырубкам 3-летней давности. Об успешности наиболее ранних культур, выполненных за 1844–1872 гг., свидетельствуют данные Ф.В. Проскурякова [4], отраженные в табл. 1. В этот период практиковался преимущественно посев (81 %), что объясняется главным образом тем, что хозяйство сначала не имело питомников. При посадке пользовались дичками, а так как соснового самосева было мало, то главным источником посадочного материала была ель. Хорошие и удовлетворительные посевы составляли по культурам сосны 56 %, ели – 26 % соответственно при посадке 47 и 51 %.

К началу XX в. перешли в основном на метод посадки. В первой половине XX в. отдавалось предпочтение посадкам ели, но так как ее искусственные насаждения оказались менее долговечными по сравнению с сосновыми, то уже к середине XX в. перешли на создание культур сосны, а также березы.

Образцом долговечных и устойчивых культур основных лесообразующих пород является искусственное лесонасаждение, созданное лесничим Р. Энгельгардтом в 1846 г. путем посева семян сосны, дуба, ели и березы. В 150-летнем возрасте сосна росла по I классу бонитета, являясь основным элементом искусственного насаждения. Средний диаметр сосны достиг 65,3 см; запас сосновой древесины – $430 \text{ м}^3/\text{га}$. Остальные компоненты сформировали второй ярус насаждения. Общий запас – $575 \text{ м}^3/\text{га}$. Устойчивость насаждению придает наличие под пологом естественно «поселившегося» подлеска и кустарника, причем имеющаяся примесь липы вошла частично даже во второй ярус.

В бывшей Лосиноостровской лесной даче в 1884 г. максимальную площадь занимали сосняки: на их долю приходилось 28 % покрытой лесом площади; а минимальную – 10 % – они занимали в 1998 г. Однако в

последние 40 лет площадь, занимаемая сосновыми лесонасаждениями, составляла 10–11 %, т.е. практически почти не изменялась. И это при почти полном отсутствии молодняков сосны I, а отчасти и II классов возраста. Все это является отражением высокой устойчивости насаждений сосны старших возрастов.

Во второй половине XX в. ассортимент пород, введенных в лесокультуры, значительно расширился. Данные о сохранившихся насаждениях искусственного происхождения представлены в табл. 2.

В настоящее время наибольшую площадь занимают культуры сосны и березы. Из всех сохранившихся лесных культур 53 % имеют хорошее, а 44 % – удовлетворительное

состояние [3]. Искусственные сосняки имеют, как правило, хорошее состояние.

Распределение насаждений сосны Лосиноостровского лесопарка по возрастным группам свидетельствует об их крайне непропорциональном возрастном соотношении (рис. 1). Преобладают средневозрастные насаждения, на долю которых приходится 86 %, тогда как молодняки составляют лишь 1 %, причем молодняки I класса возраста полностью отсутствуют (рис. 2), спелые и перестойные насаждения сосны занимают 5 %. Это, как правило, высокопроизводительные лесные культуры, созданные посевом в середине XIX в. Они имеют I класс бонитета, а запас стволовой древесины в них доходит до 500 м³/га.

Т а б л и ц а 1

Состояние хвойных культур, произведенных посевом и посадкой за период 1844–1872 гг.

Количество лесокультур	Посев		Итого	Посадка		Итого	Всего		Итого
	сосна	ель		сосна	ель		сосна	ель	
Хорошее									
га	264	42	306	12	40	52	276	82	358
%	44	18	37	33	27	28	44	22	35
Удовлетворительное									
га	71	19	90	5	36	41	76	55	131
%	12	8	11	14	24	22	12	14	13
Неудовлетворительное									
га	131	118	249	3	43	46	134	161	295
%	22	51	30	9	29	25	21	42	29
Погибшие									
га	128	53	181	16	30	46	144	83	227
%	22	23	22	44	20	25	23	22	23
Всего									
га	594	232	826	36	149	185	630	381	1011
%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Т а б л и ц а 2

Видовой состав лесных культур по данным лесоустройства 1998 г.

Порода	Площадь, га	% от общей площади лесных культур	Порода	Площадь, га	% от общей площади культур
Сосна	272,5	35	Вяз	13,2	2
Ель	24,5	3	Береза	329,9	42
Лиственница	55,2	8	Ольха черная	2,8	–
Дуб	22,5	3	Липа	24,2	3
Дуб красный	0,2	–	Тополь	8,4	1
Ясень	13,1	2	Яблоня дикая	0,5	0
Клены	11,0	1	Боярышник	0,2	–
			Итого	778,2	100

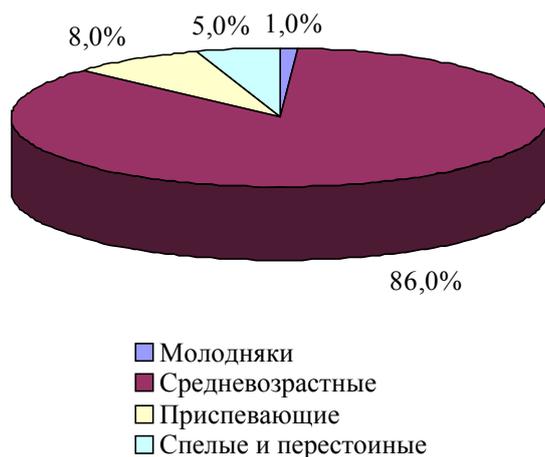


Рис. 1. Распределение насаждений сосны по возрастным группам, %

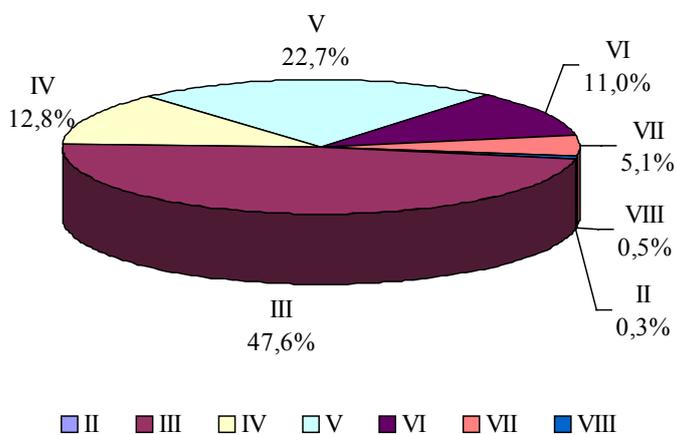


Рис. 2. Распределение площади насаждений сосны по классам возраста, %

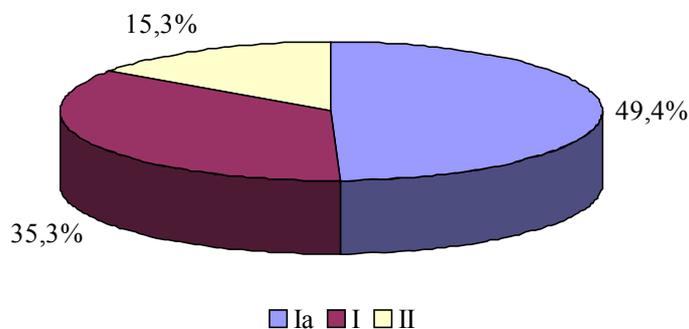


Рис. 3. Распределение площади насаждений сосны по классам бонитета, %

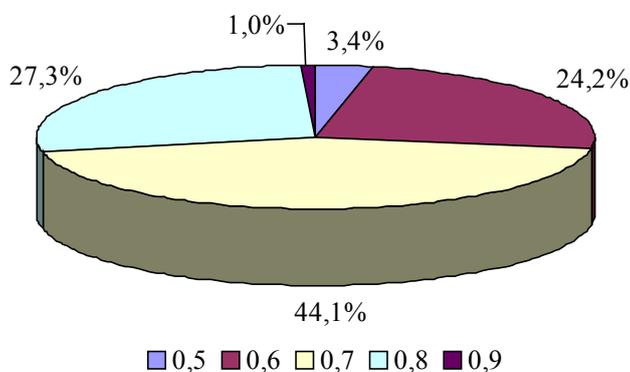


Рис. 4. Распределение площади насаждений сосны по полнотам, %

В Лосиноостровском лесопарке преобладают насаждения Ia класса бонитета (рис. 3). Рис. 4 дает представление о том, что 44,1 % сосняков представлены полнотой 0,7, а 27,3 % имеют полноту 0,8. Такие полноты считаются лучшими для деятельности камбия сосны по продуцированию сосновой стволовой древесины [2].

В целом в условиях Лосиноостровского лесопарка, находящегося в черте города Москвы, насаждения сосны имеют хорошее состояние. При этом старовозрастные сосняки искусственного происхождения пока не проявляют признаков распада и имеют четко выраженный положительный текущий прирост. Для сохранения в Лосиноостровском лесопарке сосны как коренной хвойной

породы-лесообразователя в виде сосновых лесов необходимо активизировать работу по созданию новых лесных культур сосны в благоприятных для нее условиях местопрорастания. Насаждения сосны должны прийти на смену распадающимся старым березнякам и редицам.

Библиографический список

1. Добровлянский, В.Я. Из русских лесов / В.Я. Добровлянский. – СПб., 1888. – 133 с.
2. Загреев, В.В. Влияние полноты на текущий прирост сосновых насаждений / В.В. Загреев // Лесное хозяйство. – 1962. – № 9. – С. 42–46.
3. История и состояние лесов Лосино острова. – М.: Прима-Пресс М, 2000. – 104 с.
4. Проскуряков, Ф.В. 100 лет Лосиноостровской лесной даче / Ф.В. Проскуряков. – М.: Гослесбумиздат, 1950. – 90 с.

ДИНАМИКА МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В ОПЫТАХ С ПОЛНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСА

И.И. СТЕПАНЕНКО, доц. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ

Возрастающие в мире потребности в древесине высокого качества требуют использования новых методов и приемов при ускоренном выращивании естественных и искусственных лесных насаждений [3, 5–8, 10]. При этом широко используются минеральные удобрения, которые вносятся на разных стадиях роста и развития древостоев в зависимости от древесной породы, условий произрастания, требований потребителя древесины и других факторов [1, 2, 5–8]. Мировой опыт показывает, что наиболее рентабельно применение удобрений для целевого выращивания древесины производится в естественных приспевающих и спелых лесных насаждениях [5, 6, 10]. Такой опыт имеется и в России [1, 2, 6–9]. Исследования в нашей стране в основном были направлены на изучение влияния удобрений на запас и радиальный прирост древостоев [5, 7, 8]; недостаточно изученным остается вопрос о действии удобрений на строение и качество древесины [1, 2, 9].

Важными показателями качества древесины являются ширина годичного слоя, содержание в нем поздней древесины и размеры древесных волокон. И.С. Мелехов и другие авторы в 30–50-е гг. прошлого столетия доказали значительное влияние этих показателей на физико-механические свойства древесины основных лесообразующих хвойных пород [4]. Нами проводились исследования влияния минеральных удобрений на радиальный прирост, содержание поздней древесины в годичных слоях и микроструктуру древесины сосны (количество и размеры трахеид) в разных типах леса.

Опыты проводились в южной тайге Костромской области, в Чернолуховском опытном лесхозе, на пробных площадях, заложенных ВНИИХлесхозом в 1982 г., в трех типах леса: в спелых сосняках брусничном и лишайниковом, в приспевающем сосняке долгомошном. Удобрения были внесены в мае 1982 г. в форме карбамида (46 % N), гранулированного суперфосфата (20 % P₂O₅)

и хлористого калия (54 % K_2O). В данной работе рассматривается влияние полных удобрений на макро- и микроструктуру древесины сосны в трех дозах: 100, 150, 200 кг/га действующего вещества (д. в.) в указанных выше типах леса.

Исследования проводились на удобренных и неудобренных (контрольных) пробных площадях, на деревьях II класса роста (по Крафту) из средних ступеней толщины. Образцы древесины брались на высоте 1,3 м возрастным буровом. Фиксация образцов древесины, приготовление микропрепаратов проводились по принятой методике. Измерение радиального прироста, показателей макроструктуры (ширины годичного слоя /ШГС/ с разделением на раннюю и позднюю зоны), микроструктуры древесины сосны (числа рядов ранних и поздних трахеид, толщины их стенок и диаметров в радиальном и тангенциальном направлениях) проводилось на поперечных срезах образцов с помощью микроскопа МБР-1 и шкалы окуляр-микрометра МОВ-1-15^X. Длина трахеид измерялась анализатором длины волокон FS-100 после мацерации древесины.

Изучались два периода формирования древесины: 5 лет до удобрения (1977–1981) и 6 лет после удобрения (1982–1987). Данные с удобренных участков сравнивали с контрольными и с данными за период до внесения удобрений. Достоверность различий в сравниваемых вариантах проверяли по *t*-критерию Стьюдента. Различия принимались значимыми при вероятности 0,95.

В результате исследований было установлено значительное влияние полных удобрений на радиальный прирост макро- и микроструктуру древесины сосны в зависимости от типа леса, дозы, продолжительности действия удобрений и климатических факторов.

Наиболее эффективными полные удобрения были в сосняке брусничном. Продолжительность их действия составила 6 лет. За этот период они во всех дозах способствовали увеличению радиального прироста примерно в 2 раза и доли поздней древесины в годичных слоях сосны на

16,4–30,6 % по сравнению с контролем. В динамике радиального прироста наибольшее возрастание ширины годичных слоев наблюдалось в первые 3 года после внесения удобрений на 39,3–152,3 %. Содержание поздней древесины в годичных слоях сосны за этот период увеличилось на 18,3–38,6 % по сравнению с контролем. Максимальные значения этих показателей отмечены на 2-й и 3-й годы после удобрения (рисунок). На 4-й год (1985) наблюдалось снижение радиального прироста и доли в нем поздней древесины, однако их значения оставались довольно высокими по сравнению с контролем (рисунок).

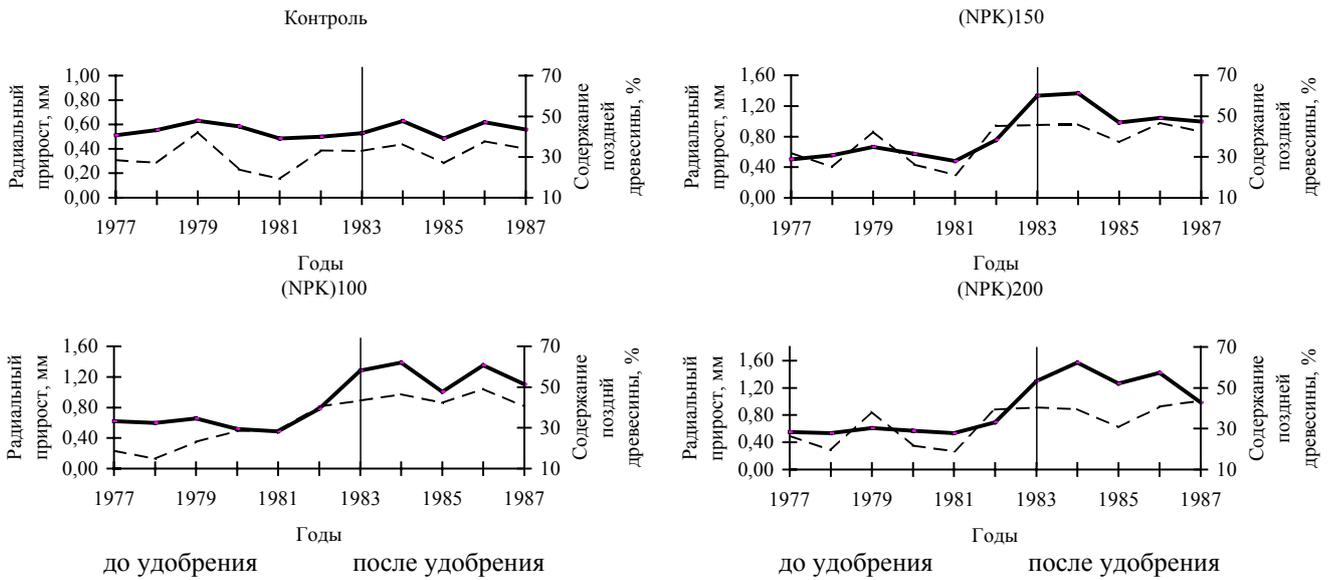
1985 г. был неблагоприятным для роста сосновых древостоев. Из анализа метеоданных было установлено, что в этом году в августе стояла сухая, жаркая погода, особенно во второй декаде месяца, когда температура держалась на уровне + 32°C, в среднем за месяц выпало 41,4 мм осадков, что было значительно ниже нормы. В этот период в районе исследований идет формирование поздней древесины в годичных слоях сосны, поэтому снижение радиального прироста произошло за счет снижения темпов формирования поздних трахеид. В предыдущие 1982–1984 гг. и последующие 1986, 1987 гг. климатические условия были благоприятными для роста сосновых древостоев.

На 5-й и 6-й годы после удобрения радиальный прирост был больше на 68,9–129,8 %, а содержание поздней древесины – на 13,5–56,4 % по сравнению с контролем (рисунок).

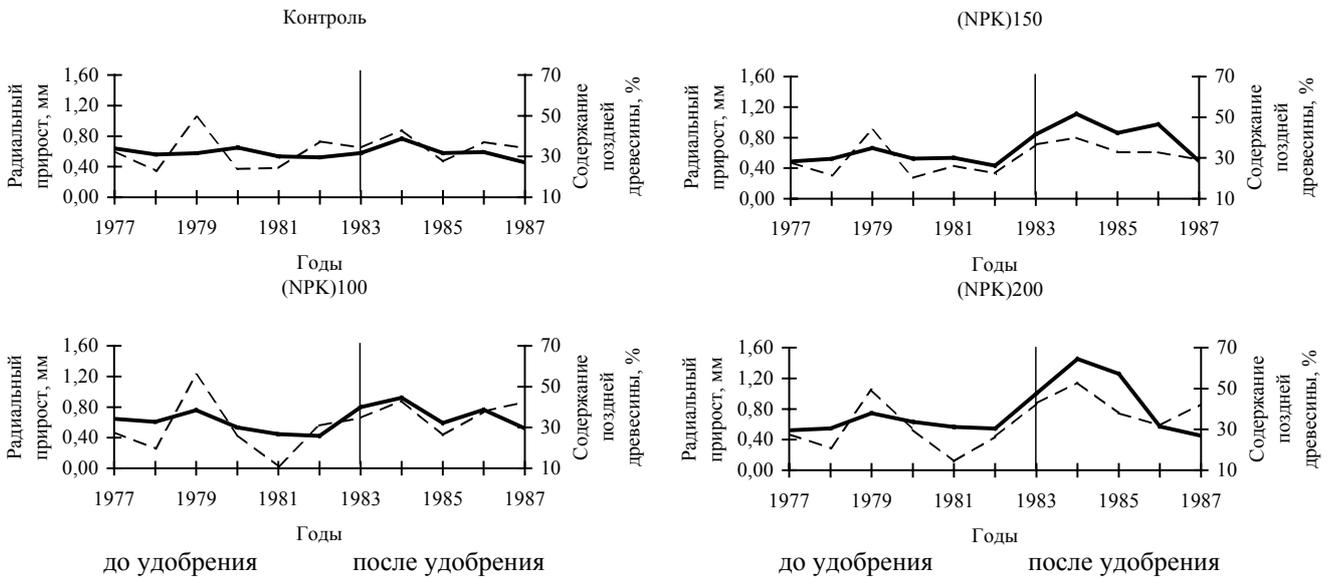
Таким образом, в сосняке брусничном полные удобрения положительно повлияли на динамику макроструктуры древесины сосны. Они значительно увеличили радиальный прирост, содержание поздней древесины в годичных слоях и способствовали формированию равномерного строения древесины сосны, особенно в опыте с (NPK)200.

Положительные изменения произошли и в микроструктуре древесины: в соотношении и количестве ранних и поздних трахеид в годичных слоях и в их размерах.

Сосняк брусничный



Сосняк лишайниковый



Сосняк долгомошный

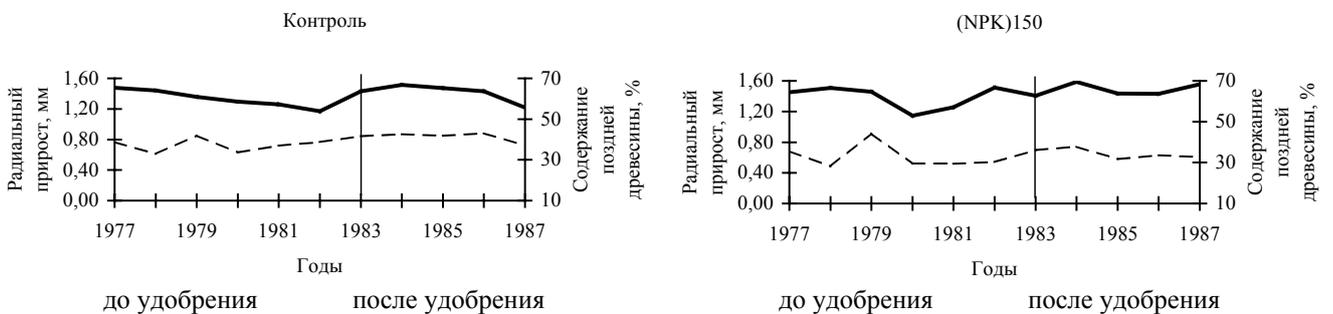


Рисунок. Изменение радиального прироста и содержания поздней древесины в опытах с полными удобрениями в разных типах леса: — радиальный прирост; --- содержание поздней древесины

Динамика показателей микроструктуры древесины сосны за период действия полных удобрений в разных типах леса

Варианты опыта	Годы после удобрения	Размеры трахеид									
		Диаметры трахеид, мкм				Толщина стенок трахеид, мкм				Длина трахеид, мм	
		РТ		ПТ		РТ		ПТ		РТ	ПТ
		рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.		
Сосняк брусничный											
Контроль	1982	42,1	31,7	21,4	31,3	1,95	2,05	5,95	8,6	2,71	2,50
	1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1983	35,8	33,7	21,3	30,4	2,2	2,25	5,4	7,15		
	2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
	1984	40,4	32,7	23,6	31,4	2,35	2,2	5,15	7,75	2,59	
	3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
	1985	39,9	36,1	19,5	30,0	2,35	2,35	5,2	8,25		
	4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
	1986	38,8	33,8	21,1	28,2	2,6	2,1	5,5	8,15	2,57	2,85
	5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1987	40,1	37,0	20,7	27,9	2,35	2,25	5,05	7,1		
	6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
	Ср. за 6 лет		39,5	34,2	21,3	31,8	2,30	2,20	5,40	7,90	2,62
		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
(NPK)100	1982	39,4	33,6	21,5	31,3	2,35*	2,5*	5,8	7,65		
	1	93,6	106,0	100,5	100,6	120,5	121,9	97,5	89,0		
	1983	37,2	36,1*	23,6*	35,4*	2,35	2,55*	6,25*	8,15*		
	2	103,9	107,1	110,8	116,4	106,8	113,3	115,7	114,0		
	1984	37,9	37,5*	24,6	35,1*	2,6*	2,45*	6,25*	8,5*		
	3	93,8	114,7	104,2	111,8	110,6	111,4	121,4	109,7		
	1985	37,0	37,7	21,4*	33,8*	2,6*	2,6*	5,7*	8,15		
	4	92,7	104,4	109,7	112,7	110,6	110,6	109,6	98,8		
	1986	40,1	37,6*	25,9*	29,2	2,55	2,65*	6,6*	8,45		
	5	103,4	111,2	122,7	103,5	98,1	126,2	120,0	103,7		
	1987	41,8	34,3	23,0*	31,7*	2,4	2,45*	5,95	7,95*		
	6	104,2	92,7	111,1	113,6	102,1	108,9	117,8	112,0		
	Ср. за 6 лет		38,9	36,1*	23,3*	32,7	2,45	2,55*	6,10*	8,15	
		98,5	105,6	109,4	102,8	106,5	115,9	113,0	103,2		
(NPK)150	1982	36,5	32,7	21,9	32,6	2,3*	2,2	5,5	7,15		
	1	86,7	103,2	102,3	104,8	117,9	107,3	92,4	83,1		
	1983	40,0*	36,1	24,7*	34,8	2,45*	2,3*	6,7*	8,65*		
	2	111,7	107,1	116,6	114,5	111,4	102,2	124,1	121,0		
	1984	38,3	38,5*	24,7*	36,8*	2,65*	2,6*	6,85*	8,25		
	3	94,8	117,7	104,7	117,2	112,8	118,2	133,0	106,5		
	1985	39,5	36,4	23,3*	32,2*	2,6*	2,65*	5,8*	7,75		
	4	99,0	100,8	119,5	107,3	110,6	112,8	111,5	93,9		
	1986	41,8*	34,7	23,8*	33,6*	2,85*	2,65*	5,75	8,25		
	5	107,7	102,7	112,8	119,1	109,6	126,2	104,5	101,2		
	1987	38,6	34,8	23,3*	33,3*	2,6*	2,5*	6,5*	9,0*		
	6	96,3	94,1	112,6	119,4	110,6	111,1	128,7	126,8		
	Ср. за 6 лет		39,1	35,5*	23,6*	33,9*	2,6*	2,5*	6,2*	8,15	
		99,0	103,8	110,8	106,6	113,0	113,6	114,8	103,2		
(NPK)200	1982	41,7	33,7	19,5	33,0	2,1*	2,1	5,3	7,4*	2,79	3,25*
	1	99,0	106,3	91,1	106,1	107,7	102,4	89,1	86,0	102,9	112,1
	1983	35,7	36,3*	23,7*	34,8*	2,45*	2,7*	6,25*	8,1*		
	2	99,7	107,8	111,3	114,5	111,4	120,0	115,7	113,3		
	1984	37,0	39,0*	24,0	35,0	2,8*	2,65*	6,15*	7,8	2,97*	3,12*
3	91,6	119,2	101,7	111,5	119,1	120,5	119,4	100,6	114,7	110,6	

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Продолжение таблицы

Варианты опыта	Годы после удобрения	Размеры трахеид											
		Диаметры трахеид, мкм				Толщина стенок трахеид, мкм				Длина трахеид, мм			
		РТ		ПТ		РТ		ПТ		РТ	ПТ		
		рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.				
(NPK)200	1985	<u>38,2</u>	<u>36,5</u>	<u>23,0*</u>	<u>35,5*</u>	<u>2,45</u>	<u>2,65*</u>	<u>6,1*</u>	<u>8,25</u>	2,77*	3,09*		
	4	95,7	101,1	117,9	118,3	104,3	112,8	117,3	100,0				
	1986	<u>40,4</u>	<u>38,9*</u>	<u>24,4*</u>	<u>33,7</u>	<u>2,55</u>	<u>2,8*</u>	<u>6,6*</u>	<u>8,0</u>				
	5	104,1	115,1	115,6	119,5	98,1	133,3	120,0	98,2				
	1987	<u>38,7</u>	<u>37,7</u>	<u>22,7*</u>	<u>36,6*</u>	<u>2,65*</u>	<u>2,6*</u>	<u>6,45*</u>	<u>8,6*</u>				
	6	96,5	101,9	109,7	131,2	112,8	115,6	127,7	121,1				
	Ср. за 6 лет	<u>38,6</u>	<u>37,0</u>	<u>22,9*</u>	<u>34,7*</u>	<u>2,5*</u>	<u>2,6*</u>	<u>6,2*</u>	<u>8,0</u>			<u>2,84*</u>	<u>3,15*</u>
	97,7	108,2	107,5	109,1	108,7	118,2	114,8	101,3	108,4	110,1			
Сосняк лишайниковый													
Контроль	1982	<u>34,2</u>	<u>34,2</u>	<u>21,0</u>	<u>31,3</u>	<u>2,1</u>	<u>2,15</u>	<u>5,4</u>	<u>7,2</u>	<u>2,50</u>	<u>2,97</u>		
	1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
	1983	<u>39,6</u>	<u>33,5</u>	<u>21,2</u>	<u>32,2</u>	<u>2,3</u>	<u>2,1</u>	<u>5,55</u>	<u>6,1</u>	2,72	2,84		
	2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0				
	1984	<u>40,2</u>	<u>34,5</u>	<u>21,4</u>	<u>32,0</u>	<u>2,3</u>	<u>2,1</u>	<u>5,9</u>	<u>7,5</u>				
	3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0				
	1985	<u>39,3</u>	<u>33,3</u>	<u>20,0</u>	<u>31,9</u>	<u>2,1</u>	<u>2,1</u>	<u>5,25</u>	<u>7,65</u>				
	4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0				
	1986	<u>38,1</u>	<u>34,1</u>	<u>20,7</u>	<u>32,1</u>	<u>2,2</u>	<u>2,05</u>	<u>5,45</u>	<u>8,2</u>			<u>2,85</u>	<u>3,42</u>
	5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			100,0	100,0
1987	<u>36,7</u>	<u>34,0</u>	<u>18,8</u>	<u>33,6</u>	<u>2,1</u>	<u>2,15</u>	<u>4,8</u>	<u>8,1</u>	2,69			3,08	
6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0					
Ср. за 6 лет	<u>38,0</u>	<u>33,9</u>	<u>20,5</u>	<u>32,2</u>	<u>2,2</u>	<u>2,1</u>	<u>5,1</u>	<u>7,45</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>			
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
(NPK)100	1982	<u>40,7*</u>	<u>34,5</u>	<u>18,3</u>	<u>31,2</u>	<u>2,15</u>	<u>2,2</u>	<u>5,2</u>	<u>8,15*</u>	113,2	112,0		
	1	119,0	100,9	87,1	99,7	102,4	102,3	96,3	113,2				
	1983	<u>38,9</u>	<u>34,8</u>	<u>20,1</u>	<u>33,4</u>	<u>2,3</u>	<u>2,25</u>	<u>6,0*</u>	<u>7,75*</u>				
	2	98,2	103,9	94,8	103,7	100,0	107,1	108,1	127,0				
	1984	<u>37,1</u>	<u>34,7</u>	<u>22,3</u>	<u>35,2*</u>	<u>2,55*</u>	<u>2,35*</u>	<u>6,35*</u>	<u>8,4*</u>				
	3	92,3	100,6	104,2	110,0	110,9	111,9	107,6	112,0				
	1985	<u>38,0</u>	<u>36,0*</u>	<u>17,9</u>	<u>32,3</u>	<u>2,35*</u>	<u>2,15</u>	<u>4,85</u>	<u>8,75*</u>				
	4	96,7	108,1	89,5	101,3	111,9	102,4	92,4	114,4				
	1986	<u>37,6</u>	<u>37,5*</u>	<u>20,8</u>	<u>33,1</u>	<u>2,55*</u>	<u>2,25*</u>	<u>5,4</u>	<u>9,05*</u>				
	5	98,7	110,0	100,5	103,1	115,9	109,8	99,1	110,4				
1987	<u>37,7</u>	<u>34,9</u>	<u>18,6</u>	<u>34,2</u>	<u>2,45*</u>	<u>2,5*</u>	<u>4,85</u>	<u>7,7</u>	5,45	8,3*			
6	102,7	102,6	98,9	101,8	116,7	116,3	101,0	95,1					
Ср. за 6 лет	<u>38,3</u>	<u>35,4*</u>	<u>19,7</u>	<u>33,2</u>	<u>2,4*</u>	<u>2,3*</u>	<u>5,45</u>	<u>8,3*</u>	<u>106,9</u>	<u>111,4</u>			
	100,8	104,4	96,1	103,1	109,1	109,5	106,9	111,4					
(NPK)150	1982	<u>38,9*</u>	<u>34,1</u>	<u>17,1*</u>	<u>32,9</u>	<u>2,0</u>	<u>1,95</u>	<u>3,95*</u>	<u>6,85</u>	73,1	142,6		
	1	113,7	99,7	81,4	105,1	95,2	90,7	73,1	95,1				
	1983	<u>41,4</u>	<u>35,5</u>	<u>20,1</u>	<u>34,3</u>	<u>2,45</u>	<u>2,35*</u>	<u>5,25</u>	<u>8,7*</u>				
	2	104,5	106,0	94,8	106,5	106,5	111,9	94,6	142,6				
	1984	<u>41,2</u>	<u>36,9</u>	<u>22,5</u>	<u>34,8*</u>	<u>2,45</u>	<u>2,25*</u>	<u>6,45*</u>	<u>8,95*</u>				
	3	102,5	107,0	105,1	108,8	106,5	107,1	109,3	119,3				
	1985	<u>41,5</u>	<u>36,1</u>	<u>21,1</u>	<u>36,4*</u>	<u>2,3*</u>	<u>2,35*</u>	<u>6,05*</u>	<u>9,55*</u>				
	4	105,6	108,4	105,5	114,1	109,5	111,9	115,2	124,8				
	1986	<u>42,6*</u>	<u>34,5</u>	<u>22,1</u>	<u>33,4</u>	<u>2,45*</u>	<u>2,35</u>	<u>5,8*</u>	<u>8,9*</u>				
	5	111,8	101,2	106,8	104,0	111,4	114,6*	106,4	108,5				
1987	<u>36,7</u>	<u>35,9</u>	<u>18,2</u>	<u>34,3</u>	<u>2,15</u>	<u>2,15</u>	<u>4,25</u>	<u>7,25</u>	88,5	89,5			
6	100,0	105,6	96,8	102,1	102,4	100,0	88,5	89,5					
Ср. за 6 лет	<u>40,4</u>	<u>35,5</u>	<u>20,2</u>	<u>34,4</u>	<u>2,3</u>	<u>2,25*</u>	<u>5,3</u>	<u>8,35*</u>	<u>103,9</u>	<u>112,1</u>			
	106,3	104,7	98,5	106,8	104,5	107,1	103,9	112,1					

Варианты опыта	Годы после удобрения	Размеры трахеид									
		Диаметры трахеид, мкм				Толщина стенок трахеид, мкм				Длина трахеид, мм	
		РТ		ПТ		РТ		ПТ		РТ	ПТ
		рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.		
(NPK)200	1982	42,2*	37,7*	18,7	34,7*	1,8*	1,95	5,0	9,45*	2,61*	3,03
	1	123,4	110,2	89,0	110,9	85,7	90,7	92,6	131,3	104,4	102,0
	1983	41,9	38,4*	20,3	34,0	2,6*	2,45*	5,5	8,4		
	2	105,8	114,6	95,8	105,6	113,0	116,7	99,1	137,7		
	1984	39,4	39,0	25,6*	36,3*	2,1	2,5*	6,4*	7,3	2,79	3,57*
	3	98,0	113,0	119,6	113,4	91,3	119,0	108,5	97,3	102,6	125,7
	1985	40,4	38,6*	23,2*	33,7	2,25	2,25	6,05*	7,45		
	4	102,8	115,9	116,0	105,6	107,1	107,1	115,2	97,4		
	1986	31,2*	35,9	19,1	34,3	1,8*	1,9	4,95	7,35	2,32*	2,97*
	5	81,9	105,3	92,3	106,9	81,8	92,7	90,8	89,6	81,4	86,8
1987	36,5	36,0	18,4	29,1*	1,9	2,0	4,0*	7,1			
6	99,5	105,9	97,9	86,6	90,5	93,0	83,3	87,7			
Ср. за 6 лет	38,6	37,6*	20,9	33,7	2,1	2,2	5,35	7,85	2,57	3,19*	
		101,9	110,9	101,9	104,7	95,5	104,8	104,9	105,4	95,5	103,6
Сосняк долгомошный											
Контроль	1982	35,4	33,7	23,8	34,2	2,3	2,1	5,9	7,7	2,76	3,32
	1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1983	37,5	35,2	22,1	36,4	2,3	2,15	4,95	7,4		
	2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
	1984	36,3	33,0	24,9	33,8	2,4	2,2	5,8	7,3	2,87	3,30
	3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	1985	38,5	33,5	25,0	34,2	2,25	2,15	5,95	7,4		
	4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
	1986	38,0	32,4	23,4	31,7	2,3	2,0	5,5	7,2	2,47	3,32
	5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1987	37,6	33,7	24,2	33,2	2,2	2,15	5,5	6,75			
6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Ср. за 6 лет	37,2	33,6	23,9	33,6	2,3	2,1	5,6	7,3	2,70	3,31	
		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
(NPK)150	1982	40,5*	36,5	25,0	36,1	2,65*	2,35*	6,75*	8,7*	2,67	3,28
	1	114,4	108,3	105,0	105,6	115,2	111,9	114,4	113,0	96,7	98,8
	1983	38,6	34,3	24,3*	33,7	2,75*	2,45*	6,4*	10,15*		
	2	102,9	97,4	110,0	97,4	119,6	114,0	129,3	137,2		
	1984	38,8	35,7	24,7	33,4	2,5	2,4*	6,8*	9,45*	2,77	3,3
	3	106,9	108,2	99,2	98,8	104,2	109,1	117,2	126,7	96,5	100,9
	1985	39,7	34,7	25,3	34,9	2,45*	2,35*	6,6*	9,05*		
	4	103,1	103,6	101,2	102,0	108,9	109,3	110,9	122,3		
	1986	40,9	35,5*	23,8	35,6*	2,65*	2,25*	6,45*	9,75*	2,92*	3,26
	5	107,6	109,6	101,7	112,3	115,2	112,5	117,3	135,4	118,2	98,2
1987	39,0	34,7	23,4	35,8	2,45*	2,15	5,85	8,65*			
6	103,7	103,0	96,7	107,8	111,4	100,0	106,4	128,1			
Ср. за 6 лет	39,6	35,2	24,4	34,9	2,6*	2,35*	6,45*	9,45*	2,79*	3,29	
		106,4	104,8	102,1	103,9	113,0	111,9	115,2	126,7	103,3	99,4

Примечание: 1.* – Различие с контролем существенно с вероятностью 0,95 ($t_{\phi} > t_T$), $t_T = 2,3; 2,4$. 2. Числитель – абсолютные значения признака, знаменатель – проценты от контроля. 3. РТ – ранние трахеиды, ПТ – поздние трахеиды и их размеры в радиальном (рад.) и тангенциальном (танг.) направлениях

В среднем за 6 лет полные удобрения во всех дозах увеличили общее число рядов трахеид в годичном слое примерно в 2 раза, особенно поздних, что привело к повышению

ШГС более, чем в 2 раза, а содержание поздней древесины на 16,4–30,7 % по сравнению с контролем. Максимальное число рядов трахеид в годичных слоях формировалось на

2–4-й годы после удобрения, когда общее их число рядов увеличилось на 56,0–139,2 %: ранних – на 35,4–145,2 %; поздних – на 72,5–202,9 % по сравнению с контролем.

В сосняке брусничном полные удобрения вызвали существенные изменения в поперечных размерах и длине трахеид.

Полные удобрения во всех дозах способствовали утолщению стенок и увеличению диаметров ранних и поздних трахеид в течение 6 лет их действия.

(NPK)100 повысили толщину стенок ранних трахеид, особенно в тангенциальном направлении, и поздних – в радиальном направлении (таблица). В среднем за 6 лет они увеличили эти показатели соответственно на 15 % и 13,0 % по сравнению с контролем. (NPK)100 привели к росту тангенциальных диаметров ранних трахеид на 2–5-й годы и поздних – в обоих направлениях на 2–6-й годы после удобрения (таблица). В среднем за 6 лет (NPK)100 существенно увеличили диаметры ранних трахеид в тангенциальном направлении на 5,6 %, поздних – в радиальном направлении на 9,4 % по сравнению с контролем.

(NPK)150 способствовали утолщению стенок трахеид в обоих направлениях: ранних в течение 6 лет, поздних – на 2–6-й годы после удобрения (таблица). В среднем за 6 лет (NPK)150 увеличили толщину стенок ранних трахеид в радиальном направлении на 13,0 %, в тангенциальном – на 13,6 % и радиальную толщину стенок поздних трахеид – на 14,8 % по сравнению с контролем. (NPK)150 повлияли на диаметры трахеид. Наиболее значительные изменения наблюдались в размерах диаметров поздних трахеид на 2–6-й годы после удобрения (таблица). В среднем за 6 лет в этом опыте удобрения увеличили у ранних трахеид тангенциальные диаметры на 3,8 %, у поздних: радиальные диаметры – на 10,8 %, тангенциальные – на 6,6 % по сравнению с контролем.

В опыте с (NPK)200 наблюдалось существенное повышение толщины стенок ранних трахеид в тангенциальном направлении и поздних – в радиальном направлении на 2–6-й годы после удобрения. Радиальное утолщение стенок ранних трахеид было в

первые 3 года и 6-й год после внесения удобрений, тангенциальное утолщение стенок поздних трахеид – на 2-й и 6-й годы, а в 1-й год после удобрения этот показатель был меньше (на 14,0 %), чем в контрольном древостое (таблица). В среднем за 6 лет действия удобрений произошло существенное повышение толщины стенок ранних трахеид в радиальном направлении на 8,7 %, в тангенциальном – на 18,2 % и поздних – в радиальном направлении – на 14,8 % по сравнению с контролем. (NPK)200 вызвали изменения в диаметрах ранних и поздних трахеид. Они увеличили диаметры: ранних – в тангенциальном направлении на 2–3-й и 5-й годы; поздних – в обоих направлениях на 2–6-й годы после удобрения (таблица). В среднем за 6 лет действия удобрений произошло повышение у ранних трахеид тангенциальных диаметров на 8,2 %, у поздних: радиальных диаметров – на 7,5 %, тангенциальных диаметров – на 9,1 % по сравнению с контролем.

Полные удобрения в дозе 200 кг/га д. в. способствовали существенному удлинению ранних трахеид на 3–5-й годы, поздних – в течение 5 лет действия удобрений (таблица). В среднем за 5 лет после удобрения длина ранних стала больше на 8,4 %, поздних – на 10,1 %, чем в контрольном древостое.

Исследования динамики микроструктуры древесины сосны в сосняке брусничном показали положительное влияние полных удобрений во всех дозах в течение 6 лет на количество рядов, соотношение, поперечные размеры и длину ранних и поздних трахеид.

В сосняке лишайниковом полные удобрения вызвали другой характер изменений в микроструктуре древесины сосны, чем в сосняке брусничном. Они способствовали росту общего числа рядов трахеид, что привело к увеличению радиального прироста; вызвали различные изменения в соотношении ранних и поздних трахеид в годичных слоях сосны в зависимости от дозы удобрений; а также вызвали утолщения стенок ранних и поздних трахеид.

В динамике формирования рядов трахеид во всех вариантах опыта с полными удобрениями в сосняке лишайниковом на-

блюдалось в 1-й год после удобрения снижение числа ранних (на 9,3–31,5 %) и особенно поздних трахеид (на 10,9–37,0 %), а также в опыте с (NPK)200 на 5-й год снижение числа поздних трахеид (на 11,1 %), что привело к уменьшению доли поздней древесины в годичных слоях во всех опытах с удобрениями и падению радиального прироста в опытах с (NPK)100 и (NPK)150 (рисунки). (NPK)100 и (NPK)150 в течение 6 лет их действия способствовали росту общего числа трахеид и незначительно изменили соотношение ранних и поздних трахеид в годичных слоях. Так, в среднем за 6 лет (NPK)100 увеличили: общее число рядов трахеид на 22,4 %: ранних – на 17,0 %, поздних – на 27,7 %. (NPK)150 увеличили эти показатели соответственно на 28,9 %, 30,0 % и 27,7 % по сравнению с контролем.

В опыте с (NPK)200 наблюдалась другая тенденция. На фоне общего роста числа рядов трахеид соотношение между ранними и поздними трахеидами изменилось в сторону увеличения последних. В среднем за 6 лет (NPK)200 вызвали повышение: общего числа рядов трахеид на 47 %, ранних – на 33,0 %, поздних – 62,4 % по сравнению с контролем. Эти изменения способствовали увеличению радиального прироста и доли поздней древесины в годичных слоях сосны (рисунок).

Полные удобрения положительно повлияли на толщину стенок трахеид, особенно в дозах 100 и 150 кг/га д. в. (NPK)100 увеличили толщину их стенок: ранних – в обоих направлениях на 3–6-й годы после их внесения, поздних – в радиальном направлении на 2-й и 3-й годы, в тангенциальном направлении – в первые 5 лет после удобрения (таблица). В среднем за 6 лет действия удобрений произошло существенное повышение толщины стенок ранних трахеид: в радиальном направлении – на 9,1 %, в тангенциальном – на 9,5 % и поздних – в тангенциальном направлении – на 11,4 % по сравнению с контролем. (NPK)100 мало изменили диаметры трахеид: только на 4-й и 5-й годы после удобрения увеличили тангенциальные

диаметры ранних трахеид (таблица); в среднем за 6 лет этот показатель вырос на 4,4 % по сравнению с контролем.

В опыте с (NPK)150 наблюдалось утолщение стенок ранних трахеид в радиальном направлении на 4-й и 5-й годы, в тангенциальном направлении – на 2–5-й годы; поздних – в радиальном направлении – на 3–5-й, в тангенциальном – на 2–5-й годы после удобрения (таблица). В среднем за 6 лет после удобрения существенно увеличилась тангенциальная толщина стенок ранних трахеид – на 7,1 %, поздних – на 12,1 % по сравнению с контролем. Изменения в диаметрах были незначительные. Некоторое повышение радиальных диаметров ранних трахеид было в 1-й и 5-й годы, тангенциальных диаметров поздних – на 3-й и 4-й годы и снижение радиальных диаметров поздних трахеид в 1-й год после удобрения (таблица).

(NPK)200 мало повлияли на поперечные размеры трахеид. Толщина их стенок увеличилась: у ранних – в тангенциальном направлении на 2-й и 3-й годы, в радиальном направлении – на 3-й год; у поздних – в радиальном направлении – на 3-й и 4-й годы, в тангенциальном направлении – в 1-й и 2-й годы после удобрения. Уменьшили радиальную толщину стенок ранних трахеид в 1-й и 5-й годы, поздних – на 6-й год после внесения удобрений (таблица). (NPK)200 вызвали существенное повышение тангенциальных диаметров ранних трахеид в первые 4 года после их внесения (таблица), в среднем за 6 лет их действия этот показатель увеличился на 10,9 % по сравнению с контролем. Рост диаметров ранних трахеид наблюдался в радиальном направлении в 1-й год, поздних – в радиальном направлении на 3-й и 4-й годы, в тангенциальном направлении – в 1-й и 3-й годы после внесения удобрений. Снижение толщины стенок было у ранних – в радиальном направлении на 5-й год, у поздних – в тангенциальном направлении на 6-й год после удобрения (таблица).

(NPK)200 за период их действия вызвали разные изменения в динамике длины трахеид сосны. Их длина существенно увеличилась: у ранних в 1-й год, у поздних – на

3-й год; снизилась у ранних и поздних трахеид на 5-й год после удобрения (таблица). В среднем за 5 лет действия удобрений этот показатель существенно вырос – у поздних трахеид на 5,4 % по сравнению с контролем.

Таким образом, в сосняке лишайниковом полные удобрения во всех дозах способствовали увеличению общего числа рядов трахеид, утолщению их стенок, что в результате положительно повлияло на микроструктуру древесины сосны.

В сосняке долгомошном применение полных удобрений в дозе 150 кг/га д. в. вызвало неоднозначные изменения в микроструктуре древесины сосны. Удобрения мало повлияли на число рядов трахеид за 6 лет их действия, но изменили соотношение между количеством рядов ранних и поздних трахеид в годичных слоях сосны. В опытах с удобрениями число рядов ранних трахеид было больше, чем в контрольном древостое, в 1-й, 2-й, 5-й и 6-й годы на 12,7–42,7 %, в среднем за 6 лет действия удобрений – на 15,2 %. А число рядов поздних трахеид было меньше на 2–5-й годы на 8,0–28,4 %, в среднем за 6 лет после удобрения – на 11,3 % по сравнению с контролем. В результате этих изменений произошло снижение на 17,4 % содержания поздней древесины в годичных слоях сосны в среднем за 6 лет действия удобрений.

В сосняке долгомошном (NPK)150 не вызвали существенных изменений в диаметрах трахеид, но способствовали в течение 6 лет утолщению их стенок (таблица). Так, толщина стенок за весь период действия удобрений была существенно больше, чем на контроле (таблица). В среднем за 6 лет толщина стенок ранних трахеид в радиальном направлении выросла на 13,0 %, в тангенциальном – на 11,9 %, поздних – в радиальном направлении на 15,2 %, в тангенциальном – на 26,7 % по сравнению с контролем.

Полные удобрения ((NPK)150) оказали положительное влияние на длину ранних трахеид. В среднем за 5 лет они увеличили этот показатель на 3,3 % по сравнению с контролем, максимальное удлинение ранних

трахеид (на 18,2 %) было на 5-й год после удобрения.

Следовательно, полные удобрения в сосняке долгомошном в дозе 150 кг/га д. в. вызвали различный характер изменений в структуре древесины сосны. С одной стороны, они отрицательно влияли на строение древесины в результате снижения рядов поздних трахеид и доли поздней древесины в годичных слоях. С другой стороны, они действовали положительно на микроструктуру древесины сосны за счет утолщения стенок трахеид и увеличения длины ранних трахеид.

Следует особо отметить, что 1985 г. был неблагоприятен для роста сосняков – во всех изучаемых типах леса в большинстве вариантов опыта наблюдались положительные изменения в динамике макро- и микроструктуры древесины сосны. Следовательно, полные удобрения не только улучшают рост и строение древесины сосны, но и повышают устойчивость сосняков к неблагоприятным климатическим факторам (в данном случае к засухе).

Наши исследования показали, что с помощью полных удобрений с учетом доз, продолжительности их действия, типов леса и климатических факторов можно ускорить выращивание древесины сосны с заданными показателями макро- и микроструктуры. Строение древесины сосны считается оптимальным при ширине годичного слоя 1,0–1,5 мм, количестве слоев в 1 см 3–25, содержании поздней древесины 30 % и выше [2, 9]. Формированию древесины с оптимальной структурой в условиях южной тайги Костромской области способствует применение полных удобрений в сосняке брусничном в дозах 100, 150 и 200 кг/га д. в., в сосняке лишайниковом – в дозе 200 кг/га д. в. В сосняке долгомошном применение удобрений без осушительной лесомелиорации малоэффективно.

Библиографический список

1. Гелес, И.С. Влияние удобрений на некоторые свойства древесины сосны / И.С. Гелес,

- В.И. Шубин, З.А. Коржицкая // Лесоведение. – 1987. – № 4. – С. 72–77.
2. Звирбуль, А.П. Влияние удобрения сосновых насаждений карбамидом на качество древесины / А.П. Звирбуль, Г.Н. Некрасова, О.И. Полубояринов // Изв. вузов. Лесной журнал. – 1976. – № 6. – С. 18–22.
 3. Лесные плантации (ускоренное выращивание ели и сосны) / И.В. Шутов, Е.Л. Маслаков, И.А. Маркова и др. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 248 с.
 4. Мелехов, И.С. Значение типов леса и лесорастительных условий в изучении строения древесины и ее физико-механические свойства / И.С. Мелехов // Науч. тр. Института леса. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – Т.4.– № 6. – С. 11–20.
 5. Паавилайнен, Э. Применение минеральных удобрений в лесу / Э. Паавилайнен; пер. с финского Л.В. Блюдника; под ред. В.С. Победова. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 96 с.
 6. Победов, В.С. Экономическая эффективность использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве / В.С. Победов. – М.: ЦБНТИлесхоз, 1975. – 43 с.
 7. Полубояринов, О.И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины: учеб. пособие / О.И. Полубояринов. – Л.: РИО ЛТА, 1974. – 96 с.
 8. Сляднев, А.П. Комплексный способ выращивания сосновых насаждений / А.П. Сляднев. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 103 с.
 9. Степаненко, И.И. Влияние минеральных удобрений на строение и формирование древесины сосны в связи с типами леса: дис. ... канд. биол. наук / И.И. Степаненко. – М., 1993. – 24 с.
 10. Ondro W.J., Constantino L.F. Financial return from fertilizing 70-year old Logepole pine near Ainton, Alberta // Forest. Chron, 1990. – Vol. 66. – № 3. – P. 287–292.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО ДИАМЕТРУ

ГАХРАМАНИ ЛОГМАН, преподаватель Курдистанского университета Ирана,
О.А. ХАРИН, проф. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ

1. Распределение числа деревьев по диаметру

В процессе формирования высокопродуктивных хозяйственно ценных сосновых насаждений большое значение придается раскрытию особенностей строения их основного компонента, т.е. древостоя, в котором порядок сочетания деревьев отражает закономерности распределения, изменчивость и взаимосвязь таксационных показателей.

Основными таксационными показателями строения насаждений являются ряды распределения числа по ступеням толщины, которые дают возможность получить представление о строении насаждений. Эти данные используются при составлении товарных таблиц, при разработке моделей сортиментации лесного и лесосечного фонда, при изучении роста насаждений и при проектировании лесохозяйственных мероприятий.

Одной из центральных задач моделирования строения насаждений является подбор соответствующих законов для аппрок-

симации распределений деревьев по ступеням толщины.

В данной работе была проведена математическая обработка результатов исследований сосновых насаждений.

Методика исследования

Основным методом сбора экспериментальных материалов явился лесоводно-таксационный, который заключался в биометрических измерениях и описаниях компонентов сосновых насаждений. Детальное изучение особенностей структуры и строения сосновых насаждений, оценки влияния изреживания и изучения процесса естественного изреживания выполнено на пробных площадях размером 0,15–0,25 га, заложенных в сосновых насаждениях, произрастающих в условиях Московской области, в 2002–2004 гг. Были проведены биометрические измерения на 14 восстановленных постоянных пробных площадях, заложенных Н.М. Набатовым в сосновых насаждениях в квартале 83/66 Гребневского лесничества в

1972 г. Также были использованы материалы 7 постоянных пробных площадей, заложенных в лесной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии.

Закладка пробных площадей осуществлялась по принятым в лесной таксации стандартным методикам [1, 2].

Достоверное установление любого таксационного признака древостоя регламентируется представительством деревьев на пробной площади в определенном возрасте. В наших исследованиях в качестве опытного материала использовались пробные площади с числом стволов, отвечающим требованиям, установленным лесоустроительной инструкцией.

Для выравнивания эмпирических данных использованы следующие законы распределения: нормальный, логнормальный, экспоненциальный, равномерный, гамма, бета, Вейбулла. Соответствие теоретических распределений эмпирическим оценивалось по критерию χ^2 – Пирсона на 5 %-м и 1 %-м уровнях значимости при соответствующей степени свободы. В случае если $\chi^2_{\text{(расчетный)}} < \chi^2_{\text{(критический)}}$, то нулевая гипотеза подтверждается – теоретическая кривая описывает эмпирический ряд. Если же $\chi^2_{\text{(расчетный)}} > \chi^2_{\text{(критический)}}$, то нулевая гипотеза отвергается – теоретическая кривая не описывает эмпирический ряд.

В сосновых насаждениях распределение числа деревьев (в %) по естественным ступеням толщины (ЕСТ) в возрасте от 40 до

90 лет характеризуется положительной асимметрией и отрицательным эксцессом (табл. 1).

По мере увеличения возраста насаждений наблюдается общая тенденция на увеличение эксцесса. Оценка достоверности асимметрии по критерию t -Стьюдента показывает, что в диапазонном возрасте 40–90 лет существование асимметрии недостоверно ($t_A < 1,96$), т.е. рассматриваемые распределения достаточно близки к симметричным. Оценка достоверности эксцесса по критерию t -Стьюдента также свидетельствует об отсутствии отклонения указанных кривых распределений от нормального по своему эксцессу ($t_E < 1,96$).

Значения среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации рядов распределений числа деревьев (в %) по ЕСТ с возрастом уменьшается, что свидетельствует о том, что по мере увеличения возраста насаждений размах распределения уменьшается. Это указывает на то, что в сосновых насаждениях с возрастом число деревьев тонких и крупных ступеней толщины уменьшается, в то время как количество деревьев центральных ступеней толщины увеличивается (табл. 1).

Проведенный анализ позволяет сделать заключение о перспективности использования кривого бета-распределения (40–50 лет) и кривого нормального распределения (60–90 лет) в исследовании по строению сосновых насаждений (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Статистические характеристики распределения числа деревьев (в %) по ЕСТ в сосновых насаждениях

Возраст, лет	M	$P, \%$	S	$V, \%$	A	E	t_A	t_E
40	0,942	2,5	0,243	25,8	0,133	-0,557	0,55	-1,16
50	0,968	2,4	0,232	24,0	0,123	-0,478	0,51	-1,00
60	0,987	2,2	0,215	21,8	0,158	-0,462	0,66	-0,96
70	0,997	2,0	0,204	20,5	0,161	-0,451	0,67	-0,94
80	1,003	1,9	0,194	19,3	0,133	-0,405	0,55	-0,84
90	1,008	1,8	0,184	18,3	0,126	-0,378	0,53	-0,79

Примечание: M – средняя арифметическая ЕСТ; P – точность M ; S – среднее квадратическое отклонение; V – коэффициент вариации; A – показатель асимметрии; E – показатель эксцесса; t_A – критерий t -Стьюдента асимметрии; t_E – критерий t -Стьюдента эксцесса.

Распределение числа деревьев (в %) по ЕСТ в сосновых насаждениях

ЕСТ	Возраст насаждений, лет					
	40	50	60	70	80	90
	Число деревьев, %					
0,6	9,50	6,91	4,77	2,48	2,00	1,07
0,7	12,40	11,20	9,57	9,32	8,34	6,97
0,8	13,90	14,07	13,59	14,60	13,90	13,51
0,9	14,30	15,30	15,94	17,23	17,26	18,05
1	13,70	14,96	16,27	17,23	18,00	19,42
1,1	12,30	13,28	14,69	15,10	16,28	17,53
1,2	10,30	10,64	11,66	11,57	12,64	13,12
1,3	7,60	7,49	7,89	7,52	7,94	7,59
1,4	4,60	4,35	4,20	3,80	3,33	2,67
1,5	1,40	1,78	1,44	1,14	0,28	0,06
Итого	100	100	100	100	100	100
χ^2_{α}	2,31	0,89	0,72	1,28	3,29	6,55
$\chi^2_{0,05}$	12,59	12,59	11,07	11,07	9,49	9,49

Примечание: χ^2 – критерий Пирсона.

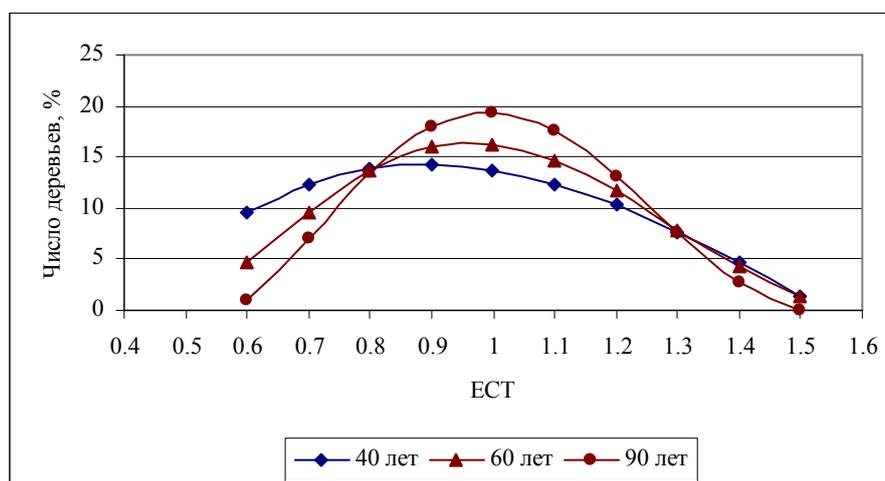


Рис. 1. Распределение числа деревьев (в %) по ЕСТ в сосновых насаждениях

В сосновых насаждениях в возрасте от 40 до 90 лет деревья естественных ступеней толщины ниже 1,0 составляют 61 % от общего количества деревьев, а деревья ЕСТ выше 1,0 – 39 %.

Полученные данные показывают, что по мере увеличения возраста насаждений наблюдается уменьшение числа деревьев естественных ступеней толщины ниже единицы, в то время как число деревьев естественных ступеней толщины выше единицы увеличивается (табл. 2).

Результаты свидетельствуют о том, что в сосновых насаждениях с возрастом проис-

ходит перераспределение деревьев в пределах ЕСТ, в результате чего число деревьев центральных ЕСТ (0,9–1,2) увеличивается. В исследуемых сосновых насаждениях в возрасте 40–90 лет деревья центральных ЕСТ (0,9–1,2) составляют 59,5 % от общего числа деревьев, а деревья крайних ЕСТ – 40,5 % (рис. 1).

В сосновых насаждениях с увеличением размера ступеней толщины число деревьев увеличивается, и это увеличение достигает максимального значения в центральных естественных ступенях толщины. После этого наблюдается уменьшение числа деревьев с увеличением размера ЕСТ.

2. Распределение запаса деревьев по диаметру

В сосновых насаждениях распределение запаса деревьев (в %) по естественным ступеням толщины в возрасте от 40–90 лет характеризуется отрицательной асимметрией и отрицательным эксцессом (табл. 3).

По мере увеличения возраста насаждений наблюдается общая тенденция на увеличение эксцесса. Оценка достоверности асимметрии по критерию *t*-Стьюдента показывает, что в диапазонном возрасте 40–90 лет существование асимметрии недостоверно ($t_A < 1,96$), т.е. рассматриваемые кривые распределения достаточно близки к симметричным. Оценка достоверности эксцесса по критерию *t*-Стьюдента свидетельствует об отсутствии отклонения указанных кривых распределений от нормального по своему эксцессу ($t_E < 1,96$) (табл. 3).

Уменьшение значения среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации с возрастом свидетельствует о том, что по мере увеличения возраста насаждений размах распределения запаса деревьев уменьшается. Это говорит о том, что в сосновых насаждениях основная часть запаса относится к деревьям центральных ступеней толщины. На долю деревьев крайних ступеней приходится незначительная величина запаса.

Результаты выравнивания эмпирических данных распределения запаса деревьев в сосновых насаждениях по вышеуказанным рядам распределения свидетельствуют о пригодности бета-распределения в возрасте 40–50 лет для этой цели, в то время как в возрасте от 60 до 90 данные были выравнены по нормальному распределению.

Т а б л и ц а 3

Статистические характеристики распределения запаса деревьев (в %) по ЕСТ в сосновых насаждениях

Возраст насаждений, лет	<i>M</i>	<i>P</i> , %	<i>S</i>	<i>V</i> , %	<i>A</i>	t_A	<i>E</i>	t_E
40	1,144	2,2	0,247	21,6	-0,156	-0,65	-0,72	-1,50
50	1,220	1,9	0,227	18,6	-0,408	-1,70	-0,34	-0,71
60	1,140	1,9	0,225	19,7	-0,084	-0,35	-0,32	-0,66
70	1,128	2,0	0,218	19,3	-0,094	-0,39	-0,05	-0,11
80	1,117	1,9	0,211	18,9	-0,177	-0,74	-0,22	-0,47
90	1,109	1,8	0,200	18,0	-0,386	-1,61	0,55	1,14

Т а б л и ц а 4

Распределение запаса деревьев (в %) по ЕСТ в сосновых насаждениях

ЕСТ	Возраст насаждений, лет					
	40	50	60	70	80	90
	Запас деревьев, %					
0,6	1,57	0,33	1,14	1,08	1,02	0,83
0,7	4,82	2,00	2,76	2,77	2,76	2,52
0,8	7,72	4,44	5,80	6,01	6,2	6,10
0,9	10,13	7,22	10,18	10,7	11,22	11,60
1,0	11,96	10,03	14,75	15,51	16,29	17,24
1,1	13,11	12,55	17,59	18,26	18,93	19,98
1,2	13,50	14,48	17,25	17,44	17,58	18,04
1,3	13,02	15,44	13,91	13,52	13,06	12,69
1,4	11,52	14,99	9,23	8,51	7,77	6,97
1,5	8,71	12,44	5,04	4,38	3,72	3,00
1,6	3,83	6,14	2,33	1,87	1,46	1,03
Итого	100	100	100	100	100	100
χ^2_{α}	0,95	3,4	3,06	2,83	10,27	2,26
$\chi^2_{0,05}$	12,59	11,07	11,07	11,07	11,07	9,49

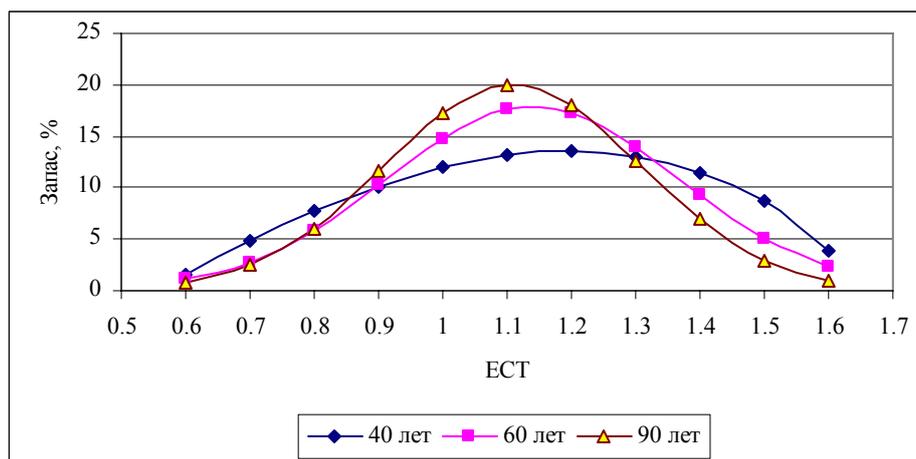


Рис. 2. Распределение запаса деревьев (в %) по ЕСТ в сосновых насаждениях

В сосновых насаждениях в возрасте от 40 до 90 лет на долю запаса деревьев ступеней толщины ниже 1,0 приходится 34,5 % от общего запаса насаждений, а деревья выше 1,0 составляют 65,5 % от общего запаса. Полученные данные показывают, что по мере увеличения возраста насаждений от 40 до 50 лет наблюдается резкое снижение запаса деревьев ступеней толщины ниже единицы, в то время как в указанном возрасте запас деревьев естественных ступеней толщины выше единицы резко увеличивается. После 50-летнего возраста наблюдается общая тенденция на увеличение в запасах деревьев, относящихся к ЕСТ ниже единицы, а у деревьев ЕСТ выше единицы запас уменьшается.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в сосновых насаждениях с возрастом запас деревьев центральных ЕСТ (0,9–1,3) увеличивается. В изученных сосновых насаждениях в возрастном диапазоне 40–90 лет деревья центральных ЕСТ (0,9–1,3) составляют 71,2 % от общего запаса, а деревья крайних ЕСТ – 28,8 % (рис. 2).

В сосновых насаждениях с увеличением размера ступеней толщины запас увеличивается и достигает максимального значения в центральных естественных ступенях толщины. После этого наблюдается уменьшение запаса в крайних крупных ЕСТ.

Заключение

В управлении лесным хозяйством важнейшая роль принадлежит регулирова-

нию лесопользования. Главной идеей развития лесохозяйственного производства, как показывает история его развития, является получение возможно большего количества древесины без истощения наличных лесных ресурсов и снижения продуктивности насаждений. Этот подход к решению одной из основных задач лесного хозяйства получил название принципа непрерывного и неистощительного пользования лесом, суть которого заключается в регулировании размера ежегодной рубки леса его годичным приростом.

Для регулирования лесопользования при выборочном хозяйстве необходимо раскрыть структуру насаждений, т.е. определить общее количество и общий запас деревьев и их распределение по ступеням толщины. Ряд распределения деревьев по ступеням толщины является основным таксационным показателем строения насаждений. Эти данные необходимы при определении размера лесопользования при выборочной форме хозяйства, а также используются при составлении товарных таблиц, при разработке моделей сортиментации лесного и лесосечного фонда как главного, так и промежуточного лесопользования, при изучении роста насаждений и при проектировании лесохозяйственных мероприятий. Кроме того, с помощью полученных данных, характеризующих строения насаждений, можно анализировать распределение деревьев при оценке процесса естественного изреживания насаждений в процессе их роста и давать

оценку эффективности лесохозяйственных мероприятий.

Библиографический список

1. Анучин, Н.П. Лесное хозяйство и охрана природы / Н.П. Анучин. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 271 с.
2. Анучин, Н.П. Лесоустройство / Н.П. Анучин. – М: Экология, 1991. – 400 с.
3. Атрощенко, О.А. Кривые распределения деревьев по диаметру в березовых древостоях / О.А. Атро-
- щенко // Лесоведение и лесное хоз-во. – Вып. 12. – Минск: Высшэйшая школа, 1976. – С. 104–113.
4. Атрощенко, О.А. Система моделирования и прогноза роста древостоев: дисс. ... д-ра с.-х. наук. / О.А. Атрощенко – Киев, 1986. – 34 с.
5. Атрощенко, О.А. Система моделирования строения древостоев по диаметру / О.А. Атрощенко // Лесной журнал, 1989. – № 2. – С. 3–7.
6. Багинский, В.Ф. Строение сосновых молодняков БССР / В.Ф. Багинский // Лесной журнал, 1974. – № 1. – С. 144–146.

АРХИТЕКТОНИКА РОСТА КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ КАШТАНА СЪЕДОБНОГО НА СКЛОНАХ РАЗЛИЧНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

А.К. СЕЙИДОВ, *Гянджинский ГУ, д-р с.-х. наук*

Среди орехоплодных растений каштан съедобный представляет большую народнохозяйственную ценность как древесная, плодовая, медоносная, декоративная и горнозащитная порода.

Плоды каштана – источник витаминов, углеводов, микроэлементов и других веществ, имеющих большое значение в питании человека.

Древесина находит широкое применение во многих производствах. Из нее изготавливают мебель, национальные инструменты и т.д.

В Азербайджане особая роль в производстве плодов каштана съедобного отводится Шеки-Загатальской зоне, агроэкологические и экономические условия которой наиболее благоприятны для развития этой культуры. В частности, здесь сосредоточен естественный и искусственный ареал каштана съедобного.

Для разработки научно обоснованной агротехники и получения высоких и устойчивых урожаев плодовых в различных почвенно-климатических условиях необходимо глубокое изучение у них биологических особенностей роста и развития надземной и подземной систем в их взаимосвязи, с одной стороны, и условиями среды – с другой.

Имеющиеся литературные данные говорят о том, что глубина залегания корневой

системы в различных почвенно-климатических условиях зависит от типа почв и от состояния почвенной влажности [1, 2, 4–6]. Исследования Г.А. Идрисова [3], И.Н. Рябова [8], П.Г. Шитта [10] и других помогли более глубоко вскрыть биологические особенности плодовых пород, особенно в части развития корневой системы и зональности самих изменений.

В.А. Колесников [5] обнаружил отсутствие корней вокруг штамба дерева в радиусе 1–1,5 м, причиной которого он считает периодическое заболачивание почвы при избыточном поливе по «чашам».

Многие ученые, особенно В.А. Колесников [5, 6], И.А. Муромцев [7], П.Г. Шитт [10], собрали оригинальные материалы по характеристике основной питающей корневой системы.

Г.А. Идрисов [3] установил корреляционную взаимозависимость корневой системы с надземной системой и почвенно-грунтовыми условиями.

Изучением корневой системы каштана съедобного в Шеки-Загатальской зоне никто не занимался. Между тем вопросы размещения корневой системы, закономерности и роста активной части корней имеют большое теоретическое и практическое значение, т.к. они позволяют разработать технологию возделывания культуры каштана съедобного.

**Плотность корневой системы деревьев каштана съедобного на опытном участке
(в среднем по двум деревьям)**

Экспозиция склонов	Корни, извлеченные из почвенных монолитов	Расстояние от штамба в сторону междурядья и плантации, м				Всего корней, шт.
		0,5	1,0	1,5	2,0	
1	2	3	4	5	6	7
СЕВЕРНЫЙ	5-летнего возраста					
	Количество, шт.	537	212	72	7	828
	%	64,9	25,6	8,7	0,8	100
	Общая длина, м	169	128	78	12	387
	%	43,7	33,1	20,1	3,1	100
	Глубина залегания, м	–	–	–	–	0,42
ЮЖНЫЙ	5-летнего возраста					
	Количество, шт.	421	186	76	–	683
	%	61,6	27,3	11,1	–	100
	Общая длина, м	151	89	44	–	284
	%	53,2	31,3	15,5	–	100
	Глубина залегания, м	–	–	–	–	0,51
СЕВЕРНЫЙ	6-летнего возраста					
	Количество, шт.	605	241	89	8	943
	%	64,2	25,6	9,4	0,8	100
	Общая длина, м	212	121	97	7	437
	%	48,5	27,7	22,2	1,6	100
	Глубина залегания, м	–	–	–	–	0,45
ЮЖНЫЙ	6-летнего возраста					
	Количество, шт.	546	229	76	7	854
	%	63,9	26,8	8,9	0,4	100
	Общая длина, м	190	84	75	4	353
	%	53,8	23,8	21,3	3,1	100
	Глубина залегания, м	–	–	–	–	0,65
СЕВЕРНЫЙ	10-летнего возраста					
	Количество, шт.	2248	1865	1189	43	5345
	%	42,1	34,9	22,2	0,8	100
	Общая длина, м	369	198	108	12	687
	%	53,7	28,8	15,7	1,8	100
	Глубина залегания, м	–	–	–	–	1,27
ЮЖНЫЙ	10-летнего возраста					
	Количество, шт.	2123	1744	1083	36	4986
	%	42,6	35,0	21,7	0,7	100
	Общая длина, м	293	139	87	9	528
	%	55,5	26,3	16,5	1,7	100
	Глубина залегания, м	–	–	–	–	1,35

При изучении архитектоники и роста корневой системы каштана мы руководствовались методикой В.А. Колесникова [5].

Для выяснения характера размещения корней каштана съедобного исследованы корневая система разновозрастных (5, 6, 9, 10-тилетних) деревьев в различных генетических горизонтах почвы, на склонах разных экспозиций.

Установлено, что распространение корневой системы по горизонтам почвы неравномерно и зависит от дифференциации почвогрунта, физических свойств почвы, ее плодородия, а также от биологических особенностей сорта или формы.

Наши раскопки показали, что питательный режим буролесных почв, а также возрастные особенности и экспозиция скло-

нов оказали влияние на характер расположения корневой системы каштана съедобного.

Агрохимический анализ почвы, проведенный нами, показал, что наиболее низкое содержание питательных веществ имеет место в третьем горизонте (табл. 1). Данные, представленные в табл. 1, показывают, что на северном склоне в третьем горизонте почвы, по сравнению с вышележащим, количество гумуса было в 2,4 раза и легкоусвояемой фосфорной кислоты в 2,2 раза меньше, а на южном склоне соответственно в 3,1 и 2 раза меньше.

Растительный механизм является единым целым. Значительный рост корневой системы возможен только при хорошем росте надземной части. Рост побегов сокращает приток пластических веществ в растение и усиливает их приток в корни. Таким образом, можно сделать следующие выводы: рост активных корней в некоторой степени связан с ростом побегов; интенсивность роста побегов зависит в большей степени от температуры воздуха, чем от влажности почвы, а также от биологических особенностей сорта, формы каштана съедобного (так, средняя длина побегов изучаемых сортов и форм каштана съедобного в среднем за 5 лет составила 30,4–36,6 см, диаметр – 29,6–40,5 см).

Недостаток влаги нарушает ритмы ростовых процессов и тем самым снижает рост активных корней, и, наоборот, при увеличении влажности почвы рост активных корней усиливается, понижение температуры замедляет рост корней. Корневая система все время находится под влиянием меняющейся температуры и влажности почвы, которая оказывает большое влияние на рост активных корней.

Наши наблюдения показали, что заметный рост активных корней каштана был отмечен только со 2 апреля, когда создавались благоприятные условия для роста корней. В это время на северном склоне средняя температура почвы на глубине 20–40 см достигла 6,5 °С, а на южном склоне соответственно 7 °С. Средняя влажность почвы в этом слое была на северном склоне 23,8 % и на южном – 22,1 %.

Сильный рост активных корней наблюдался с конца второй декады мая и длился до конца июня. С июля рост корней начал падать, и наступило сильное замедление в жизнедеятельности корневой системы дерева на протяжении всего лета. Важно отметить, что влажность почвы на глубине 20–40 см понизилась на северном склоне до 14,7, а на южном склоне до 13,3 %. Температура почвы в этом слое была соответственно 22,0 и 22,5 °С. Это обусловило значительное уменьшение роста активных корней. Они составляли 6,3–18,5 % по длине и 13,2–24,9 % по количеству. Следует отметить, что на северном (более холодном) склоне процент активных корней составлял 18,5 %, а на южном – 6,3 %.

По-видимому, это связано с тем, что в зоне размещения основной массы корней температура почвы была максимальной, а влажность почвы минимальной. Недостаток влаги в этот период нарушил ритмы ростовых процессов и тем самым снизил рост активных корней.

Осенью, в первой половине октября, когда несколько понизилась температура и увеличилась влажность почвы, рост активных корней усилился, т.е. наблюдался осенний максимум роста корней. Дальнейшее понижение температуры почвы до 58 °С замедляет рост корней.

Приведенные данные показывают, что в условиях вегетационного периода основным ограничивающим фактором интенсивности роста активных корней в осенние и весенние месяцы явилась температура, а в летние – влажность.

Наши наблюдения показали, что перед цветением каштана рост активных корней происходит особенно интенсивно, а в период цветения у деревьев каштана ослабляется рост активных корней. Ослабление роста корней связано с тем, что необходимые для цветения питательные вещества подаются в основном корневой системой, т.к. листовой аппарат в этот период развит слабо. После цветения каштана рост активных корней всех изучаемых форм происходил интенсивно.

В период опадания завязей рост активных корней усиливался; видимо, сформировавшийся листовой аппарат начал подавать питательные вещества к корням.

Перед созреванием плодов наблюдалось снижение активности величины роста активных корней по сравнению с другими фазами развития дерева. Вероятно, питательные вещества направлялись на формирование урожая. В период созревания плодов величина роста активных корней была наименьшей по сравнению с другими фазами развития дерева. Перед листопадом интенсивность роста активных корней несколько снижалась. Через некоторое время рост корней возобновлялся и продолжался до снижения температуры почвы, приостанавливающей рост активных корней. На основании наших наблюдений можно сделать вывод, что активные корни каштана растут в тесной взаимосвязи с прохождением фаз в течение вегетации.

На срезах, сделанных на расстоянии от штамба на глубине до 150 см, отчетливо видно размещение корней в разных почвенных горизонтах. Основная масса скелетных и обрастающих корней каштана размещена на первом и втором почвенных горизонтах, более богатых питательными веществами.

В иллювиальном горизонте встречаются, в основном, вертикальные корни, т.е. этот горизонт плотный и недостаток воздуха, по-видимому, является основной причиной, препятствующей распространению горизонтальных корней.

Вертикальные корни размещались в пределах кроны (ближе к штамбу) и достигали у 5–10-летних деревьев глубины 0,42–1,27 м на северном склоне и на южном склоне 0,51–0,35 м соответственно.

Распределение количества корней деревьев каштана различных возрастов (5–10-ти лет) показаны на рисунке и в табл. 1.

Результаты исследований корней, представленные в табл. 1, показывают, что по мощности корневой системы в одних и тех же почвенных условиях между отдельными сортами, формами и склонами имеются различия. По показателям общей длины и количеству скелетных и полускелетных корней северный склон значительно превышает южный.

В условиях Шеки-Загатальской зоны республики наибольшая общая длина корней у 5–10-летних деревьев каштана на северном склоне составляет 387–687 м, а на южном соответственно 284–528 м.

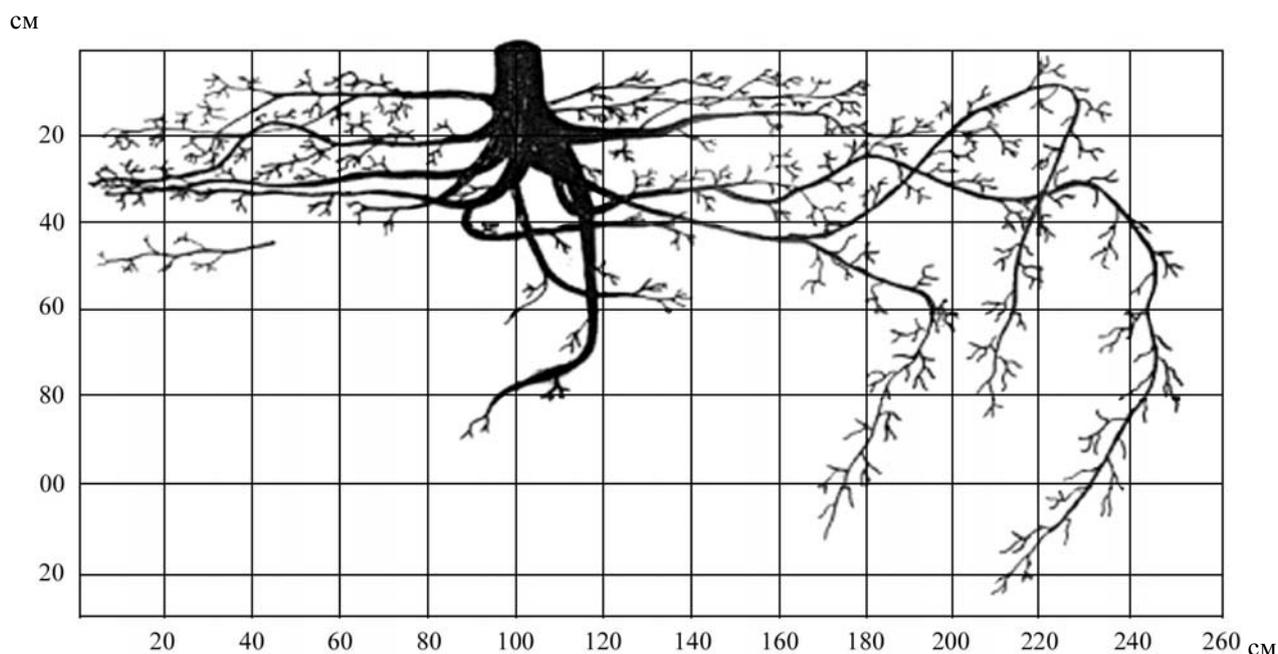


Рисунок. Корневая система 10-летнего каштана съедобного

Длина горизонтальных корней у 5–10-летних деревьев каштана на северном склоне составляла соответственно 309,6–317,3 м и 549,6–563,3 м (80–82 %) от общей длины, вертикальных – 0,084–0,076 м и 0,254–0,102 м (20–18 %). На южном склоне длина горизонтальных корней составляла соответственно у 5–10-летних деревьев каштана 213–221,7 м и 396,0–411,8 м (75–78 %) от общей длины и вертикальных – 0,127–0,112 м и 0,337–0,297 м (25–22 %).

Наши данные, полученные в результате изучения архитектоники и роста корневой системы каштана в условиях Шеки-Загатальского района Азербайджана, дают основание рекомендовать проведение на лесных бурых тяжелосуглинистых почвах следующие мероприятия:

– Обработку почвы весной начинать до начала активной жизнедеятельности корневой системы (до 2–15 апреля), а осенью – после уборки урожая перед началом осеннего роста активных корней.

– При установлении глубины обработки почвы в саду необходимо учитывать, что глубина залегания корней зависит не только от почвы и экспозиции склона, но и от сорта, формы. Для того чтобы не допустить перерезания обрабатываемыми орудиями корней толще 8–10 мм, глубина обработки почвы в саду, начиная с периода плодоношения, не должна превышать на северном склоне под кроной 12–15 см в междурядьях 16–20 см, а на южном склоне соответственно 14–17 и 20–23 см.

– Корни изучаемых деревьев выходят далеко за пределы кроны, заполняя всю площадь междурядья, в связи с этим внесение удобрений в садах должно быть сплошным и на глубину, соответствующую особенностям корневой системы в данном насаждении.

Библиографический список

1. Барышман, Ф.С. О некоторых закономерностях структуры лесных культур орехоплодных / Ф.С. Барышман // Тр. КСХИ. – Вып. 90 (118). – Краснодар, 1974. – С. 85–90.
2. Гарибов, Т.Я. Выращивание каштана съедобного на Карабахской равнине / Т.Я. Гарибов, Д.И. Гусейнов // Вестник с.-х. наук. – Баку, 1979. – № 5. – С. 62–64.
3. Идрисов, Г.А. Сортоизучение и исследование некоторых вопросов технологии выращивания корнесобственных саженцев сливы в северо-западной зоне Азербайджанской Республики: дисс. ... канд. с.-х. наук / Г.А. Идрисов. – Гянджа, 2000. – 141 с.
4. Иссинский, П.А. Каштановые леса Кавказа и основы ведения хозяйства в них / П.А. Иссинский // Сб. тр. Соч.НИЛОС. – Вып. 4. – М.: Лесная промышленность, 1998. – 240 с.
5. Колесников, В.А. Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения / В.А. Колесников. – М.: Сельхозгиз, 1962. – 190 с.
6. Колесников, В.А. Плодоводство / В.А. Колесников. – М.: Колос, 1979. – С. 45–46.
7. Муромцев, И.А. Активная часть корневой системы плодовых растений / И.А. Муромцев. – М.: Колос, 1969. – С. 29.
8. Рябов, И.Н. Южный плодовый сад / И.Н. Рябов. – М.: Сельхозгиз, 1956. – С. 76–95.
9. Сейидов, А.К. Научные основы каштаноразведения в экологических условиях Азербайджанской Республики / А.К. Сейидов. – Баку, 2003. – 270 с.
10. Шитт, П.Г. Биологические основы агротехники плодового сада / П.Г. Шитт. – М.: Сельхозгиз, 1952. – С. 29.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСНОЙ ПЛОЩАДИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ)

А.В. РОДИОНОВ, *ст. преподаватель каф. механизации сельскохозяйственного производства ПетрГУ, канд. техн. наук*

Идея профессора Г.Ф. Морозова о том, что рубки и восстановление леса – синонимы [1], предполагает установление связей между технологическими процессами лесосечных и лесовосстановительных работ.

В современных условиях лесосечные работы являются определяющими в процессе лесозаготовок, поскольку в процессе этих работ происходит переход права собственности на древесину от государства к пред-

принимателю (лесопользователю). Выполнение лесовосстановления также возлагается на предпринимателя [2].

Общим для лесосечных и лесовосстановительных работ является то, что они выполняются на одной площади и одним лесопользователем. Это создает для лесопользователя мощный стимул к поиску взаимосвязей между технологическими процессами лесосечных и лесовосстановительных работ с целью снижения общих затрат на освоение участков лесного фонда.

Работы на лесной площади осложнена тем, что в технологических процессах на лесной площади задействованы различные виды сырья и полуфабрикатов, значительно отличающиеся друг от друга по размерным характеристикам – растущие деревья при проведении рубок леса, сеянцы или саженцы при посадке леса и т. д. Этапы смещены во времени из-за протекания естественных биологических процессов. Систематизация различных работ в едином технологическом процессе

комплексного освоения лесной площади (КОЛП) возможна на основе создания сети постоянно действующих технологических коридоров (ПДТК), которые впервые предложил профессор И.К. Иевинь для проведения рубок ухода [3, 4].

В процессе КОЛП все работы на лесной площади делятся на 6 этапов: подготовка лесной площади к освоению; строительство дорог; лесосечные работы; лесовосстановительные работы; работы в период роста леса; формирование спелых насаждений хозяйственно ценных пород [4].

Разработка и разметка в натуре оптимальной схемы размещения ПДТК проводится на 1-м этапе освоения площади, при этом расстояние между ПДТК по осям устанавливается кратным ширине захвата агрегата, который предполагается в качестве базового для работ в период роста леса (16–25 м – для современных и перспективных манипуляторных машин для лесосечных работ и работ в период роста леса).

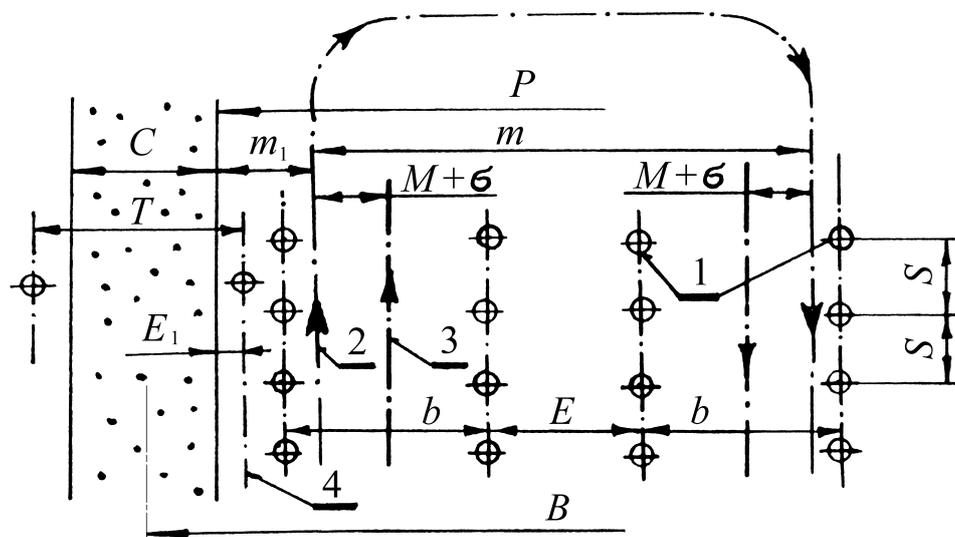


Рис. 1. Параметры процесса КОЛП: 1 – ряды посадочных мест под лесные культуры в одном проходе агрегата; 2 – ось движения двухрядного лесокультурного агрегата; 3 – расчетное смещение траектории движения агрегата от заданной оси; 4 – расчетное расположение крайнего ряда образуемых на пасеке лесных культур; P – ширина пасеки, м; C – ширина ПДТК, м; B – расстояние между ПДТК по осям, м; m – среднее расстояние между лентами культур, м; m_1 – среднее расстояние между осью крайнего прохода агрегата на пасеке и ПДТК, м; T – ширина волока для тракторной трелевки древесины, м; b – расстояние между крайними рядами культур в ленте, м; S – шаг подготовки посадочных мест под лесные культуры, м; M – средняя арифметическая величина смещения траектории лесокультурного агрегата от оси движения, м; σ – среднее квадратическое отклонение, м; E – защитная зона между рядами культур в смежных проходах, м; E_1 – защитная зона между крайним на пасеке рядом культур и ПДТК, м

ПДТК формируют на 3-м этапе процесса КОЛП при проведении лесосечных работ. Лесные культуры закладывают только на пасаках, придерживаясь параллельности между осями проходов лесокультурного агрегата и ПДТК.

Технологический процесс КОЛП позволяет сохранять жизнеспособный подрост при проведении лесозаготовок за счет организации движения лесосечных машин только по ПДТК, исключает затраты на разметку коридоров для движения машин по площади в период лесовыращивания (уход за насаждениями, заготовка второстепенных лесных ресурсов). При искусственном лесовосстановлении процесс КОЛП уменьшает затраты на дополнение культур, т. к. после их закладки движение машин по пасакам исключается [4].

Схема технологического процесса КОЛП, основанного на применении существующих и перспективных посадочных и посевных машин, осуществляющих дискретную или поверхностную обработку почвы в среде препятствий на вырубках (типа лункообразователей Л-2У, покровосдирателей ПДН-1, ПДН-2, лункоделателей-сеялок ПЛС-2 и др.), показана на рис. 1.

Машины, осуществляющие дискретную или поверхностную обработку почвы и работоспособные в среде препятствий на вырубках при количестве пней свыше 600 шт./га, позволяют исключить такие энергоемкие операции, как корчевка и расчистка, плужная обработка почвы, и таким образом обеспечивают сбережение ресурсов и сохранение лесной среды [4].

Величина T (рис. 1), согласно «Правилам по охране труда» [5], должна быть не менее 5 м. Величина b определяется технической характеристикой лесокультурного агрегата и для двухрядных машин близка к ширине колеи трактора. Величины M и σ определяются специальными исследованиями вырубков [6]. Остальные параметры процесса КОЛП подлежат расчету.

Наиболее равномерное размещение культур на пасеке достигается при максимальном числе проходов агрегата между смежными ПДТК [6, 7]

$$N = P/m \rightarrow \max, E \geq S \geq S_m, m \geq b + E, \quad (1)$$

где N – количество проходов лесокультурного агрегата между смежными ПДТК;

S_m – минимальный шаг подготовки посадочных мест по характеристике лесокультурного агрегата, м.

Наиболее равномерное размещение лесных культур на пасеке будет при соблюдении условия

$$E = S. \quad (2)$$

Единственное оптимальное решение в этом случае имеет вид

$$N = -\frac{P}{2} + \sqrt{\frac{P^2}{4} + z}, \quad (3)$$

где величины p, z имеют следующие значения

$$p = \frac{k \cdot B \cdot H \cdot [b + 2 \cdot (M + \sigma)]}{10^4 \cdot n} - 1;$$

$$z = \frac{k \cdot B \cdot H \cdot (k \cdot B - T)}{10^4 \cdot n}, \quad (4)$$

где k – коэффициент кратности расстояния между ПДТК по осям и шириной захвата манипуляторного агрегата для работ в период лесовыращивания (целое число). Для лесосечных машин с шириной захвата, близкой к ширине захвата агрегатов, которые будут применяться в период роста леса, принимают $k = 1$;

H – норма посадки растений, шт./га;

n – число рядов лесных культур, высаживаемых за один проход агрегата по пасеке.

Оптимальное расстояние B между ПДТК по осям определяется так

$$B = -\frac{v}{2} + \sqrt{\frac{v^2}{4} + w}, \quad (5)$$

где величины v, w имеют следующие значения

$$v = T + N \cdot [b + 2 \cdot (M + \sigma)];$$

$$w = \frac{10^4 \cdot n \cdot N \cdot (N - 1)}{k^2 \cdot H}. \quad (6)$$

По сравнению с полностью механизированной посадкой применение лункообразователей (типа ПЛС-2, ЯЛ-1,3, ЯС-2, Л-2У и др.) позволяет готовить посадочные

места под лесные культуры с избытком и отбраковывать негодные по показателям качества в процессе ручной посадки растений в подготовленные машиной лунки. В этом случае решение задачи (1) также будет иметь вид (3, 5), но значения p , z и w будут

$$p = \frac{(1 + \xi/100) \cdot k \cdot B \cdot H \cdot [b + 2 \cdot (M + \sigma)]}{10^4 \cdot n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} - 1;$$

$$z = \frac{k \cdot B \cdot H \cdot (k \cdot B - T) \cdot (1 + \xi/100)}{10^4 \cdot n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3};$$

$$w = \frac{10^4 \cdot n \cdot N \cdot (N - 1) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{k^2 \cdot H \cdot (1 + \xi/100)}, \quad (7)$$

где K_1 – вероятность образования посадочных мест необходимой глубины;

K_2 – вероятность образования посадочных мест по длине рабочего хода;

K_3 – коэффициент удлинения рабочего хода;

ξ – относительная погрешность эмпирического определения показателей K_1 , K_2 и K_3 , %.

Лункообразователи позволяют осуществлять комбинированную посадку леса посадочным материалом двух и более типоразмеров, что снижает затраты труда при посадке. Для двух типоразмеров решение задачи (1) будет иметь вид (3, 5), но значения p , z и w будут

$$p = \frac{(1 + \xi/100) \cdot k \cdot B \cdot H_M \cdot [b + 2 \cdot (M + \sigma)]}{10^4 \cdot n \cdot K \cdot K_2 \cdot K_3} - 1;$$

$$z = \frac{k \cdot B \cdot H_M \cdot (k \cdot B - T) \cdot (1 + \xi/100)}{10^4 \cdot n \cdot K \cdot K_2 \cdot K_3};$$

$$w = \frac{10^4 \cdot n \cdot N \cdot (N - 1) \cdot K \cdot K_2 \cdot K_3}{k \cdot H_M \cdot (1 + \xi/100)}, \quad (8)$$

где K – коэффициент комбинирования, его величина определяется так

$$K = (K_{11} - K_{12} + \frac{H_M}{H_Y} \cdot K_{12}), \quad (9)$$

где K_{11} – вероятность образования посадочных мест, пригодных для посадки материалом с меньшими размерными характеристиками;

K_{12} – то же, для укрупненного;

H_M – норма посадки для материала с меньшими размерами, шт./га;

H_Y – то же, для укрупненного, шт./га.

Необходимые расчеты параметров размещения лесных культур по приведенной методике должны быть выполнены на 1-м этапе процесса КОЛП, при составлении единой документации на лесосечные работы и лесовосстановление.

Пример

Определить оптимальное число проходов по пасеке двухрядного лункообразователя Л-2 в агрегате с трактором МТЗ-82 в условиях сосняка-черничника, если норма посадки семян составляет 4000 шт./га, длина корневой системы семян не превышает 15 см, шаг подготовки лунок равен 0,74 м, расстояние между волоками – 20 м.

Решение

Для расчетов воспользуемся формулами (3, 7).

По данным [6], значения коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 , M , σ и для ельника-черничника составляют 0,655; 0,95; 1,01; 0,155 и 0,517 соответственно. Показатель ξ принимаем равным 5 %.

Расстояние b между рядами лунок для двухрядного лункообразователя Л-2 составляет 1,4 м [4]. Величину T принимаем равной 5 м [5]. При условии, что в период роста леса будут применяться манипуляторные агрегаты, близкие к тем, что использовались на лесосечных работах, принимаем $k = 1$.

Подставляем найденные величины в формулы (3, 7)

$$p = \frac{(1 + 5/100) \cdot 1 \cdot 20 \cdot 4000 \times [1,4 + 2 \cdot (0,155 + 0,517)]}{10^4 \cdot 2 \cdot 0,655 \cdot 0,95 \cdot 1,01} - 1 = 17,34;$$

$$z = \frac{1 \cdot 20 \cdot 4000 \cdot (1 \cdot 20 - 5) \cdot (1 + 5/100)}{10^4 \cdot 2 \cdot 0,655 \cdot 0,95 \cdot 1,01} = 100,24;$$

$$N = -\frac{17,34}{2} + \sqrt{\frac{17,34^2}{4} + 100,24} = 4,58 \approx 4 \text{ прохода.}$$

Следует заметить, что при проведении расчетов по формуле (3) округление величины N необходимо производить в меньшую сторону. Это объясняется тем, что в результате формальных вычислений получается предельное количество проходов лесокультурного агрегата по пасеке.

Одной из практических задач применения процесса КОЛП является экономия времени на расчет параметров сети технологических коридоров. С целью автоматизации этих вычислений в ПетрГУ подготовлена программная разработка «КОЛП: Расчет параметров» (рис. 2).

Разработка позволяет в интерактивном режиме (т. е. при непосредственном участии пользователя ЭВМ) производить расчеты по формулам (1, 2–9) на ЭВМ типа IBM PC в «Microsoft Excel». Рабочие листы программной разработки «КОЛП: Расчет параметров» и их назначение представлены в табл. 1 [8].

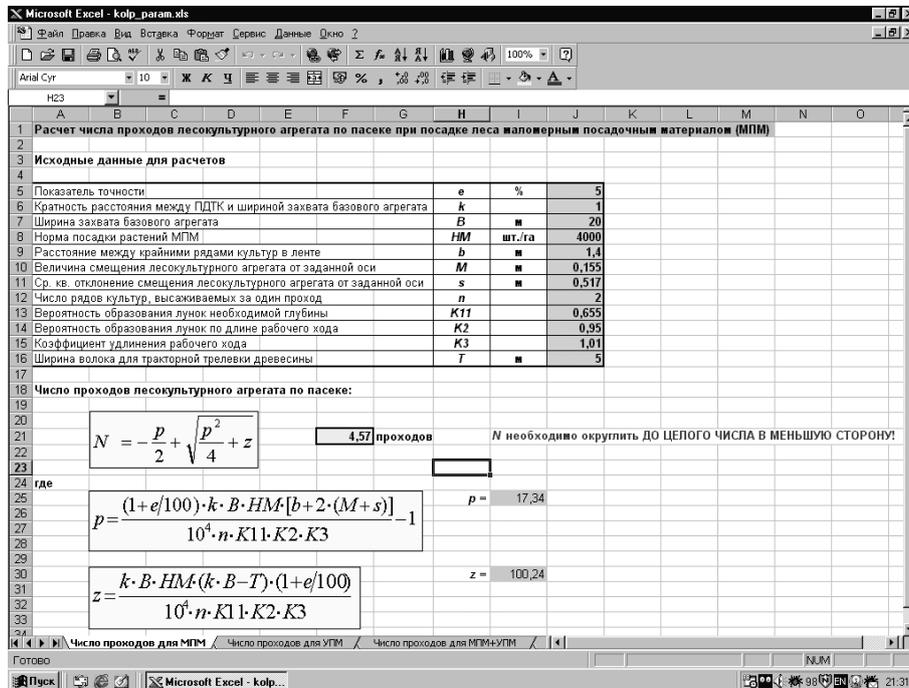


Рис. 2. Окно программы «КОЛП: Расчет параметров»

Т а б л и ц а 1

Рабочие листы программы «КОЛП: Расчет параметров»

Имя листа	Назначение листа
«Число проходов для МПМ»	Расчет количества проходов лесокультурного агрегата по пасеке при посадке леса маломерным посадочным материалом (МПМ) – сеянцами с ОКС или ЗКС
«Число проходов для УПМ»	Расчет количества проходов лесокультурного агрегата по пасеке при посадке леса укрупненным посадочным материалом (УПМ) – саженцами или сеянцами, выращенными без перешколивания, с ОКС
«Число проходов для МПМ + УПМ»	Расчет количества проходов лесокультурного агрегата по пасеке при комбинированной посадке леса посадочным материалом двух сортов (МПМ и УПМ)
«Расстояние между ПДТК для УПМ»	Расчет расстояния между ПДТК при посадке леса УПМ
«Расстояние между ПДТК (МПМ + УПМ)»	Расчет расстояния между ПДТК при комбинированной посадке леса (МПМ и УПМ)
«Расстояние между ПДТК для МПМ»	Расчет расстояния между ПДТК при посадке леса МПМ
«МТЗ-82 + Л-2У в почве»	Данные о надежности работы технологической системы в составе трактора МТЗ-82 и лункообразователя Л-2У при образовании лунок в почве
«МТЗ-82 + Л-2У на почве»	Данные о надежности работы технологической системы в составе трактора МТЗ-82 и лункообразователя Л-2У на поверхности вырубки



Рис. 3. Лункообразователь Л-2У в агрегате с трактором МТЗ-82

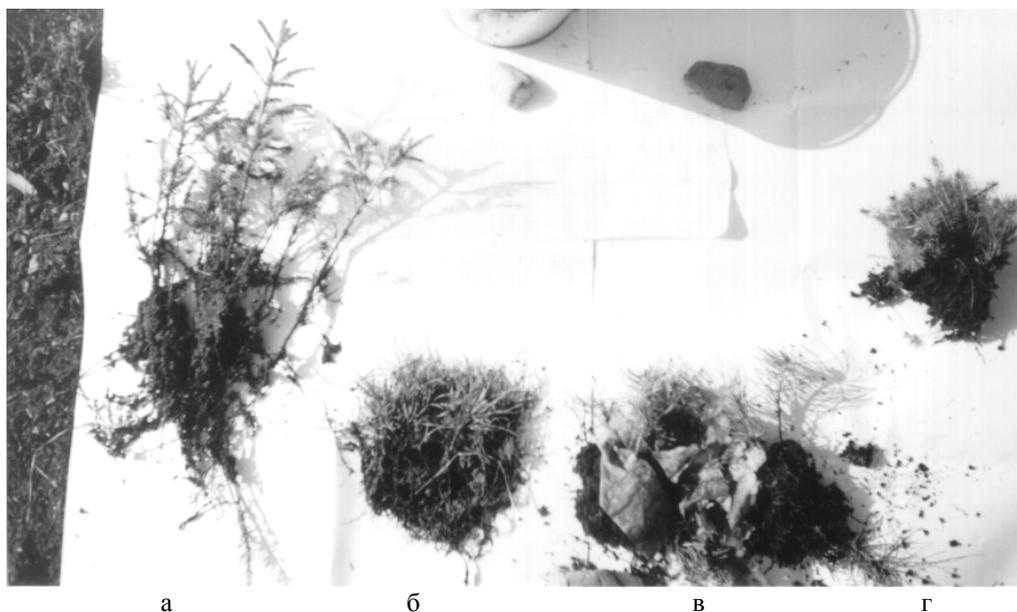


Рис. 4. Виды посадочного материала, применяемого в Республике Карелия: а – саженцы ели с ОКС; б – сеянцы ели с ОКС; в – сеянцы ели с ЗКС; г – сеянцы сосны с ОКС

Указанная программная разработка была использована автором для расчета параметров процесса КОЛП, предполагающего посадку лесных культур с использованием лункообразователей типа Л-2У (рис. 3) как перспективных машин для лесовосстановления на вырубках в условиях Республики Карелия.

В качестве посадочного материала (рис. 4) в Карелии применяются сеянцы с открытой или закрытой корневой системой

(ОКС или ЗКС) ели и сосны обыкновенной. Находит применение укрупненный посадочный материал с ОКС – саженцы и сеянцы, выращенные без пересадки в школьное отделение питомника в течение 3–5 лет с подрезкой корней и прореживанием [9].

Лункообразователи типа Л-2У обеспечивают приготовление посадочных мест как для сеянцев с ОКС или ЗКС, так и для укрупненного посадочного материала с ОКС [4].

Исходные данные для проведения расчетов:

- 1) лесокультурный агрегат – МТЗ-82 + Л-2У;
- 2) норма посадки семян с ОКС или ЗКС – 4000 шт./га [9];
- 3) норма посадки саженцев с ОКС – 2800 шт./га [9];
- 4) ширина захвата агрегата для работ в период роста леса – 10–30 м;
- 5) кратность расстояния между ПДТК и шириной захвата агрегата для работ в период роста леса, $k = 1$;
- 6) ширина трелевочного волока, $T = 5$ м [5].

Результаты расчетов параметров процесса КОЛП по формулам (1, 2–9) для типичных вырубок Республики Карелия с использованием программы «КОЛП: Расчет параметров» представлены на рис. 5 и 6.

Из номограмм на рис. 5 и 6 видно, что количество проходов лесокультурного агрегата по пасеке возрастает при увеличении расстояния между ПДТК по осям. При этом, в связи с необходимостью округления числа проходов до целого числа, можно выделить диапазоны расстояний между ПДТК по осям, для которых вычисленное оптимальное число проходов будет одинаковым.

Следует заметить, что с увеличением степени влажности лесной почвы (от сосня-

ка-брусничника к ельнику-долгомошнику) уменьшается оптимальное число проходов, которое лесокультурный агрегат может совершить по пасеке при прочих равных условиях (рис. 5 и 6).

Это объясняется тем, что во влажных типах леса средняя арифметическая величина смещения трассы лесокультурного агрегата от заданного направления движения из-за препятствий на поверхности вырубки выше [6], что вынуждает сокращать число проходов агрегата по пасеке, чтобы избежать уменьшения защитных зон между рядами культур в смежных проходах из-за маневрирования агрегата.

По данным [6], почвы во влажных типах леса образуют более благоприятную среду для подготовки качественных лунок, что иллюстрирует рис. 5: для размещения одинакового количества растений на вырубке из-под ельника-долгомошника требуется меньше проходов лесокультурного агрегата по пасеке, чем на вырубке из-под сосняка-брусничника при прочих равных условиях.

Из рис. 5 и 6 видно, что для практических целей в типичных природно-производственных условиях Республики Карелия количество проходов лункообразователей типа Л-2У или расстояние между трелевочными волоками (ПДТК) можно принимать по данным табл. 2.

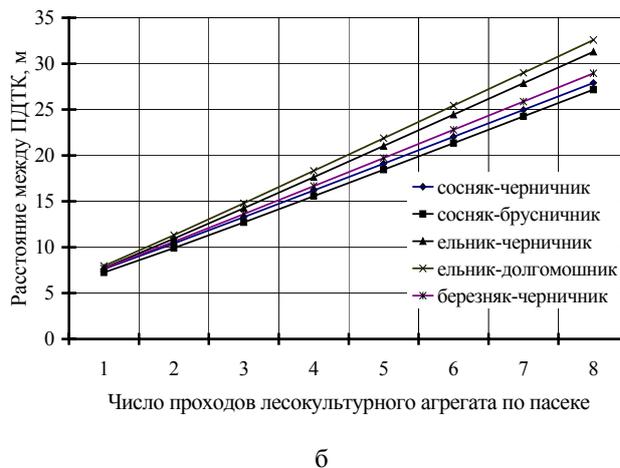
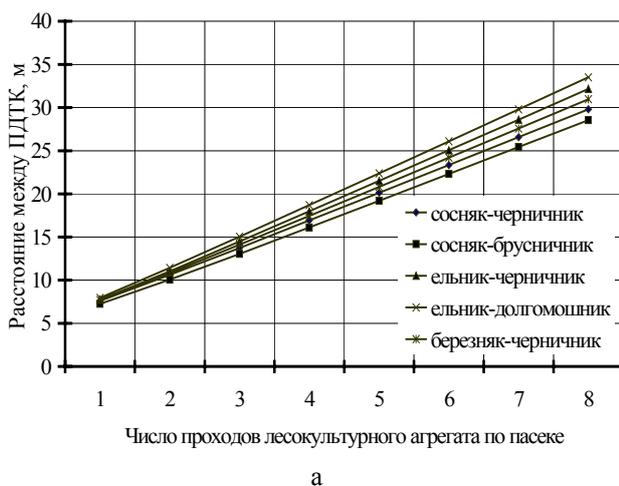


Рис. 5. Зависимость расстояния между ПДТК от числа проходов лункообразователя типа Л-2У по пасеке: а – при посадке сеянцами; б – при посадке саженцами

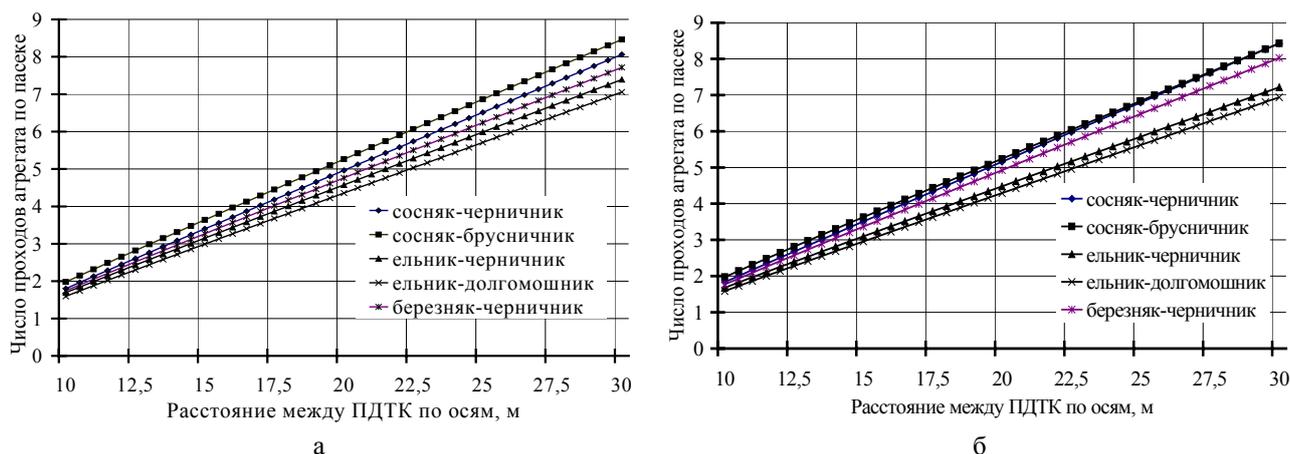


Рис. 6. Зависимость числа проходов лункообразователя типа Л-2У по пасеке от расстояния между ПДТК: а – при посадке сеянцами; б – при посадке саженцами

Т а б л и ц а 2

Количество проходов лункообразователя типа Л-2У

Количество проходов	Расстояние между волоками по осям, м
3	15–18
4	18–23
5	23–25

При необходимости количество проходов лесокультурных агрегатов или расстояние между трелевочными волоками (ПДТК) может быть рассчитано по формулам (1, 2–9) – вручную либо с использованием программы «КОЛП: Расчет параметров».

В заключение следует отметить, что с сентября 2004 г. в ПетрГУ по заказу лесопромышленного холдинга ОАО «Сегежский ЦБК» начата научно-исследовательская работа по внедрению варианта технологии КОЛП, предполагающего проведение лесовосстановления на вырубках с использованием лункообразователей типа Л-2У (рис. 3), на лесозаготовительных предприятиях этого холдинга. Предполагается, что с использованием данной технологии будет осваиваться до 10 тыс. га из участков лесного фонда, взятых ОАО «Сегежский ЦБК» в долгосрочную аренду.

Библиографический список

1. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов. – М.: Гослесбумиздат, 1949. – 456 с.
2. Лесной кодекс Российской Федерации / ФСЛХ РФ. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. – 68 с.
3. Цыпук, А.М. Технология комплексного освоения лесных площадей / А.М. Цыпук, А.Э. Эгипти, И.Р. Шегельман // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1989. – С. 43–46.
4. Цыпук, А.М. Повышение эффективности лесовосстановительных работ ресурсосберегающей технологией: автореф. дис... д-ра техн. наук / А.М. Цыпук. – Петрозаводск: ПетрГУ, 1996. – 32 с.
5. Правила по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности и в лесном хозяйстве / Минлесбумпром СССР. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 320 с.
6. Цыпук, А.М. Моделирование процессов работы лесокультурных агрегатов на нераскорчеванных вырубках: учеб. пособие / А. М Цыпук. – Петрозаводск: ПетрГУ, 1997. – 44 с.
7. Родионов, А.В. Обоснование технологического процесса комплексного освоения лесных площадей на основе ресурсосбережения: автореф. дис... канд. техн. наук / А.В. Родионов. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2000. – 20 с.
8. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки. Комплексное освоение лесной площади: Расчет параметров / А.В. Родионов; Министерство образования РФ; Государственный координационный центр информ. технологий; Отраслевой фонд алгоритмов и программ. – № ОР 2771 от 7.08.2003. – № ГР 50200300760 от 15.08.2003. – Петрозаводск, 2003. – 6 с.
9. Руководство по лесовосстановлению в гослесфонде Республики Карелия / Госкомлес РК. – Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1995. – 85 с.

ЦЕННОСТЬ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

М.Д. МЕРЗЛЕНКО, *проф. каф. лесных культур МГУЛ, д-р с.-х. наук*

Фенология – раздел биологии, изучающий периодические явления в развитии органической природы, обусловленные сменой времен года, например, сроки цветения растений, прилета и отлета птиц и пр. Фенологию следует рассматривать как систему знаний о сезонных явлениях природы. Ход сезонных изменений в жизни растительного и животного царств фенология связывает с конкретными метеорологическими данными и с неадекватными погодными ситуациями. Это дает основание, по имеющимся длительным наблюдениям, прогнозировать временной ход сезонного развития тех или иных растений, а также сдвиги в жизненных циклах птиц, насекомых и пр.

Выдающиеся отечественные лесоводы, научные работники и практики всегда придавали фенологическим наблюдениям в лесу исключительное значение. Такие наблюдения служили для лесоводов календарем природы, и по ним они определяли распорядок лесохозяйственной жизни [10]. В лесном хозяйстве по материалам многолетних фенологических наблюдений устанавливают различные связи закономерного характера между временем наступления определенных фенологических явлений, которые выступают в роли индикаторов, и оптимальными сроками работ по искусственному лесовосстановлению, рубкам ухода, защите лесов от пожаров и различного рода биотических повреждений, заготовке лесосеменного сырья, ягод, грибов и пр. Издавна подмечено, что в лесокультурном деле посева хвойных лучше проводить весной после развертывания листьев у березы, а осенью – после их окончательного спада. Саму же посадку семян и саженцев можно вести на лесокультурных площадях вплоть до Троицы.

Первым фенологом в России справедливо считается Петр I. Значительно раньше, чем Жан Батист Ламарк, которого

называют отцом фенологии, русский царь уже практически использовал эту науку. Так, перед Азовским походом он приказал доставлять ему каждую неделю ветки деревьев из разных мест от Москвы до Азова и таким образом по их состоянию – степени распускания почек и образования листьев – определял ход весны. Это нужно было в военных целях. Для определения сроков посадки деревьев в парках «Дубки» по северному побережью Финского залива Петр I приказал А.Д. Меншикову еженедельно, где бы он ни был, доставлять ему ветви разных древесных пород. По их состоянию он определял сроки посадок, давал указания, что, где и когда надо было высаживать. А.Д. Меншиков для консервирования состояния веток помещал их в бутылки с водой и в таком виде доставлял Петру I [7].

Лесоводы прошлого успешно использовали фенологические наблюдения для реализации результатов в своей практической деятельности. Так, например, К.Ф. Тюрмер [12] вел посадку лиственницы и березы в период, когда листья у березы были еще малы и когда зеленые свежие пучки хвои у лиственницы еще не распустились. Затем шел срок посадки сосны, дуба, ясеня и вплоть до 10 июня высаживалась ель. Последнюю он пересаживал до тех пор, пока после посадки не станет сильно вянуть молодой побег. Молодые сосны он пересаживал даже тогда, когда верхушечный побег достигал в длину нескольких дюймов.

Для фенологических наблюдений необходима их сопряженность с метеоданными, поэтому и М.К. Турский в Лисино под Санкт-Петербургом, и А.В. Тюрин в Брянском опытном лесничестве, ведя кропотливые метеорологические наблюдения, параллельно делали записи по сезонной жизни растительного и животного мира. Даты начала фенологических явлений в многолетнем аспекте, с одной сто-

роны, отражают тенденции изменений климата, а с другой – служат важной характеристикой многолетних изменений в состоянии и функционировании экосистем [3]. В последние годы много говорят о потеплении климата, однако, по данным А.А. Минина [3], происходящие климатические вариации не оказывают пока существенного влияния на функционирование лесных экосистем Русской равнины. Скорее, следует говорить не о потеплении, а о смягчении климата с тенденцией к повышению сумм месячных осадков и к понижению среднемесячных температур в теплые месяцы (с мая по сентябрь), а в период с октября по апрель – к повышению среднемесячных температур. Это, в частности, наглядно показано на примере анализа метеоданных за 182 года по северному Подмосковию [2].

Основоположником научной фенологии в России следует считать профессора Санкт-Петербургского лесного института Дмитрия Никифоровича Кайгородова. Именно он придал фенологическим наблюдениям необходимый размах, «вложил в них душу» и, главное, сумел привлечь к этому делу всеобщее внимание, создать сеть станций и наблюдателей, без которых научная фенология вообще невозможна [6]. В 1899 г. Д.Н. Кайгородов выпустил книгу «Дневник петербургской весенней и осенней природы за 1888–1897 гг.». Им в 1907 г. на основе среднедолголетних данных составлен «Древесный календарь Европейской России», в котором для деревьев и кустарников приводились не только сроки наступления определенных фенофаз, но и время созревания и сбора плодов и семян.

Начало XX в. было ознаменовано резким подъемом фенологических наблюдений. Так, в частности, начинали вести фенологические наблюдения опытные лесничества; результаты публиковались в период с 1909 по 1915 г. в «Трудах по лесному опытному делу». Уникальную сводку в виде фитометеорологической характеристики отдельных годов за период с 1867 по 1918 гг. включительно составили ученые Сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева [4].

Огромную обобщающую работу в бывшем СССР (фактически с 1924 г.) проводило с сетью добровольных фенологических корреспондентов Географическое общество СССР, выпуская на основе средних многолетних данных «Календари природы». Они содержали региональные таблицы, графики-схемы и фенологические карты. Последние отображают пространственно-временную динамику сроков наступления тех или иных природных явлений. Почти во всех заповедниках в форме «Летописей природы» фенологические наблюдения велись и ведутся по сей день. Даже в трудные для страны послевоенные годы лесхозы под руководством контрольных станций лесных семян Министерства лесного хозяйства СССР вели согласно специально разработанным ведомостям фенологические наблюдения. Их цель заключалась в выявлении влияния погоды (заморозков, бурь, засух и т.д.) и повреждений (вредителями) на цветение и плодоношение, а также для установления зависимости между облиствением, цветением, плодоношением и наступлением отдельных фаз развития растений [1].

В 1948 г. ВНИИЛХ для всей сети лесных научно-исследовательских учреждений принимает порядок проведения фенологических наблюдений, согласно которому фенологические наблюдения ведутся: 1) за развитием в лесу важнейших (основных) видов деревьев, кустарников, полукустарников и трав; 2) за жизнью лесных зверей, птиц, насекомых; 3) за ходом лесохозяйственных работ; 4) за важнейшими гидрометеорологическими явлениями. Это позволило (начиная с 1948 г.) собрать значительный и притом методически однородный материал по сезонному развитию лесных пород. Систематически обобщались наблюдения по 44 пунктам в пределах Европейско-Уральского региона территории бывшего СССР. Обобщая данные этих фенонаблюдений, проф. А.В. Тюрин [11] пришел к выводу, что время зацветания ольхи серой, лещины и ольхи черной, с одной стороны, и зацветания березы – с другой, образует естест-

венные грани периода, который с полным основанием может быть назван наилучшим для проведения лесокультурных работ. Им установлена продолжительность начального периода весны, которая зависит от места расположения географического пункта. Так, в северной полосе продолжительность этого периода достигает 30 и более дней; на северо-западе, западе и юго-западе – около 25 дней; в центре Нечерноземной полосы – около 20 дней; в лесостепи – около 15 дней; в восточном Заволжье – около 10 дней. При этом в некоторые годы продолжительность начального периода весны доходит в Заволжье до 5-6 дней; по реке Урал этот период еще короче, а трудностей в производстве хороших лесокультур еще больше. В таких условиях бороться за успех лесных культур можно только при надлежащей организации лесокультурных работ, осуществляя правила: начинать посев и посадку как можно раньше и проводить их как можно быстрее, ограничиваясь начальным периодом весны. Этот лучший для производства лесных культур период фенологически ограничен ясными естественными знаками: началом зацветания ольхи серой, орешника-лещины и ольхи черной, с одной стороны, и зацветанием березы – с другой [11].

Сопоставление данных по погодным условиям и баллам [1] семеношения ели европейской в северном Подмоскowie дало возможность установить, что благоприятные для образования обильного урожая по погодным условиям годы, предшествующие семеношению, можно описать следующим образом: февраль – холодный, март – теплый и сухой, май – сырой и прохладный, июнь (наиболее важный месяц) – сухой и теплый, далее лето и начало осени сырые и теплые. На урожай ели положительно сказывается холодная зима года «цветения», во время которой происходит естественная стратификация генеративных почек ели. Слабое положительное влияние на балл урожая оказывают сухой май года семеношения и влажный прохладный август [2]. Благодаря изучению фенологического спектра и сезонного

роста ели в географических посадках получено объективное объяснение в выборе наиболее продуктивных провениенций [5], так что ценность фенологических наблюдений имеет непреходящую основу для лесохозяйственного производства. Ниже приводятся отдельные штрихи фенологических наблюдений за 1962–1980 гг.

1962 г.

Для всей Средней полосы России было характерно довольно прохладное лето. Даже в Беловежской пуще (Белоруссия) на фоне многолетних метеонаблюдений зарегистрирована [9] минимальная среднемесячная температура июля (+ 15,6°C). Там же (в Беловежской пуще) рано прилетевшие ласточки (*Delichon urbica* L.) встретились с резким похолоданием, когда абсолютный минимум температуры воздуха в мае месяце достигал – 3,2°C [9]. Это привело к значительному снижению численности ласточек, которые с исчезновением насекомых от бескормицы и холода забивались в одно гнездо по 3–5 особей хвостами наружу и погибали.

1965 г.

В Мытищах 1 мая было ветрено и шел снег. Холодная зима, способствовавшая стратификации генеративных почек ели, и обилие летних осадков, способствовавших росту генеративных органов, в целом содействовали обильному урожаю шишек ели (балл 5 по шкале Каппера). Год был настолько урожайным, что на Лосином острове (по устному сообщению Б.Л. Самойлова) под тяжестью шишек обламывались вершины старых елей.

Осень относительно теплая: в Москве на Люсиновской улице дневная температура имела максимумы: 7.09 – + 27°C, а 1.10 – + 17°C. 11 октября было – 2°C и весь день шел снег; 12.10 было 0°C и светило солнце, а на Покров (14.10) был дождь и + 9°C. Ноябрь выдался по-зимнему холодный (среднемесячная температура воздуха составила – 6,5°C).

1972 г.

Этот год был отмечен для Московской и других областей Европейской терри-

тории России значительными положительными аномалиями температуры воздуха и дефицитом осадков. В результате засухи под Москвой горели торфяники, из-за чего в самой Москве настолько сильна была задымленность воздуха, что в иные дни автомобили ездили с включенными фарами. Абсолютный максимум температуры воздуха в августе 1972 г. составил в Волоколамске +34,1°C. Засуха началась в июне месяце, причем до 12.06 под Истрой еще шли грозовые дожди, а в мае месяце, например, в Ольговском лесничестве Дмитровского лесхоза, (10.05) при нулевой температуре и северо-западном ветре шел снег.

1973 г.

Первая гроза в Москве прошла 6.04; она была в 5 ч 30 мин утра и характеризовалась довольно сильным дождем; днем температура воздуха в тени составила +17°C. Первое кукование кукушки – 29.04, а первые комары в Дмитровском районе появились 2.05. Год выдался урожайным на еловые шишки.

1974 г.

В марте шел дружный прилет птиц: грачи прилетели 17.03, обыкновенная овсянка – 24.03; дрозд-рябинник и зяблик – 31.03. В окрестностях МГУЛ 18.10 была гроза.

1975 г.

Весна ранняя. Среднемесячная температура в марте была на 4,3° выше средне-многолетней. Черемуха полно цвела 9.05.

1976 г.

Черемуха зацвела 22.05. Лето (июнь, июль) очень прохладное и дождливое. Дожди часто сопровождалось выпадением града. Так, 13.06 в Ольговском лесничестве выпало столь много града, что он заметно покрыл землю. Из-за холодов и дождей даже в Городищенском лесничестве Орехово-Зуевского лесхоза в песчаных почвах было так много влаги, что картофель в июне почти не рос.

1977 г.

Май был теплый, с обильным травостоем. Температура воздуха в отдельные дни

мая достигала +28°C. В Порецком лесничестве Уваровского леспромхоза 20.05 цвели сирень, звездчатка, маргаритки.

В середине августа было значительное похолодание (до +5–7°C), вызвавшее некоторую смертность у части не успевших отлететь стрижей и ласточек.

1978 г.

Под Волоколамском активный пролет стай гусей наблюдался 25.04, журавлей – 25 и 26.04.

Лосиный Остров. 24.04 цветение лещины и волчьего лыка. 28.05 одновременно цвели: калужница, чистец, ветреница лютиковая, медуница, кислица. Очень хорошее цветение ели. Ее урожай по шкале Каппера отмечен осенью баллом 5.

31.12 абсолютный минимум температуры воздуха в Дмитрове составил –42,5°C.

1979 г.

Из-за сильного перепада температуры воздуха и мороза с 1978 г. на 1979 г., когда в отдельных пунктах значение термометра упало ниже –40°C (так, по данным А.М. Пальцева [5], на его объекте географических посадок ели под Солнечногорском отмечено падение температуры до –46°C), к северу от Москвы на Клинско-Дмитровской гряде почти полностью вымерзли старые яблоневые сады. Сильно повымерзла и лещина.

Апрель был холодным и снежным: даже в конце месяца к северо-востоку от Москвы (Никольская лесная дача) снеговой покров в лесу еще составлял 25 см.

1980 г.

Март холодный и снежный. Температура воздуха ночью около –15°C, днем –3–5°C. Несмотря на солнечные дни, дул холодный ветер и снег таял плохо: 23.03 в лесу и в поле стоял еще сплошной снеговой покров. 27.04 зацвел гусиный лук и вылез петров крест.

Озерецкое лесничество Дмитровского лесхоза. Май холодный. 13.05 утром валил снег. С 19.05 на 20.05 был сильный снегопад. Все и в лесу, и в поле стало, как зимой: снеговой покров достиг 10 см. Из-за холодов стрижи прилетели лишь 27.05.

Возврат холодов в 20-х числах мая следует считать природной закономерностью, и причем не только для Средней полосы России. По данным С.А. Советова [8], особенно сильное майское похолодание (понижение температуры) было в 1876 г., когда в Санкт-Петербурге 19.05 средняя суточная температура была -4°C , а 20.05 даже были отмечены морозы со снегом на крайнем юге (Таганрог, Ставрополь и южная Бессарабия); в Петровском-Разумовском под Москвой в 1876 г. 21.05 выпал снег, образовав слой в 18 см; 19.05, 20.05 и 21.05 весенние холода доходили там до неслыханной до тех пор величины -13°C [4]. Этот возврат холода, обыкновенно начинаясь на севере и северо-западе России, распространялся волной до самого юга, иногда доходя до Туркестана, следствием чего являлись резкие понижения температуры, причем иногда отмечались даже морозы. Проф. Срезневский проследил волны холода, доходившие до Индии [8].

Общей чертой погодных условий в октябре-декабре 1980 г. было непостоянство розы ветров. Одно направление ветра более 3-х дней не выдерживалось. Мало того, частенько за день оно изменялось по несколько раз, причем нередко в совершенно противоположную сторону.

Конец октября – начало ноября были прохладными и даже холодными. В эти дни нередко стояли морозы, порой достигая -10 – -12°C . Морозные дни были и в последующий период. Однако в конце декабря оттаяло до распутицы. В Москве 26.12 была отмечена самая теплая за 100 лет погода: в

этот день было $+3^{\circ}\text{C}$ (на Люсиновской улице почти $+4^{\circ}\text{C}$) и шел дождь.

Библиографический список

1. Войт, К.В. Инструкция по организации и производству глазмерных наблюдений за плодоношением древесных и кустарниковых пород / К.В. Войт. – 2-е изд. – М.-Л.: Гослестехиздат, 1947. – 20 с.
2. Мерзленко, М.Д. Особенности семеношения ели европейской (*Picea abies* L.) в северном Подмоскowie / М.Д. Мерзленко, В.А. Брынцев // Экология, 2000. – №5. – С. 333–337.
3. Минин, А.А. Фенологические закономерности состояния лесов Европейской части России за последние десятилетия / А.А. Минин // Доклады ТСХА. – Вып. 271. – М.: МСХА, 2000. – С. 282–286.
4. Нестеров, Н.С. Лесная опытная дача в Петровском-Разумовском под Москвой / Н.С. Нестеров. – М.-Л.: Гос. изд-во колх. и совх. литературы, 1935. – 560 с.
5. Пальцев, А.М. Сезонный рост географических культур ели обыкновенной в Московской области / А.М. Пальцев // Лесоведение, 1980. – №6. – С. 11–18.
6. Ревич, В. Наш первый лесной корреспондент / В. Ревич // Наука и жизнь, 1979. – №11. – С. 146–152.
7. Редько, Г.И. Петр I об охране природы и использовании природных ресурсов / Г.И. Редько, В.П. Шлапак. – Киев: Лебедь, 1993. – 176с.
8. Советов, С.А. Метеорологические явления / С.А. Советов // Природа: Календарь русской природы на 1916 г. – М., 1916. – С. 49–73.
9. Толкач, В.Н. Характеристика климата в районе Беловежской пуши / В.Н. Толкач, С.Б. Кочановский // Беловежская пуши: Исследования. – Вып. 9. – Минск: Ураджай, 1975. – С. 3–42.
10. Тюрин, А.В. Сезонное развитие дуба и его спутников в Европейской части СССР / А.В. Тюрин. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954. – 52 с.
11. Тюрин, А.В. Продолжительность начального периода весны и его значение для организации лесохозяйственных работ / А.В. Тюрин // Лесной журнал, 1959. – № 2. – С. 16–27.
12. Тюрмер, К.Ф. Пятьдесят лет лесохозяйственной практики / К.Ф. Тюрмер. – М.: 1891. – 182 с.

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ СОКРАЩЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ РЯБЧИКА (*BONASA BONASIA* L., 1758) В БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩЕ

Н.Д. ЧЕРКАС, *мл. науч. сотр. ГПУ «НП «Беловежская пуши»*

Среди тетеревиных птиц рябчик является свидетелем с самыми узкими требованиями к структуре мест обитания в палеарктических бореальных лесах. Он обитает как в равнин-

ных, так и в горных хвойных, смешанных и широколиственных лесах, достигая в Швейцарских Альпах субальпийской зоны на высоте 1 900 м над уровнем моря. Наивысшая

плотность популяции достигается в мозаичных местобитаниях, на границах различных типов леса, где имеются участки поздних сукцессионных стадий после ветровалов, хорошо развит кустарниковый ярус, в древостое преобладают ель, береза и ольха, а почва хорошо увлажнена и завалена валежником.

Наиболее оптимальными для гнездования рябчика являются центральные части ареала в подзоне южной тайги, имеющие умеренно континентальный климат. Нормальному уровню численности соответствуют весной 10–15 пар на км², а осенью 30–50 особей на ту же площадь. При низкой численности весной одна пара нередко приходится на 5–6 км² подходящих местобитаний [9].

По современным оценкам, примерно 95 % европейской популяции сосредоточено на территории бывшего Советского Союза и в Скандинавии.

В прошлом веке, особенно начиная с 1965 г., отмечено значительное сокращение численности рябчика, которое в наибольшей степени затронуло Западную и Центральную Европу. В Скандинавии и Восточной Европе численность рябчика также сократилась, но в меньшем масштабе. Только в Швеции, Польше, Румынии, Литве и Греции популяции оставались стабильными в 70–90-е годы. В России в это время численность колебалась в достаточно больших пределах. Во всех остальных странах численность сокращалась, что привело к смещению западной границы ареала в восточном направлении.

Основная причина сокращения численности рябчика – применение современных технологий в ведении лесного хозяйства, что приводит к исчезновению предпочитаемых этим чрезвычайно оседлым видом биотопов, а также чрезмерный пресс охоты на этот вид.

В Беларуси численность рябчика оценивается в 50 000–65 000 пар. Это обычный гнездящийся оседлый вид, наиболее многочисленный среди тетеревиных. Некоторое сокращение численности было отмечено в 70–80-е гг. Достоверные учетные данные за более ранний период отсутствуют.

Беловежская пуца за последние четыре столетия благодаря нарастающей хозяйственной деятельности человека постепенно превратилась в изолированный лесной остров среди культурного ландшафта. Учитывая оседлость рябчика, можно утверждать, что в Беловежской пуце постепенно сформировалась локальная или экологическая популяция этого вида [2].

В настоящее время Беловежская пуца является единственной территорией в Беларуси, где основы мониторинга численности рябчика заложены более 50 лет назад.

В данной работе проведен анализ численности рябчика с 1948 по 2003 гг. и оценены основные факторы, влияющие на численность этого вида.

Методика исследований

До 1998 г. численность рябчика определялась путем проведения маршрутных учетов по общепринятой методике [7]. Первоначально охватывалась маршрутными учетами вся территория Беловежской пуцы, а затем выделялась сеть постоянных маршрутов, основу которых составляли маршруты, заложенные В.Ф. Гавриным. В 1998 г. была апробирована методика по встречам с переменной шириной учетной полосы. В последующие годы при учетах использовалась эта методика.

Для выявления закономерностей распределения рябчика по территории Беловежской пуцы в течение всего года применялся метод прямых наблюдений с регистрацией встреч на карточках [8].

Результаты исследования

Несмотря на то, что в Беловежской пуце рябчик является наиболее многочисленным видом тетеревиных птиц, работ, в которых можно найти сведения о динамике их численности, сравнительно немного [2–6].

Детальное изучение популяции рябчика в Беловежской пуце было начато В.Ф. Гавриным после окончания Второй мировой войны. Исследователем были проанализированы материалы абсолютных учетов рябчика на 26 маршрутах общей протяжен-

ностью 180 км (6627 встреч) с 1948 по 1952 гг. В этот период весенняя численность рябчика перед началом сезона размножения была оценена в 5088–5284, а летняя – в 8 777–9 435 особей. В летний период на маршрутах было учтено в 1948 г. 15,6 особей на 10 км; 1949 г. – 16,7; 1950 г. – 25,7; 1951 г. – 19,5; 1952 г. – 11,4 [2]. Средний многолетний показатель плотности составил в августе 13,4 особи на 100 га лесопокрытой площади и 21 особь на 100 га населенных рябчиком угодий [3].

Другой исследователь, В.А. Дацкевич, приводит несколько иные данные. Так, в 1948–1951 гг. на 10 км маршрута учитывалось в среднем 12,9 птиц, в 1952–1960 гг. – 6,6, а в 1977–1978 – 3,1 птицы. В дальнейшем на тех же маршрутах регистрировались единичные встречи рябчиков, а выводки вообще не отмечались[4].

В статье В.А. Дацкевича и В.А. Вакулы [6], опубликованной ранее, приводятся следующие сведения: для 1952 г. число особей, встреченных на 10 км маршру-

та, составляло 9 особей, для 1958 г. – 7,3 особей, 1959 г. – 8,2; 1975 г. – 4,3; 1976 г. – 3,8; 1977 г. – 3,4; 1978 г. – 1,3. В отчете В.М. Попенко и В.А. Дацкевича («Обоснование направлений сохранения и повышения численности тетеревиных», 1981) для 1952 г. дана численность 8,3 особей на 10 км маршрута, 1977 г. – 3,4; 1978 г. – 1,3; 1979 г. – 0,8; 1980 г. – 0,7 особей (рисунок).

Несмотря на расхождение цифр, можно предполагать, что в семидесятые годы XX в. численность рябчика была на очень низком уровне. По мнению В.А. Дацкевича и В.А. Вакулы, за период с 1952 по 1978 гг. численность вида уменьшилась на 84 %. Неслучайно в этой же статье, в предложенных мерах по сохранению тетеревиных птиц, авторы высказали даже сомнение, что рябчик после 1980 г. сохранится в Беловежской пушке [6]. В конце 90-х гг. низкую численность рябчика отмечали и в польской части Беловежской пушки. Весенняя плотность составляла 3 самца на 100 га, и 5–6 осенью.

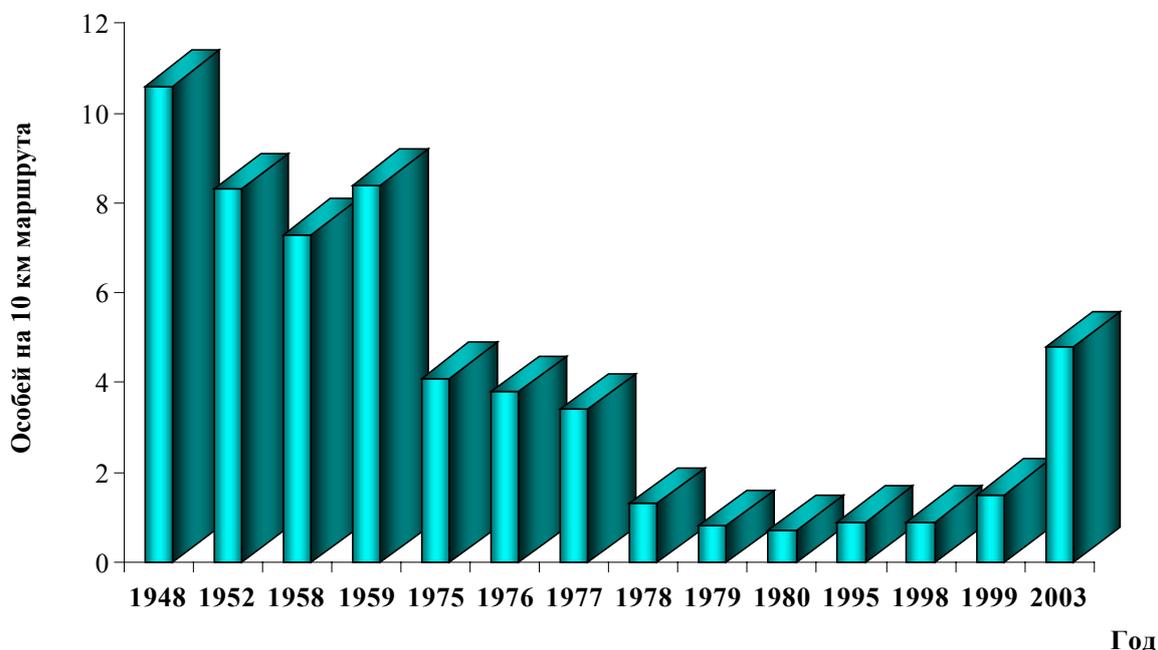


Рисунок. Относительная численность рябчика в Беловежской пушке в период 1948–2003 гг. (особей на 10 км маршрута)

Начиная с 1980 г. по 1995 г., учет численности рябчика в Беловежской пуще не проводился. В 1995 г. осуществлена попытка восстановить мониторинг за состоянием популяции рябчика на данной территории. При проведении учетов численность на маршрутах составила 0,9 особей на 10 км маршрута. Плотность составила 1,5 особи на 100 га. Нужно отметить, что учет проводился не во всех лесничествах. Полностью были охвачены учетами только лесничества в южной части Беловежской пущи. На территории лесного массива рябчик был распространен неравномерно. Более высокая численность отмечалась по окраинам пущи, где учеты не проходили, а только регистрировались встречи.

В 1998 г. была апробирована методика по встречам с переменной шириной учетной полосы. В последующие годы при проведении учетов использовалась только эта методика. Экспериментальным путем была установлена учетная полоса в 15 м. Численность в 1998 г. составила 0,9 особи на 10 км маршрута, что соответствует плотности 6 особей на 100 га. В 1999 году на 10 км маршрутов было учтено 1,5 особи. При ширине учетной полосы 15 м плотность составила 10 особей на 100 га.

Следующие учеты были проведены только в 2003 г. Численность рябчика составила 4,8 особи на 10 км маршрутов (рисунков). Средняя полоса учета была 25 м. Плотность на 100 га составила 19,2 особи.

Весной 2004 г. сотрудниками Института зоологии проведен учет с манком. Учет проходил в биотопах, наиболее подходящих для обитания рябчика, в Ощепском лесничестве. Было выявлено 14 самцов на 11 км маршрута. Для определения плотности популяции рябчика с использованием манка В.П. Теплов условно принимал ширину учетной ленты в 100 метров. Взяв за основу эту величину, мы получаем весеннюю плотность рябчика 12,7 самцов на 100 га. Необходимо отметить, что учет проводился в самых оптимальных для рябчика биотопах. Если учесть, что в Беловежской пуще прирост популяции после размножения не пре-

вышал в отдельные годы 1,5–2,6 раза [3], то можно предположить, что при весенней плотности 12,7 особи на 100 га плотность в августе может составлять от 19 до 33 особей на 100 га. Такая плотность ниже нормально-го уровня численности, которая должна осенью составлять 35–50 птиц на 100 га. Если же оценить учтенных самцов за пару, получаем цифру в 12,7 пар на 100 га. Нормальная численность весной должна составлять 10–15 пар на 100 га [9]. Необходимо отметить, что учеты проводились в наиболее подходящих биотопах для обитания рябчика.

В условиях Беловежской пущи даже в 1948–1952 гг., когда численность рябчика была относительно высокой, прирост популяции был в 2–2,5 раза ниже потенциально-го. Последний ограничивается смертностью самок в период насиживания яиц (10 %), участием части самок в размножении (процент не установлен), гибелью кладок (20 %), высокой смертностью птенцов в выводках в разные годы (от 27 до 44 %) [3].

По мнению В.А. Дацкевича, важную роль в падении численности рябчика сыграла необычайно высокая численность куницы в 1963–1965 гг. и интенсивные рубки ухода в молодняках, проводимые с 1962 г. в последующие годы, частичный переход их в класс старшего возраста [5]. Жердняки по вырубкам с увеличением возраста теряют свою значимость для рябчика в связи с ухудшением кормовых и особенно защитных условий. На наш взгляд, плохое состояние подростка в Беловежской пуще является главным лимитирующим фактором численности рябчика. Как следствие – отсутствие хороших защитных и кормовых условий для рябчика.

В литературе, посвященной этому виду, отмечается, что вид не обитает в разреженных открытых лесах из-за высокого риска хищничества. Одна общая особенность для всех мест обитания – наличие укрытий в нижнем ярусе. Рябчик населяет как лиственные, так и хвойные леса. В хвойных лесах наиболее важным элементом является расположение нижних веток как можно ближе к земле. В лиственных лесах важна высокая плотность насаждений. В ле-

сах, используемых в промышленных целях, хвойные леса с доминированием сосны подходят для рябчика, начиная с 15 лет, и перестают быть подходящими для его обитания в возрасте около 50 лет. Примерно такая же ситуация наблюдается в лиственных лесах. Плотный молодой древостой является хорошей защитой для рябчика. В старовозрастных лиственных лесах наилучшими укрытиями являются ветровалы. Непрореженные леса с доминированием сосны становятся подходящими с 15 лет. Таким образом, густые ветки и древостои на высоте ниже двух метров обладают наиболее важными для рябчика защитными качествами, хотя укрытия выше этой высоты также важны для зимнего питания, поскольку рябчик предпочитает кормиться в кроне на уровне $\frac{2}{3}$ ее высоты у лиственных деревьев, где почки наиболее многочисленны. Укрытие должно находиться на расстоянии не более 15 м от дерева, используемого птицей для кормежки. Наиболее благоприятен для рябчика лес с доминированием сосны, который должен иметь примесь 1–10 % лиственных деревьев, таких, как ольха или береза. В лесах с доминированием лиственных пород очень важна определенная доля сосны.

Рябчик может обитать в течение всего года на относительно небольших участках. Исследования в Швеции показали, что размер среднегодового участка варьируется от 18 до 80 га и в среднем равен приблизительно 40 га. Как уже упоминалось, одним из важных факторов в местах обитания рябчика является наличие хороших защитных условий в нижнем ярусе, особенно до высоты 2 м (густой кустарник, стволы молодых деревьев, ветровальные деревья). Из-за высокой численности копытных состояние подростка в Беловежской пуще не отвечает необходимым защитным условиям для рябчика.

Согласно лесоустроительным материалам [10], только 50,7 % (36 483 га) всех приспевающих спелых и перестойных насаждений обеспечено достаточным количеством подростка (более 3 тыс. на 1 га). Из них только 21 124 га приходится на биотопы, подходящие для обитания рябчика (27 % ле-

сопокрытой площади). Следует отметить, что не вся эта площадь обладает защитными свойствами, необходимыми для обитания рябчика, хотя пригодна по кормовым условиям. Это обстоятельство еще больше сокращает площадь распространения данного вида в Беловежской пуще. При равномерном распределении подростка (3 тыс./га), биотоп не обладает оптимальными защитными свойствами для рябчика.

Второй фактор, из-за которого значительно снижаются или же полностью теряются защитные свойства биотопов, – очистка леса от захламленности и уборка ветровальных деревьев. В период минимальной численности рябчика только с 1966 по 1997 гг. было очищено 28 391 га «захламленного» леса. Безусловно, проведение данного мероприятия также сказалось на численности рябчика.

Из-за проведения хозяйственных мероприятий площадь пригодных для обитания рябчика биотопов была значительно сокращена. Из-за повышенной плотности копытных произошли изменения в составе подростка и напочвенного покрова. Эти обстоятельства стали лимитирующими факторами численности рябчика и привели к резкому ухудшению кормовых и защитных свойств биотопов. Кроме того, спрямление рек и мелиорация их пойм способствовали трансформации оптимальных мест обитания рябчика.

Относительная численность рябчика в 1999 г. оказалась выше, чем в 1998 г., на 66,7 %, что, скорее всего, связано с благоприятными погодными условиями (отсутствием осадков) в сезон размножения в 1999 г. Кроме того, в связи с массовым размножением короеда-типографа в 1995–1997 гг. и последующим отпадом пораженных деревьев значительно улучшились защитные условия, что также повлияло на рост популяции рябчика.

Дальнейший рост популяции в 2003 и 2004 гг., по нашему мнению, произошел за счет очередной вспышки короеда-типографа. Весной 2001 г. была отмечена наиболее крупная за последнее время вспышка массового развития короеда-типографа, которая достигла своего пика в 2002 г. [1]. Уже в 2003 г. площадь короед-

ных очагов составила 1797,2 га. Так как в результате проведения хозяйственных мероприятий не удалось вырубить пораженные деревья, естественно, начался отпад ели. К тому же прошедшие ураганы увеличили площадь буреломов, что создало еще лучшие защитные условия. Благодаря этим обстоятельствам наблюдалось увеличение численности рябчика. Отмечается неравномерное распространение рябчика в Беловежской пушце. В местах появления открытых пространств, вызванных рубками ели в кородных очагах, этот вид отсутствует полностью. Иногда регистрировался рябчик на окраинах вырубок, где встречались буреломы и упавшие деревья. В местах, где ель выпала из древостоев и осталась необрушенной, численность рябчика значительно возросла.

Следующий лимитирующий фактор численности рябчика – снижение кормовой емкости угодий в зимний период. Зимой рябчик предпочитает питаться сережками, почками и концевыми побегами березы и ольхи. Как отмечалось выше, рябчики предпочитают кормиться в верхней части $\frac{2}{3}$ высоты листовых деревьев, где почки наиболее многочисленны; расстояние до укрытия должно находиться не более 15 м от дерева, служащего для питания. В условиях пушцы бородавчатоберезовые леса, в которых могут кормиться рябчики, занимают площадь 3790,6 га и представлены приспевающими (36,6 %) лесами со средней высотой 24 м, спелыми (25,8 %) с высотой 27 м. Перестойные насаждения со средней высотой 28 м занимают только 4,0 %. Эти типы леса с преобладанием березы бородавчатой в силу слабых защитных условий не могут быть использованы рябчиком как кормовые станции. Наиболее подходящие, с точки зрения защитных условий, являются молодняки высотой 7 м и в некоторой степени средневозрастные высотой 21 м. Доля их невелика – 1,5 % и 32,0 % соответственно, что составляет 56,8 и 1212 га. Другие лесные формации также не обладают защитными свойствами. В пушистоберезовых лесах преобладают средневозрастные древостои (36,0 %), приспевающие (23,0 %), спелые (28,9 %), молодняки составляют всего 3,3 %. Площадь черноольшанни-

ков составляет: спелые (34,4 %), перестойные (18,6 %), средневозрастные (27,6 %), приспевающие (18,5 %). Молодняки практически отсутствуют.

Таким образом, отсутствие подроста, слабые защитные и кормовые условия в зимний период являются лимитирующим фактором для роста численности рябчика в Беловежской пушце.

Библиографический список

1. Бамбиза, Н.Н. Исчезнет ли ель в Беловежской пушце? / Н.Н. Бамбиза В.Н. Толкач // Лесное и охотничье хозяйство. – Минск, 2003. – №3.
2. Гаврин, В.Ф. Экология рябчика в Беловежской пушце / В.Ф. Гаврин // Беловежская пушца. – Вып. 3. – Минск: Ураджай, 1969. – С. 146–172.
3. Гаврин, В.Ф. Плотность и динамика популяций тетеревиных в подзоне смешанных лесов / В.Ф. Гаврин // Естественная производительность и продуктивность охотничьих угодий СССР: Материалы всесоюз. науч.-произв. конф. – Ч.1. – Киров, 1969. – С. 233–238.
4. Дацкевич, В.А. Исторический очерк и некоторые итоги орнитологических исследований в Беловежской пушце (1945–1985) / В.А. Дацкевич. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 1998. – 114 с.
5. Дацкевич, В.А. Орнитофауна Беловежской пушцы и ее окрестностей / В.А. Дацкевич // Беловежская пушца. – Минск: Ураджай, 1971. – Вып. 5. – С. 184–222.
6. Дацкевич, В.А. Численность тетеревиных птиц в Беловежской пушце и факторы, влияющие на ее изменение / В.А. Дацкевич, В.А. Вакула // Заповедники Белоруссии. – Минск: Ураджай, 1980. – Вып. 4. – С. 91–100.
7. Кириков, С.В. Учет куриных птиц / С.В. Кириков, А.В. Михеев, Е.П. Спангенберг // Методы учета численности и географическое распространение наземных позвоночных. – М.: Институт географии АН СССР, 1952.
8. Теплов, В.П. К экологии боровой дичи Печоро-Ильчского заповедника / В.П. Теплов // Труды Печоро-Ильчского заповедника. – Ч. 1. – Вып. 4. – М., 1947 – С. 123–167.
9. Потапов, Р.Л. Птицы СССР. Курообразные. Журавлеобразные / Потапов Р.Л. – Л.: Наука, 1987. – С. 136–164.
10. Проект организации и развития лесного хозяйства государственного национального парка «Беловежская пушца» на 1993-2012 гг. // Рукопись. – Т. I. – Минск, 1993. – 451 с.
11. Черкас, Н.Д. Динамика численности рябчика в белорусской части Беловежской пушцы / Н.Д. Черкас // Леса Евразии – Белые ночи: материалы III Международной конференции молодых ученых. – М.: МГУЛ, 2003. – С. 187–189.

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ МАССИВА РАЗНОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИХ ТОЧНОГО ОСРЕДНЕНИЯ

И.М. МЕРКУШЕВ, *проф. каф. технологии изделий из древесины МГУЛ, канд. техн. наук*

При обработке размеров массива однотипных по конфигурации, но разноразмерных деталей часто пользуются простой и удобной формулой для вычислений средневзвешенных размеров. Например, среднюю длину бревен в партии (L_{cp} , м) вычисляют на основании спецификации сырья по формуле

$$L_{cp} = (L_1n_1 + L_2n_2 + \dots + L_n n_n) / (n_1 + n_2 + \dots + n_n), \quad (1)$$

где L_1, L_2, \dots, L_n – длина бревен различных групп, м;

n_1, n_2, \dots, n_n – число бревен в группах, шт.

Средний диаметр бревен (d_{cp} , см) определяют по таблице объемов (ГОСТ 2708–75) либо как среднеквадратическую величину диаметров бревен различных групп (d_1, d_2, \dots, d_n , см) по числу бревен в группах (n_1, n_2, \dots, n_n , шт.) по формуле

$$D_{cp} = \sqrt{(d_1^2 n_1 + d_2^2 n_2 + \dots + d_n^2 n_n) / (n_1 + n_2 + \dots + n_n)}. \quad (2)$$

Замечено, однако, что произведение среднего объема условного бревна V_{cp} , м³, рассчитанного с использованием этих формул,

$$V_{cp} = L_{cp} \pi D_{cp}^2 / 4 \quad (3)$$

на общее их количество в партии $\sum n$, не совпадает с истинной величиной фактического объема партии бревен V , м³

$$V = (L_1 D_1^2 n_1 + L_2 D_2^2 n_2 + \dots + L_n D_n^2 n_n) \pi / 4. \quad (4)$$

Анализ величины погрешностей, получаемых при применении этих формул, представляет определенный интерес, ибо правомерность их механического использования вызывает большие сомнения.

Для наглядности предварительно рассмотрим механизм осреднения размеров массива самых простейших по конфигурации тел в виде параллелепипеда, например, небольшой партии разноразмерных заготовок из древесностружечных плит размерами по длине l_i м, ширине b_i м и толщине h_i м в количестве n_i штук объемом V_i м³.

Подготовим небольшой массив для определения средневзвешенных размеров, подсчитав суммы произведений размеров деталей на их количество $\sum(l_i n_i)$, $\sum(b_i n_i)$, $\sum(h_i n_i)$ и заодно их общее количество $\sum n_i$ и общий объем $\sum V_i$.

По формуле, аналогичной (1), подсчитаем средневзвешенные размеры условной детали

$$L_{cp} = \sum(l_i n_i) / \sum n_i = 20,6 : 16 = 1,288; \quad (1.1)$$

$$B_{cp} = \sum(b_i n_i) / \sum n_i = 16,5 : 16 = 1,031; \quad (1.2)$$

$$H_{cp} = \sum(h_i n_i) / \sum n_i = 0,26 : 16 = 0,016. \quad (1.3)$$

Сравнение реальной среднеарифметической величины фактического объема детали

$$V = \sum V_i / \sum n_i, \quad (5)$$

с величиной объема детали, полученного перемножением средневзвешенных размеров

$$V_{cp} = L_{cp} B_{cp} H_{cp}, \quad (6)$$

дает ошибку

$$P = (V : V_{cp} - 1) 100. \quad (7)$$

В нашем примере

$$V = 0,358 / 16 = 0,0224, \quad (5.1)$$

$$V_{cp} = 1,288 \times 1,031 \times 0,016 = 0,0212, \quad (6.1)$$

$$P = (0,0224 / 0,0212 - 1) \times 100 = 5,7 \%. \quad (7.1)$$

Т а б л и ц а 1

№ детали	l_i	b_i	h_i	n_i	V_i	$l_i n_i$	$b_i n_i$	$h_i n_i$
1)	1,5	1,2	0,016	10	0,288	15,0	12,0	0,16
2)	1,0	0,8	0,016	5	0,064	5,0	4,0	0,08
3)	0,6	0,5	0,020	1	0,006	0,6	0,5	0,02
Суммы: $\sum n_i = 16$; $\sum V_i = 0,358$; $\sum(l_i n_i) = 20,6$; $\sum(b_i n_i) = 16,5$; $\sum(h_i n_i) = 0,26$								

№ детали	l_i	b_i	h_i	n_i	V_i	$l_i n_i$	$b_i n_i$	$h_i n_i$
1)	1,5	1,2	0,016	6	0,173	9	7,2	0,096
2)	0,5	0,6	0,020	10	0,060	5	6,0	0,200
Суммы: $\sum n_i = 16$; $\sum V_i = 0,233$; $\sum (l_i n_i) = 14$; $\sum (b_i n_i) = 13,2$; $\sum (h_i n_i) = 0,296$								

Если изменить некоторые параметры массива (размеры или количество одинаковых деталей), величина ошибки будет иной. Например, для массива деталей по табл. 2.

Средневзвешенные размеры деталей, мм

$$L_{cp} = 14,0 / 16 = 0,875; \quad (1.4)$$

$$B_{cp} = 13,2 / 16 = 0,825; \quad (1.5)$$

$$H_{cp} = 0,296 : 16 = 0,0185. \quad (1.6)$$

Сравнение величины фактического объема детали, м³

$$V = 0,233 / 16 = 0,0146 \quad (5.2)$$

с расчетным объемом условной среднеразмерной детали, м³

$$V_{cp} = 0,875 \times 0,825 \times 0,0185 = 0,0134 \quad (6.2)$$

дает ошибку

$$P = (0,0146 / 0,0134 - 1) \times 100 = 9 \%. \quad (7.2)$$

Из такого результата можно сделать вывод о том, что механически использовать формулы «средневзвешенных» для осреднения линейных размеров разноразмерных деталей нельзя. В то же время имеется возможность и необходимость разработать метод и формулы для абсолютно точного расчета средних размеров (длины, ширины и толщины) массива разноразмерных деталей.

Разработка такого метода и вывод точной формулы осредненных размеров детали базируется на двух принципах:

– на принципе 100 %-го соответствия (равенства) расчетного объема среднеразмерной детали V_{cp} фактическому среднему ее объему $V = \sum V_i / \sum n_i$;

– на принципе соответствия пропорций между расчетными осредненными размерами массива деталей L_{cp} , B_{cp} , H_{cp} и суммарными фактическими их размерами $\sum (l_i n_i)$, $\sum (b_i n_i)$ и $\sum (h_i n_i)$.

Отношение реальной среднеарифметической величины фактического объема детали

$$V = \sum V_i / \sum n_i \quad (5)$$

к расчетной величине объема условной среднеразмерной детали

$$V_{cp} = L_{cp} B_{cp} H_{cp} \quad (6)$$

даст объемный поправочный коэффициент

$$K_o = V / V_{cp}, \quad (8)$$

а корень кубический из этого соотношения, очевидно, представит собой поправочный коэффициент пропорциональности линейных размеров

$$K_l = (V / V_{cp})^{1/3}. \quad (9)$$

Для получения точных линейных размеров среднеразмерной детали L , B , H необходимо скорректировать «средневзвешенные» размеры L_{cp} , B_{cp} , H_{cp} умножением на этот поправочный коэффициент K_l

$$L = L_{cp} K_l = L_{cp} (V / V_{cp})^{1/3};$$

$$B = B_{cp} K_l = B_{cp} (V / V_{cp})^{1/3};$$

$$H = H_{cp} K_l = H_{cp} (V / V_{cp})^{1/3}.$$

В результате некоторого преобразования этих формул

$$L = L_{cp} \times (V / L_{cp} / B_{cp} / H_{cp})^{1/3},$$

$$B = B_{cp} (V / L_{cp} / B_{cp} / H_{cp})^{1/3},$$

$$H = H_{cp} (V / L_{cp} / B_{cp} / H_{cp})^{1/3}$$

– получены формулы для определения точных осредненных размеров условной среднеразмерной детали, отвечающие наметленным принципам и полностью исключаящие погрешности при вычислениях объема деталей по линейным их размерам:

$$\text{длине } L = \{V L_{cp}^2 / (B_{cp} H_{cp})\}^{1/3};$$

$$\text{ширине } B = \{V B_{cp}^2 / (L_{cp} H_{cp})\}^{1/3};$$

$$\text{толщине } H = \{V H_{cp}^2 / (L_{cp} B_{cp})\}^{1/3}.$$

Эти формулы с использованием итоговых значений массива деталей (например, табл. 2) приведены к виду

$$L = \{ \sum (l_i n_i)^2 \sum V_i / \sum n_i / \sum (b_i n_i) / \sum (h_i n_i) \}^{1/3}; \quad (10)$$

$$B = \{ \sum (b_i n_i)^2 \sum V_i / \sum n_i / \sum (l_i n_i) / \sum (h_i n_i) \}^{1/3}; \quad (11)$$

$$H = \{ \sum (h_i n_i)^2 \sum V_i / \sum n_i / \sum (l_i n_i) / \sum (b_i n_i) \}^{1/3}. \quad (12)$$

Проверка формул (10–12) по итоговым (суммарным) данным табл. 2 дает следующие результаты:

– длина детали, м
 $L = \{14^2 \times 0,233 / 16 / 13,2 / 0,296\}^{1/3} = 0,900621;$ (10.1)

– ширина, м
 $B = \{13,2^2 \times 0,233 / 16 / 14 / 0,296\}^{1/3} = 0,849157;$ (11.1)

– толщина, м
 $H = \{0,296^2 \times 0,233 / 16 / 14 / 13,2\}^{1/3} = 0,0190417;$ (12.1)

– фактический объем детали, м³
 $V = 0,233 / 16 = 0,0145625;$ (5.3)

– расчетный объем условной средне-размерной детали, м³
 $V_{cp} = 0,900621 \times 0,849157 \times 0,0190417 = 0,0145626;$ (6.3)

– погрешность
 $P = (0,0145625 / 0,0145626 - 1) \times 100 = -0,0007 \%$. (7.3)

Сравнивая величину погрешности вычисления средних размеров деталей массива таблицы 1 и 2 по формуле (1), нетрудно заметить, что чем больше реальные размеры деталей отличаются от средних, тем больше величина погрешности вычисления средних размеров и объема среднеразмерной детали (7.1, 7.2). В то же время использование нового метода осреднения деталей (10–12) дает практически нулевую погрешность.

Аналогичным образом получены формулы для определения точных средних линейных размеров массивов двухразмерных разноформатных деталей – длины L и ширины B (например, деталей из ДСтП одинаковой толщины) на тех же принципах – соответствия расчетной площади формата всех среднеразмерных деталей $F_{cp} = L_{cp}B_{cp}$ фактической суммарной площади всех деталей массива $F = \sum F_i / \sum n_i$ и на принципе соответствия пропорций между расчетными размерами среднеразмерной детали L и B и суммарными фактическими их размерами $\sum(l_i n_i)$ и $\sum(b_i n_i) / L = L_{cp}(F/F_{cp})^{1/2} =$

$= (FL_{cp}/B_{cp})^{1/2}$ и $B = (F_p B_{cp}/L_c)^{1/2}$ или
 $L = \{\sum F_i \sum(l_i n_i) / \sum n_i / \sum(b_i n_i)\}^{1/2}$ (15)
и $B = \{\sum F_i \sum(b_i n_i) / \sum n_i / \sum(l_i n_i)\}^{1/2}$. (16)

Для расчета точных средних размеров двухразмерных цилиндрических деталей можно использовать в качестве базовых (10–12), заменив в них размеры b_i и h_i из выражения $b_i h_i = \pi d_i^2 / 4$, т.е.

$b_i = h_i = \sqrt{\pi} d_i / 2$. (17)

После подстановки выражения (17) в (10–12)

$L = \{\sum(l_i n_i)^2 \times \sum V_i / \sum n_i / \sum(\sqrt{\pi} d_i n_i / 2) / \sum(\sqrt{\pi} d_i n_i / 2)\}^{1/3}$,

$B = H = \{\sum(\sqrt{\pi} d_i n_i / 2)^2 \sum V_i / \sum n_i / \sum(l_i n_i) / \sum(\sqrt{\pi} d_i n_i / 2)\}^{1/3}$

и некоторого их преобразования получены формулы для точного расчета средней длины цилиндрической среднеразмерной детали L , площади ее поперечного сечения F и по ней – среднего расчетного диаметра $d = 2\sqrt{F} / \sqrt{\pi}$

$L = \{\sum V_i \sum(l_i n_i)^2 / \sum(\sqrt{\pi} d_i n_i / 2)^2 / \sum n_i\}^{1/3}$, (18)

$F = \{\sum V_i \sum(\sqrt{\pi} d_i n_i / 2) / \sum(l_i n_i) / \sum n_i\}^{2/3}$, (19)

$d = 2\{\sum V_i \sum(\sqrt{\pi} d_i n_i / 2) / \sum(l_i n_i) / \sum n_i\}^{1/3} / \sqrt{\pi}$. (20)

Погрешность вычислений средней длины и среднего диаметра деталей легко проверить с помощью небольшого массива разноразмерных деталей цилиндрической формы (табл. 3).

Проверка погрешности расчетов по формулам (1) и (2)

средняя длина детали
 $L_{cp} = 89 / 16 = 5,563;$ (1.8)

средний диаметр
 $d_{cp} = \sqrt{(1,8664 / 16)} = 0,342;$ (2.2)

расчетный объем
 $V_{cp} = (3,14 \times 0,342^2 / 4) \times 5,563 = 0,511036;$ (3.4)

фактический объем
 $V = 6,814 / 16 = 0,425875;$ (6.3)

погрешность
 $P = (0,511036 / 0,425875 - 1) \times 100 = 20 \%$. (7.6)

Т а б л и ц а 3

№ детали	l_i м	d_i м	n_i шт.	$d_i^2 n_i$	V_i м ³	$l_i n_i$ м	$\sqrt{\pi} d_i n_i / 2$
1	6,5	0,22	10	0,4840	2,471	65	1,950
2	4,0	0,48	6	1,3824	4,343	24	2,552
Суммы: $\sum n_i = 16$ $\sum(d_i^2 n_i) = 1,8664$ $\sum V_i = 6,814$ $\sum(l_i n_i) = 89$ $\sum(\sqrt{\pi} d_i n_i / 2) = 4,502$							

Проверка погрешности расчетов по формулам (18) и (20)

средняя длина детали

$$L = (6,814 \times 89^2 / 4,502^2 / 16)^{1/3} = 5,50069; \quad (18.1)$$

средний диаметр

$$D = \{6,814 \times 4,502 / 89 / 16\}^{1/3} \times 2 / \sqrt{\pi} = 0,31397; \quad (2.1)$$

средний расчетный объем детали

$$V_p = (3,14 \times 0,31397^2 / 4) \times 5,50069 = 0,425875; \quad (3.1)$$

среднеарифметическое значение фактического объема детали

$$V = 6,814 / 16 = 0,425875; \quad (6.1)$$

погрешность

$$P = (0,425875 / 0,425875) \times 100 = \underline{0,00\%}. \quad (7.3)$$

Итак, осреднение размеров деталей (10–12), (15–16) и (18–20) дает при расчете по ним объема нулевую погрешность, не зависящую от характера и размерного состава массива деталей.

Метод расчета параметров средне-размерной детали может найти применение, в частности, в лесопильно-деревообрабатывающем, мебельном и других производствах при выполнении ускоренных технологических расчетов объемов древесных материалов, производительности, потребного количества технологического оборудования и т.п.

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОЦЕССАХ ПРЕССОВАНИЯ. РЕОЛОГИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

О.Р. ДОРНЯК, доц ВГЛТА, канд. физ.-мат. наук,

Л.Т. СВИРИДОВ, проф., проректор по научной работе ВГЛТА, д-р техн. наук

Улучшение свойств натуральной древесины производят различными способами. При этом используются наиболее распространенные и быстро растущие породы, чья древесина после модифицирования может приобретать большую механическую прочность при различных видах воздействия, а также ряд новых уникальных свойств, например, влаго- и биостойкость. В процессе модифицирования образцы древесины могут подвергаться прогреву, сушке, прессованию и пропитке в смолах или в минеральных маслах. Совершенствование технологий получения модифицированной древесины требует теоретического изучения всех этапов производственного процесса. Данная работа посвящена исследованию процесса прессования древесины. При изучении режимов прессования центральная проблема – адекватное описание сложного реологического поведения древесины.

Реологические свойства древесины обусловлены особенностями ее анатомического и химического строения [1]. Материал

стенок древесной клетки представляет собой сложный полимерный комплекс. Древесные клетки образуют сложную капиллярно-пористую структуру. При изменении напряженного состояния, температурно-влажностных воздействиях происходят превращения структуры, связанные с особенностями динамики влаги в системе пор и капилляров.

Для реологического описания поведения древесных материалов ранее применялись модели, учитывающие различным образом их упругие, вязкие и пластичные свойства, как правило, при одноосном механическом нагружении небольшой интенсивности и в стационарных температурно-влажностных условиях [1–6]. Использование таких уравнений для моделирования процесса прессования затруднительно, в частности, из-за непрерывного и весьма существенного изменения древесной структуры. Так, например, при уплотнении древесины березы от естественного состояния с плотностью ~560 кг/м³ до плотности 1100 кг/м³ объемное содержание полостей сосудов и волокон либ-

риформа уменьшается в образце от ~63 % до 28 % [6]. Следует также учитывать, что уплотняемая заготовка может иметь изначально неравномерное по объему распределение температуры и влажности. Кроме того, для оценок прочностного состояния по тензориальным критериям прочности [7] важно рассчитать все компоненты тензора напряжений в материале. При моделировании процессов прессования и гидротермической обработке в реальных условиях необходимо прогнозировать эволюцию распределений по объему образца главной в этих процессах характеристики – пористости, а также полей влажности, температуры, деформаций и напряжений. Для этих целей нужна «строгая теория, которая должна установить определенные функциональные зависимости между содержанием влаги и величиной напряжения в любой точке материала» [1].

В связи с этим актуально построение феноменологических моделей древесины, учитывающих особенности капиллярно-пористого строения древесины и ее многофазность. В [8] сформулирована реологическая модель, учитывающая текущие значения влажности и пористости древесины, а также вязкоупругий характер ее деформирования. Эта модель получена путем обобщения реологического уравнения среды с двойной пористостью [9] на случай ненасыщенной системы, материал которой проявляет свойства наследственной термочувствительной анизотропной среды. Особенность этого уравнения в том, что оно явным образом содержит значения объемного содержания воды, газовой фазы и древесинного вещества. В данной работе рассмотрена роль связанной воды в процессе деформирования древесины, приведены расчеты реологических коэффициентов, а также модельной величины расклинивающего давления в тонких прослойках воды.

Реологическое уравнение состояния древесины

Континуальные уравнения для древесины как трехфазной среды могут быть получены объемным усреднением микроуравнений для макроскопических параметров

каждой фазы, следуя методам механики многофазных сред [10].

Предполагая, что можно пренебречь пульсационным переносом импульса и энергии во всех фазах, полный тензор напряжений рассматриваемой гетерогенной системы σ^{kl} можно представить как сумму усредненных напряжений в фазах

$$\sigma^{kl} = \alpha_1 \langle \sigma^{kl} \rangle_1 + \alpha_2 \langle \sigma^{kl} \rangle_2 + \alpha_3 \langle \sigma^{kl} \rangle_3, \\ \langle \sigma^{kl} \rangle_i = \frac{1}{dV} \int_{dV_i} \sigma^{kl} dV, \quad (1)$$

где α_i , V_i – объемная концентрация и объем i -фазы, $i = 1, 2, 3$ (1 – газообразная фаза, 2 – жидкость, 3 – твердая фаза);

' – (штрих) относится к параметрам, являющимся средними в пределах микрообъема $dV \ll a^3$, a – характерный размер пор.

Полагая, что газ является идеальным и что вязкость жидкости достаточно учитывать только при межфазных взаимодействиях, имеем

$$\langle \sigma^{kl} \rangle_1 = -\langle p' \rangle_1 \delta^{kl} = -p_1 \delta^{kl} \text{ и} \\ \langle \sigma^{kl} \rangle_2 = -\langle p' \rangle_2 \delta^{kl} = -p_2 \delta^{kl},$$

где p – давление;

δ^{kl} – единичный тензор.

Вопрос о расчете давления жидкости p_2 в процессах прессования древесины рассматривается в данной работе.

Если деформации микрообъемов малы, тензор микродеформаций в твердой фазе можно записать в виде

$$\langle \varepsilon^{ij} \rangle_3 = \varepsilon_3^{ij} - \varepsilon_f^{ij}. \quad (2)$$

Здесь ε_3^{ij} – тензор макродеформаций твердой фазы, определяемый градиентами средних смещений материала, ε_f^{ij} – фиктивный или эффективный тензор деформаций, характеризующий смещения элементов структурного каркаса [10], т.е., наблюдаемые макродеформации твердой фазы ε_3^{ij} складываются из деформаций материала древесинного вещества $\langle \varepsilon^{ij} \rangle_3$ и из деформаций древесного скелета ε_f^{ij} , приводящих к перестройке системы пор.

Следуя [10], примем макроскопические гипотезы о реологическом поведении отдельно для материала твердой фазы и для структурного каркаса системы.

Учитывая, что древесные клетки имеют полимерную основу, естественно принять для описания напряженно-деформированного состояния материала древесины одну из моделей наследственной анизотропной среды [11]

$$\langle \varepsilon_{ij}^{\prime} \rangle_3 = \Pi_s^{ijkl}(0) \langle \sigma_{ij}^{\prime} \rangle_3 + \int_0^t K_s^{ijkl}(t-\tau) \langle \sigma_{ij}^{\prime} \rangle_3 d\tau + \Lambda_s^{ij} \langle \Theta \rangle_3 \quad (3)$$

Здесь верхние индексы i, j, k, l используются для обозначения компонент-тензоров, нижний индекс s относится к древесному веществу, K^{ijkl} – тензор функций скорости ползучести; Λ^{ij} – тензор коэффициентов температурного расширения, K^{-1} ; $\Pi^{ijkl}(0)$ – тензор мгновенных податливостей, Pa^{-1} ; t – время, c ; Θ – разность между текущей температурой и некоторым ее начальным значением, K .

Фиктивными деформациям должны соответствовать фиктивные напряжения. Тензор фиктивных напряжений в древесном скелете построен в [8] в представлении древесины как среды с двойной пористостью – пористой матрицы (древесинное вещество, пронизанное микрокапиллярами) и распределенной в ней системой макропор (полостей сосудов или трахеид)

$$\sigma_f^{kl} = \frac{\sigma^{kl}}{1-m_1} + \left[\frac{m_1 \alpha_{i1}}{1-m_1} + \alpha_{\varepsilon 1} \right] p_1 \delta^{kl} + \left[\frac{m_1 \alpha_{i2}}{1-m_1} + \alpha_{\varepsilon 2} \right] p_2 \delta^{kl}, \quad (4)$$

$$\alpha_{i1} + \alpha_{i2} = 1, \quad \alpha_{\varepsilon 1} + \alpha_{\varepsilon 2} = 1,$$

где нижние индексы относятся:

- f – к эффективным значениям (древесному скелету);
- p – к системе макропор; k – к системе капилляров;
- m_n – пористость, определяемая отношением объема макропор к объему материала;

$\alpha_{ki}, \alpha_{i_i}$ ($i = 1, 2$) – объемное содержание i -ой фазы в объеме капилляров и пор соответственно.

Если $m_n \ll 1$, т.е. концентрация макропор мала, $\sigma_f^{kl} \approx \sigma^{kl} + \alpha_{\varepsilon 1} p_1 \delta^{kl} + \alpha_{\varepsilon 2} p_2 \delta^{kl}$. В случае, когда при этом капилляры практически полностью заполнены влагой ($\alpha_{k1} \sim 0, \alpha_{k2} \sim 1$) $\sigma_f^{kl} \approx \sigma^{kl} + p_2 \delta^{kl}$, т.е. тензор фиктивных напряжений определяется так же, как для насыщенных трещиновато-пористых сред [10]. Частному случаю состояния древесины с малым содержанием жидкости в макропорах и парогазовой смеси в капиллярах ($\alpha_{n2} \sim 0, \alpha_{k1} \sim 0$) соответствуют фиктивные напряжения вида

$$\sigma_f^{kl} = \frac{\sigma^{kl}}{1-m_1} + \frac{m_1}{1-m_1} p_1 \delta^{kl} + p_2 \delta^{kl} \quad (5)$$

Примем, следуя [10], что зависимость тензора фиктивных напряжений в твердой фазе от эффективного тензора деформаций аналогична реологическому уравнению для материала древесного скелета, т.е.

$$\varepsilon_f^{ij} = \Pi_f^{ijkl}(0) \left[\sigma_f^{kl} + \int_0^t K_f^{ijkl}(t-\tau) \sigma_f^{ij} d\tau \right] \quad (6)$$

Уравнения (1–3, 7, 9) определяют напряженно-деформированное состояние в древесине. Зависимость макродеформаций от тензора полных напряжений в древесине может быть получена в виде

$$\varepsilon^{ij} = \Pi_s^{ijkl}(0) \left[\frac{\sigma^{kl} + \alpha_2 p_2 \delta^{kl} + \alpha_1 p_1 \delta^{kl}}{\alpha_3} + \int_0^t K_s^{ijkl}(t-\tau) \frac{\sigma^{ij} + \alpha_2 p_2 \delta^{ij} + \alpha_1 p_1 \delta^{ij}}{\alpha_3} d\tau \right] + \Lambda_s^{ij} \Theta_3 + \Pi_f^{ijkl}(0) \left[\frac{\sigma^{kl}}{1-m_1} + \beta_2 p_2 \delta^{kl} + \beta_1 p_1 \delta^{kl} + \int_0^t K_f^{ijkl}(t-\tau) \left(\frac{\sigma^{ij}}{1-m_1} + \beta_2 p_2 \delta^{ij} + \beta_1 p_1 \delta^{ij} \right) d\tau \right];$$

$$\beta_1 = \frac{m_1 \alpha_{i1}}{1-m_1} + \alpha_{\varepsilon 1}; \quad \beta_2 = \frac{m_1 \alpha_{i2}}{1-m_1} + \alpha_{\varepsilon 2}.$$

Ядра ползучести представлялись в виде экспонент

$$K_n^{ijkl}(t) = d_n^{ijkl} e^{-t/\lambda_n^{ijkl}}; \quad n = s, f,$$

где d – амплитуда функции влияния;

λ – время релаксации.

В предельном случае при отсутствии пор и капилляров ($\alpha_{к2} = 0$, $\alpha_{п2} = 0$, $m_{п} = 0$, $\alpha_3 = 1$, $\alpha_2 = 0$, $\alpha_1 = 0$) из (6) получаем уравнение линейной вязкоупругой анизотропной гомогенной среды типа Больцмана-Вольterra.

Реологическое уравнение (6) содержит явным образом характеристики влажности и пористости материала. Возможно обобщение уравнения (6) на случай, когда древесинное вещество и древесный скелет не обладают свойством линейности деформаций.

Поверхностные эффекты в древесине и их отражение в реологической модели

Древесина является коллоидным капиллярно-пористым телом, поэтому ее физико-химические и механические свойства зависят от содержания и свойств удерживаемой ею влаги [12].

Известно, что свойства воды в дисперсных системах отличаются от свойств объемной воды. Изменение содержания свободной воды оказывает незначительное влияние на свойства древесины, в то время как изменение концентрации связанной воды существенно влияет на ее физико-механические свойства [1].

При исследовании процессов термомеханического модифицирования древесины оказывается недостаточным разделение жидкой фазы на свободную и связанную воду, поскольку связанная вода может присутствовать как в тонких слоях, так и в смачивающих пленках. Расклинивающее давление в смачивающих пленках (имеющих одну границу с парогазовой фазой) существенно меньше напряжений прессования, и его вклад в давление жидкой фазы можно не учитывать при интенсивных воздействиях на древесный образец. Расклинивающее давление в тонких прослойках (полностью заполненных суб- и микрокапиллярах) может быть сопоставимо с уровнем напряжений прессования, поэтому необходимо учесть

его влияние на деформативность древесины. При исследованиях процессов сушки информация о распределении воды в смачивающих пленках, наоборот, приобретает большее значение, т.к. благодаря градиенту толщины этих пленок возможно перемещение влаги из более влажных в более сухие области.

В связи с вышесказанным, при общем подходе к изучению процессов переноса в древесине необходимо следить не только за объемным содержанием воды α_2 , но и за объемным содержанием свободной воды $\alpha_{2св.}$, воды в тонких прослойках $\alpha_{2т.сл.}$ и в смачивающих пленках $\alpha_{2см.}$. Кинематические и динамические характеристики разных типов воды различны, что обусловлено разными механизмами их переноса. Ниже показано, что введение указанных объемных характеристик позволяет более четко понять, что представляет собой усредненное давление жидкой фазы p_2 в уравнении (6) при различных влажностных условиях.

Для микропараметра жидкой фазы p'_2 , усредняемого по жидкому макрообъему dV_2 , имеем

$$\begin{aligned} \langle p'_2 \rangle_2 &= \frac{1}{dV_2} \int p'_2 d'V = \\ &= \frac{1}{dV_2} \int_{dV_{2н\grave{a}.} + dV_{2н\grave{i}.} + dV_{2\grave{o}.н\grave{e}.}} p'_2 d'V \\ \langle p'_2 \rangle_2 &= \alpha_{2н\grave{a}.} p_{2н\grave{a}.} + \alpha_{2н\grave{i}.} p_{2н\grave{i}.} + \alpha_{2\grave{o}.н\grave{e}.} p_{2\grave{o}.н\grave{e}.} \cdot \quad (7) \end{aligned}$$

Нижние индексы «св.», «см.», «т.сл.» означают усреднение по объемам свободной воды, воды в смачивающих пленках и тонких слоях соответственно. Объемные концентрации воды разных типов определяются отношениями

$$\alpha_{св.} = dV_{2св.}/dV_2, \quad \alpha_{т.сл.} = dV_{2т.сл.}/dV_2, \\ \alpha_{см.} = dV_{2см.}/dV_2.$$

Введем параметры объемного содержания в образце свободной воды

$$m_{св.} = dV_{2св.}/dV,$$

воды в тонких капиллярах

$$m_{т.сл.} = dV_{2т.сл.}/dV$$

и воды в смачивающих пленках

$$m_{см.} = dV_{2см.}/dV.$$

Тогда

$$\langle p'_2 \rangle_2 = \frac{1}{\alpha_2} (m_{2\bar{n}\bar{a}} p_{2\bar{n}\bar{a}} + m_{2\bar{n}\bar{i}} p_{2\bar{n}\bar{i}} + m_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}} p_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}}). \quad (8)$$

$$\alpha_{2\bar{n}\bar{a}} + \alpha_{2\bar{n}\bar{i}} + \alpha_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}} = 1; \quad (9)$$

$$m_{2\bar{n}\bar{a}} + m_{2\bar{n}\bar{i}} + m_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}} = \alpha_2.$$

$$m_{2\bar{n}\bar{a}} = \alpha_{2\bar{n}\bar{a}} \alpha_2; \quad m_{2\bar{n}\bar{i}} = \alpha_{2\bar{n}\bar{i}} \alpha_2; \quad (10)$$

$$m_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}} = \alpha_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}} \alpha_2.$$

В процессах прессования $p_1 \ll p_2$, $p_{2\bar{n}\bar{i}} \ll p_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}}$ и давление объемной воды $p_{2\bar{n}\bar{a}} \ll p_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}}$, тогда, как видно из (8),

$$p_2 = \frac{m_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}}}{\alpha_2} p_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}}.$$

Будем полагать, что свободная вода преимущественно находится в порах, а связанная – в капиллярах. Если влажность материала ниже предела гигроскопичности и свободная вода отсутствует, то $m_{2\bar{n}\bar{a}} = 0$, $\alpha_{i2} = 0$ и $\beta_2 = \alpha_{k2}$. Если предполагать, что влага находится преимущественно в тонких слоях, то $p_2 \approx p_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}}$ и тензор фиктивных напряжений можно получить в виде

$$\sigma_f^{kl} = \frac{\sigma^{kl}}{1 - m_i} + \alpha_{e2} p_{2\bar{o}\bar{c}\bar{e}} \delta^{kl}. \quad (11)$$

Таким образом, величина, входящая в реологическое уравнение состояния $\beta_2 p_2$, определяется расклинивающим давлением тонких прослоек воды и объемным содержанием воды в капиллярной системе. При влажности материала, большей предела гигроскопичности, капилляры полностью заполнены водой, $\alpha_{e2} = 1$, а величина $\beta_2 = m_{св.}/(1 - m_n) + 1$.

Давление воды в тонкой прослойке $p_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}}$ отличается от давления p_0 в объемной жидкой фазе, равновесной с прослойкой, на величину расклинивающего давления P [13]

$$p_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}} = p_0 + P. \quad (12)$$

В прослойках воды между гидрофильными поверхностями структурные силы вызывают отталкивание поверхностей, здесь $P > 0$. Отметим, что величина расклинивающего давления зависит от множества факторов, в том числе от природы взаимодейст-

вующих фаз, толщины пленки, температуры [13].

В теоретических и экспериментальных работах была обнаружена обратная пропорциональность расклинивающего давления кубу толщины пленки между сближающимися телами [13]. Толщина пленок в пористой структуре растет с увеличением влагосодержания, поэтому расклинивающее давление уменьшается с ростом влажности.

Таким образом, предлагаемая реологическая модель учитывает, что при прессовании древесины наиболее значима роль расклинивающего давления в тонких порах, расклинивающее давление смачивающих пленок играет решающую роль в процессах переноса воды и пара в древесине.

Соотношение (12) справедливо для давления в жидких пленках древесного образца только в равновесных условиях, когда в результате внешних воздействий твердые границы прослойки перемещаются с бесконечно малой скоростью или вообще не подвержены смещениям, т.е. структурный каркас пористой системы не деформируется. Возможный источник неравновесности – диссипация энергии вследствие вязкого сопротивления, сопровождающего втекание жидкости в расширяющийся зазор при растяжении капиллярно-пористой структуры или ее вытекание из сжимающегося канала при сдавливании [14]. Вязкое сопротивление обуславливает неравновесную составляющую расклинивающего давления жидкой фазы при деформировании насыщенных и ненасыщенных капиллярно-пористых тел.

Учитывая, что добавочное давление в жидкой фазе Δp_2 , связанное с деформированием пористой системы, зависит от толщины жидких прослоек, а значит, от влагосодержания, и также от силы сопротивления сдавливанию или отрыву твердых поверхностей [14], запишем выражение для расклинивающего давления в тонких слоях жидкой фазы в форме

$$p_{2\bar{o}\bar{n}\bar{e}} = p_0 + P + \Delta p_2(w, I_\sigma, T), \quad (13)$$

где Δp_2 – неравновесная составляющая расклинивающего давления;

w – влажность;
 T – температура;
 I_{σ} – первый инвариант тензора напряжений в гетерогенной системе;
 P – равновесное расклинивающее давление в прослойках воды, определяемое либо с помощью изотерм, либо с использованием теоретических подходов.

Расчет параметров модели

Параметры реологической модели, а также составляющие расклинивающего давления, входящие в выражение (13), могут быть получены для древесины любой породы путем обработки кривых ползучести при сжатии в главных направлениях анизотропии при различных температурах, а также экспериментальных данных по набуханию и усушке для расчета деформаций набухания [1]. Ввиду того, что экспериментальные кривые ползучести представлены в литературе ограниченно, в данной работе использованы диаграммы напряжения-деформации для сосны и березы [15], при этом деформации считаются предельными для опытов на последствие.

Принято, что концентрация воды в системе капилляров $\alpha_{к2} = \alpha_{п.г}/m_k$, где $\alpha_{п.г}$ – объемное содержанию влаги в условиях гигроскопического насыщения клеточных стенок древесины при данной температуре, m_k объемное содержание капилляров в материале.

Реологические константы применительно к процессам прессования древесины определены с использованием метода наименьших квадратов.

Для структурного каркаса сосны

$$\begin{aligned} \Pi_f^{rr}(0) &= 0.485 \cdot 10^{-8} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{tt}(0) &= 0.734 \cdot 10^{-8} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{rt}(0) &= -0.182 \cdot 10^{-9} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{aa}(0) &= 0.95 \cdot 10^{-10} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{ta}(0) &= -0.11 \cdot 10^{-10} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{ra}(0) &= -0.13 \cdot 10^{-10} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ S_f^{rt}(0) &= 1.0 \cdot 10^{-8} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; d_f^{rr} = 0.106 \tilde{n}^{-1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_f^{tt} &= 0.133 \tilde{n}^{-1}; d_f^{aa} = 0.0053 \tilde{n}^{-1}; \\ d_f^{rt} &= d_f^{ra} = d_f^{rr}; \eta_f^{rt} = d_f^{rr}; \lambda_f^{rr} = 41.9 \tilde{n}; \\ \lambda_f^{tt} &= 37.5 \tilde{n}; \lambda_f^{aa} = 150.0 \tilde{n}; \\ \lambda_f^{ta} &= \lambda_f^{ra} = \lambda_f^{rt} = 52.5c; \mathcal{G}_f^{rt} = \lambda_f^{rr}, \end{aligned}$$

где $S(0)$, η , \mathcal{G} – мгновенная податливость, амплитуда функции влияния и время релаксации при деформациях сдвига. Для структурного каркаса березы

$$\begin{aligned} \Pi_f^{rr}(0) &= 0.528 \cdot 10^{-8} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{tt}(0) &= 0.8 \cdot 10^{-8} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{rt}(0) &= -0.182 \cdot 10^{-9} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{aa}(0) &= 0.93 \cdot 10^{-10} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{ta}(0) &= -0.11 \cdot 10^{-10} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_f^{ra}(0) &= -0.13 \cdot 10^{-10} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ S_f^{rt}(0) &= 1.0 \cdot 10^{-8} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; d_f^{rr} = 0.129 \tilde{n}^{-1}; \\ d_f^{tt} &= 0.133 \tilde{n}^{-1}; d_f^{aa} = 0.0053 \tilde{n}^{-1}; \\ d_f^{rt} &= d_f^{ra} = d_f^{rr}; \eta_f^{rt} = d_f^{rr}; \lambda_f^{rr} = 50.7 \tilde{n}; \\ \lambda_f^{tt} &= 37.5 \tilde{n}; \lambda_f^{aa} = 150.0 \tilde{n}; \\ \lambda_f^{ta} &= \lambda_f^{ra} = \lambda_f^{rt} = 52.5c; \mathcal{G}_f^{rt} = \lambda_f^{rr}. \end{aligned}$$

Реологические коэффициенты материала древесного скелета обеих пород определены одинаковыми

$$\begin{aligned} \Pi_s^{tt}(0) &= 0.12 \cdot 10^{-10} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_s^{rt}(0) &= -0.46 \cdot 10^{-11} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_s^{aa}(0) &= 0.57 \cdot 10^{-12} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_s^{ta}(0) &= -0.228 \cdot 10^{-12} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ \Pi_s^{ra}(0) &= -0.278 \cdot 10^{-12} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ S_s^{rt}(0) &= 0.29 \cdot 10^{-10} \ddot{\text{I}} \text{ а}^{-1}; \\ d_s^{kl} &= 0.02 \tilde{n}^{-1}; k, l = r, t, a; \lambda_s^{kl} = 1.241 \cdot 10^5 \tilde{n}; \\ k, l &= r, t, a; \mathcal{G}_s^{rt} = \lambda_s^{rr}; \eta_s^{rt} = d_s^{rr}. \end{aligned}$$

Равновесная составляющая расклинивающего давления аппроксимирована следующей зависимостью (при комнатной температуре)

$$\begin{aligned} &\text{для сосны} \\ P &= 0,0369 - 0,1741w + 0,787w^2 - 1,161w^3; \\ &\text{для березы} \\ P &= 0,0332 - 0,141w + 0,660w^2 - 0,969w^3. \end{aligned}$$

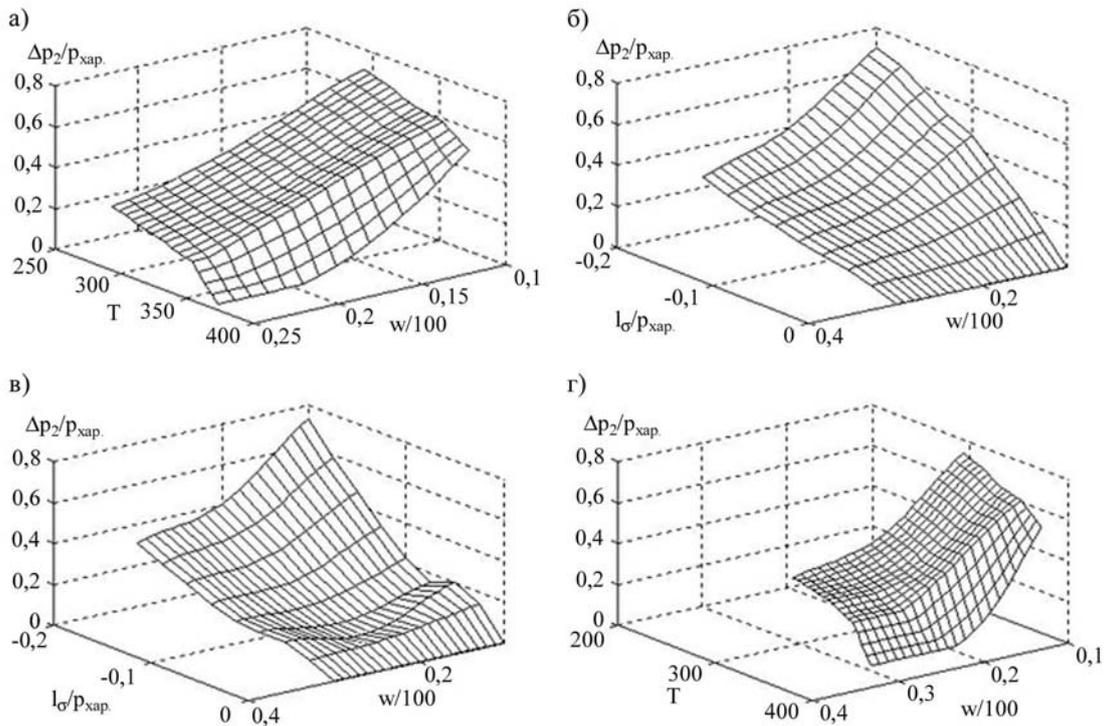


Рис. 1. Расчетная зависимость неравновесной составляющей расклинивающего давления Δp_2 при интенсивном сжатии древесины березы (а,б) и сосны (в,г) от влажности и первого инварианта тензора напряжений при $T = 293$ К – (а,в); от влажности w и температуры T при $I_\sigma = -20$ МПа – (б,г). Величина $p_{хар} = 10^2$ МПа

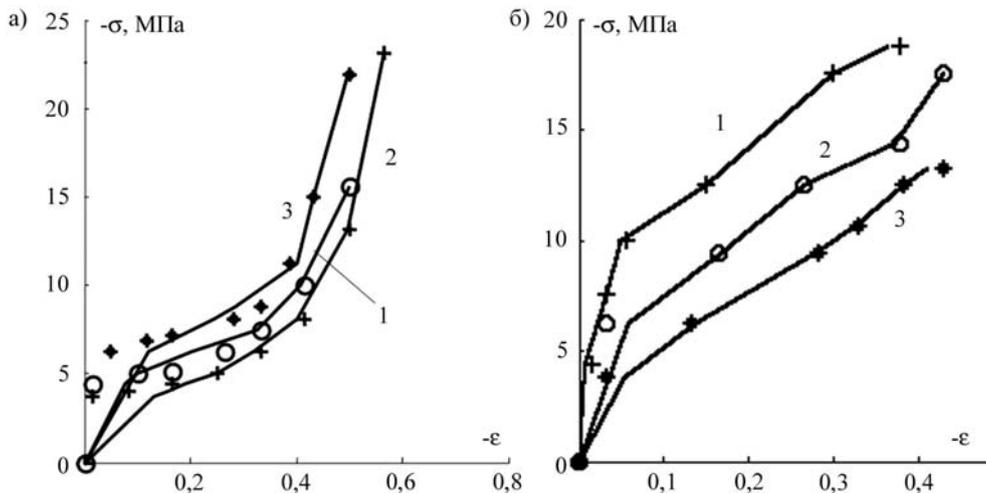


Рис. 2. Диаграммы «напряжение-деформация» при сжатии древесины: а) сосны; б) березы – поперек волокон в радиальном направлении при $w = 10\%$ – кривые 1 и маркеры «+», 20% – кривые 2 и маркеры «о», 30% – кривые 3 и маркеры «*». $T = 293$ К. Непрерывные линии соединяют расчетные значения, маркеры изображают опытные данные [15]

Неравновесная часть расклинивающего давления для обеих пород вычисляется как интерполирующая функция трех переменных. Зависимость Δp_2 от температуры, влажности и интенсивности нагружения для древесины березы и сосны представлена на рис. 1. Как видно из этих рисунков, неравно-

весная составляющая расклинивающего давления увеличивается с ростом интенсивности нагружения и уменьшением влажности и температуры. Вблизи предела гигроскопичности при высоких температурах Δp_2 резко снижается. Температурная зависимость расклинивающего давления получена с исполь-

зованием данных [16]. Результаты опытов, приведенные в [16], относятся к напряженным состояниям малой интенсивности, возникающим, например, при сушке. Однако, ввиду ограниченности данных в литературе по этому вопросу, характер влияния температуры на деформативность древесины [16] перенесен в первом приближении на рассматриваемые условия нагружения и использован для древесины обеих пород. Немонотонное изменение неравновесной составляющей расклинивающего давления для древесины сосны (рис. 1в,г) соответствует второй фазе трехфазной диаграммы «напряжение-деформация» (рис. 2а).

На рис. 2 показаны расчетные и опытные диаграммы «напряжение-деформация» при различных влажностях, демонстрирующие удовлетворительную возможность использования полученных реологических коэффициентов и значений расклинивающего давления в тонких прослойках воды в дальнейших расчетах процесса прессования древесины березы и сосны. Отметим, что, по данным опытов [15], при больших значениях влажности ($w > w_{п.г}$) сопротивление сжатию поперек волокон древесины сосны выше (в нормальных условиях), чем при влажности $w = 20\%$ (рис. 2а). Для древесины березы большие значения деформаций сжатия наблюдались при больших увлажнениях (при данном напряжении) (рис. 2б). Такое поведение сосновых образцов также влияет на немонотонный характер зависимости расклинивающего давления от влажности (рис. 1в).

Заключение

Рассчитанные реологические коэффициенты структурного каркаса и древесинного вещества являются константами, а расклинивающее давление в тонких порах зависит от объемного содержания воды, пористости, уровня напряжений и температуры. Реологическое уравнение (6) может быть использовано для теоретического исследования процессов последействия в древесине с учетом изменения ее пористой структуры и содержания влаги.

Библиографический список

1. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 368 с.
2. Ржаницын, А.Р. Теоретические предпосылки к построению методов расчета деревянных конструкций во времени / А.Р. Ржаницын // Исследования прочности и деформативности древесины. – М.: Изд-во лит-ры по стр-ву и арх-ре, 1956. – С. 21–31.
3. Быковский, В.И. Применение механики упруго-вязких тел к построению теории сопротивления древесины с учетом фактора времени / В.И. Быковский // Исследования прочности и деформативности древесины. – М.: Изд-во лит-ры по стр-ву и арх-ре, 1956. – С. 32–41.
4. Белянкин, В.Ф. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязкопластического тела / В.Ф. Белянкин, В.Ф. Яценко. – Киев: Изд-во АН УССР, 1957. – 200 с.
5. Огарков, Б.И. Теория упругого последействия древесины / Б.И. Огарков // ЖТФ, 1957. – Т. 27. – № 5. – С. 1118–1120.
6. Роценс, К.А. Технологическое регулирование свойств древесины / К.А. Роценс. – Рига: Зинатне, 1979. – 220 с.
7. Ашкенази, Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 224 с.
8. Дорняк, О.Р. Моделирование реологического поведения древесины в процессах прессования / О.Р. Дорняк // Инженерно-физический журнал. – 2003. – № 3. – С. 150–155.
9. Буевич, Ю.А. Структурно-механические свойства и фильтрация в упругом трещиновато-пористом материале / Ю.А. Буевич // Инженерно-физический журнал. – 1984. – № 4. – С. 593–600.
10. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
11. Колтунов, М.А. Ползучесть и релаксация / М.А. Колтунов. – М.: Высшая школа, 1976. – 277 с.
12. Чудинов, Б.С. Вода в древесине / Б.С. Чудинов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 267 с.
13. Вода в дисперсных системах / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. – М.: Химия, 1989. – 288 с.
14. Дерягин, Б.В. Адгезия твердых тел / Б.В. Дерягин, Н.А. Кротова, В.П. Смилга. – М.: Наука, 1973. – 279 с.
15. Баженов, В.А. К вопросу об испытании древесины на сжатие / В.А. Баженов, Л.М. Перельгин, Е.А. Семенова // Труды Института леса, 1953. – Т. 9. – С. 315–331.
16. Hanhijärvi A. Deformation properties of Finnish spruce and pine wood in tangential and radial directions in association to high temperature drying. Part II. Experimental results under constant conditions (viscoelastic creep) // Holz als Roh-und Werkstoff. 1999. V. 57, Pp. 365–372.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ

О.Р. ДОРНЯК, доц. ВГЛТА, канд. физ.-мат. наук,
Л.Т. СВИРИДОВ, проф., проректор по научной работе ВГЛТА, д-р техн. наук

Постановка задачи

Процесс уплотнения древесины происходит в специальной пресс-форме с жесткими стенками после предварительного нагрева или пропаривания [1]. В случае прессования поперек волокон пресс-форма имеет открытые торцовые поверхности. Направление усилия сжатия обычно перпендикулярно направлению годовых слоев в случае использования хвойных пород, а для рассеянно-сосудистых пород оно может быть также параллельным этому направлению. Степень прессования поперек волокон может достигать 50 %.

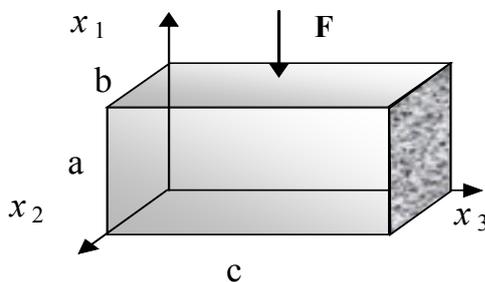


Рис. 1. Схема прессования

На рис. 1. показана схема прессования. Предполагая, что размер длинной стороны образца во много раз превосходит его поперечные размеры, а также что распределение нагрузки в зоне контакта передающей поверхности и образца вдоль этого направления практически равномерно, пренебрегая деформациями вдоль волокон древесины, можно считать, что имеет место состояние плоской деформации. Если материал заготовки имеет однородные структурные характеристики, то реализуется состояние одностороннего сжатия. Температурное поле

в объеме заготовки в общем случае полагаем неоднородным. Температура частиц среды считается неизменной, т.к. характерное время теплопереноса в твердой и в жидкой фазах древесины существенно больше времени процесса прессования. Принято, что температуры фаз одинаковы.

Постановка задачи осуществлена в рамках механики многофазных систем [2]. Древесина рассматривается как анизотропная трехфазная система: твердый капиллярно-пористый скелет, заполненный жидкостью и парогазовой смесью.

Процесс деформирования образца можно рассматривать как квазиравновесный, так, что справедливы уравнения равновесия [2]

$$\frac{\partial(\alpha_3 \langle \sigma_3^{11} \rangle_3)}{\partial x_1} + \frac{\partial(\alpha_3 \langle \sigma_3^{12} \rangle_3)}{\partial x_2} + p_3 \frac{\partial \alpha_3}{\partial x_1} + R_{13}^1 + R_{23}^1 = 0;$$

$$p_3 = -\frac{1}{3} \langle \sigma_3^{ij} \rangle_3$$

$$\frac{\partial(\alpha_3 \langle \sigma_3^{12} \rangle_3)}{\partial x_1} + \frac{\partial(\alpha_3 \langle \sigma_3^{22} \rangle_3)}{\partial x_2} + p_3 \frac{\partial \alpha_3}{\partial x_2} + R_{13}^2 + R_{23}^2 = 0;$$

$$j = 1, 2, 3, \quad (1)$$

где x_1, x_2 – декартовы координаты;
 α_3 – объемное содержание твердой фазы;
 $\langle \sigma_3^{kl} \rangle_3$ ($k, l = 1, 2, 3$) – тензор микронапряжений в древесинном веществе, усредненный по объему твердой фазы;

$R_{13}^j, R_{23}^j (j=1,2)$ – проекции сил сопротивления фильтрационному переносу жидкой и газообразной фаз в пористом материале;

«'» – (штрих) относится к параметрам, являющимся средними в пределах микрообъема среды $d'V \ll a^3$;

a – характерный размер неоднородностей.

Полагая деформации малыми, принимая постоянной плотность древесинного вещества, из уравнения сохранения массы твердой фазы получим соотношение

$$\varepsilon_3^{kk} - \varepsilon_{30}^{kk} = -\frac{(\alpha_3 - \alpha_{30})}{\alpha_{30}}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_3^{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle h_3^{ij} \rangle_3}{\partial x^i} + \frac{\partial \langle h_3^{ji} \rangle_3}{\partial x^j} \right); \quad (3)$$

$$\langle h_3^{ii} \rangle_3 = \langle h_3^{ii}(x'_1, x'_2) \rangle_3; \langle h_3^{ij} \rangle_3 = 0, \quad i, j = 1, 2,$$

где $\varepsilon_{30}^{kk}, \varepsilon_3^{kk} (k = 1, 2, 3)$ – первый инвариант тензора деформаций твердой фазы в некоторый начальный и текущий моменты времени;

α_{30}, α_3 – соответствующие концентрации третьей фазы;

$\langle h_3^{ij} \rangle_3$ – усредненные смещения частиц твердой фазы.

Изменение объемного содержания жидкой фазы учитывается в связи с изменением объема заготовки с помощью соотношения, аналогичного (2). Если образец имеет влажность ниже предела гигроскопического насыщения клеточных стенок, то имеющаяся в нем вода находится или в тонких прослойках, или в смачивающих пленках. Оценки показывают, что вклад капиллярных перетоков влаги в изменение поля концентрации жидкой фазы в процессе прессования изучаемой капиллярно-пористой системы несущественен, поскольку время прессования много меньше характерного времени переноса воды в поперечном сечении бруска. В случае уплотнения древесины высокой влажности в направлении поперек волокон возможно вытеснение свободной воды, осуществляемое преимущественно вдоль волокон через торцовые поверхности.

В расчетах учитывается уменьшение массы воды в образце мокрой древесины в пренебрежении сопротивлением вытеснению.

Силами трения между формирующимся композитом и стенками прессформы, а также пуансоном пренебрегается. Условие контактного взаимодействия верхней грани образца с нижней поверхностью жесткого пуансона представляет собой равенство нормальных компонент вектора перемещений по всей поверхности контакта

$$\langle h_3^{11}(a + Y(t), x'_2) \rangle_3 = Y(t); \quad Y(t) < 0,$$

где $Y(t)$ – смещение поверхности контакта образца с пуансоном, которое является искомым.

Другие граничные условия задачи имеют вид

$$\langle h_3^{11}(0, x'_2) \rangle_3 = 0; \langle h_3^{12}(x'_1, 0) \rangle_3 = 0;$$

$$\langle h_3^{12}(x'_1, b) \rangle_3 = 0;$$

$$\langle \sigma_3^{12}(0, x'_2) \rangle_3 = \langle \sigma_3^{12}(a + Y, x'_2) \rangle_3 = \langle \sigma_3^{12}(x'_1, 0) \rangle_3 = \langle \sigma_3^{12}(x'_1, b) \rangle_3 = 0. \quad (4)$$

Нормальные напряжения в зоне контакта удовлетворяют условию

$$\int_0^b \int_0^c \sigma^{11} dx_1 dx_3 = F, \quad (5)$$

где σ – полный тензор напряжений в древесине;

F – результирующая сила, приложенная к плите пресса;

b, c – размеры верхней грани образца.

Уравнения (1–3) замыкаются реологическим уравнением состояния древесины. Поставленная краевая задача (1–5) вместе с реологическим уравнением является нелинейной даже для материалов с однородным распределением влажности и пористости, поскольку заранее неизвестно положение нижней грани пуансона в каждый момент времени, и уровень напряжений зависит от объемного содержания фаз. Для проведения вычислительного эксперимента с целью изучения напряженно-деформированного состояния в древесном образце с изменяющейся пористой структурой построены конечно-разностные уравнения и разработан итерационный алгоритм их реализации.

В результате решения поставленной задачи могут быть получены распределения полей влажности, пористости, плотности в поперечном сечении образца при любом заданном режиме нагружения и при любых начальных температурно-влажностных характеристиках заготовки. Это дает возможность прогноза структурных характеристик образца в изучаемом процессе модифицирования древесины.

Критерий прочности

Важным моментом анализа процесса уплотнения древесной заготовки является оценка ее прочности. В качестве критерия прочности древесины выбран полиномиальный критерий 4 степени, предложенный Е.К. Ашкенази [3]. Этот критерий хорошо зарекомендовал себя для сильно анизотропных материалов, к которым относится, в частности, древесина хвойных пород. Критерий не предусматривает инверсии прочности при растяжении и сжатии, но использование кусочной предельной поверхности прочности позволяет учесть эту особенность материала. Для трехосного напряженного состояния при выборе осей координат в направлении главных осей анизотропии условие прочности имеет вид [3]

$$\begin{aligned} & (\sigma_{\dot{a}\dot{a}}^2 + \tilde{n}\sigma_{rr}^2 + b\sigma_{tt}^2 + d\tau_{\dot{a}r}^2 + p\tau_{rt}^2 + \\ & + g\tau_{ta}^2 + s\sigma_a\sigma_r + t\sigma_r\sigma_t + f\sigma_t\sigma_a) / \\ & (\sigma_{\dot{a}\dot{a}}^2 + \sigma_{rr}^2 + \sigma_{tt}^2 + \tau_{\dot{a}r}^2 + \tau_{rt}^2 + \tau_{ta}^2 + \\ & + \sigma_a\sigma_r + \sigma_r\sigma_t + \sigma_t\sigma_a)^{1/2} \leq \sigma_0; \\ & \sigma_0 = \sigma_{\dot{a}\dot{a}}; c = \sigma_{\dot{a}\dot{a}} / \sigma_{\dot{a}r}; b = \sigma_{\dot{a}\dot{a}} / \sigma_{\dot{a}t}; \\ & d = \sigma_{\dot{a}\dot{a}} / \tau_{\dot{a}ar}; p = \sigma_{\dot{a}\dot{a}} / \tau_{\dot{a}rt}; g = \sigma_{\dot{a}\dot{a}} / \sigma_{\dot{a}ta}; \\ & s = 4\sigma_{\dot{a}\dot{a}} / \sigma_{\dot{a}ar}^{(45)} - c - d - 1; \\ & t = 4\sigma_{\dot{a}\dot{a}} / \sigma_{\dot{a}rt}^{(45)} - c - b - p; \\ & f = 4\sigma_{\dot{a}\dot{a}} / \sigma_{\dot{a}at}^{(45)} - b - g - 1, \end{aligned}$$

где a, r, t – оси симметрии ортотропного материала;

σ_b – величина опасного напряжения (предела прочности) при растяжении или сжатии в направлении оси, указанной как второй индекс;

τ – то же при чистом сдвиге, который изменяет прямой угол между осями, обозначенными в индексе.

Верхний индекс «45» указывает на предел прочности в направлении под углом 45° к осям симметрии.

Параметры расчетов

Известно, что значения пределов прочности уменьшаются с ростом влажности и температуры, но увеличиваются с повышением степени прессования [1]. Принято, что характер влияния этих факторов влажности и температуры одинаков для предельных значений напряжений при любых испытаниях

$$\sigma_{Bj} = \sigma_{Bj}(T, w) = \sigma_{Bj}(293, 12) f(T, w), \quad (j = a, r, t \text{ и т.д.}),$$

где $\sigma_{Bj}(293, 12)$ – значение соответствующего предела прочности при температуре 20°C и влажности древесины 12 %.

Функция f интерполирует экспериментальные данные для предела прочности вдоль волокон в диапазоне значений

$$w = 0 \div 30 \%, \quad T = 273 \div 373 \text{ К.}$$

Для сосны такие значения приведены в [4]. Изменение значения пределов прочности со степенью прессования учтено с помощью соотношения

$$\sigma_{Bj} = \sigma_{Bj}(1 - k_{\varepsilon j} Y/a),$$

где $k_{\varepsilon j}$ – коэффициент, зависящий от породы древесины, плоскости прессования и вида деформации [1].

В качестве значений пределов прочности древесины при различных видах испытаний использованы данные, приведенные в [4] для сосны и в [3] для березы. В расчетах силами сопротивления фильтрационному переносу пренебрегается.

Расчеты проведены для образцов, поперечное сечение которых имеет первоначально форму квадрата, $a = b$. Отношение $c/a = 5$. Начальное распределение объемного влагосодержания в общем случае неоднородно по сечению и задается в виде

$$w_{20} = A_{20} + B_{20} \sin(\pi x_1/a) \sin(\pi x_2/b).$$

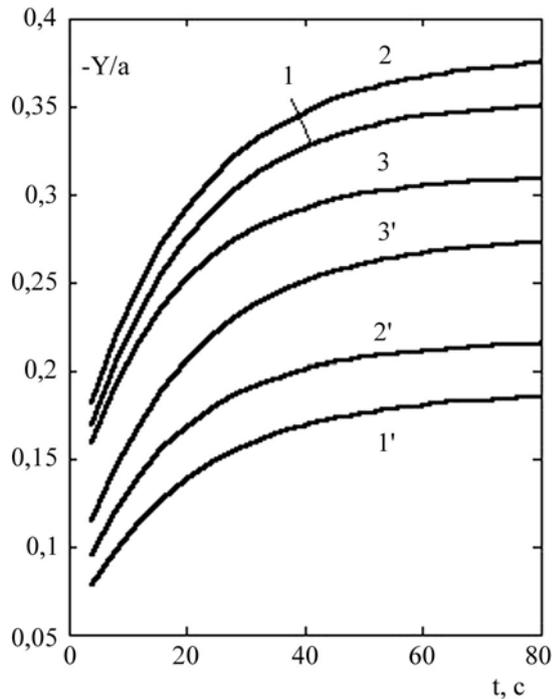


Рис. 2. Изменение степени прессования образцов из древесины сосны (кривые 1–3) и березы (кривые 1'–3') в радиальном направлении при влажности $w = 10\% - 1,1'$; $20\% - 2,2'$; $30\% - 3,3'$. Температура однородна по сечению: $T = 293\text{ K}$

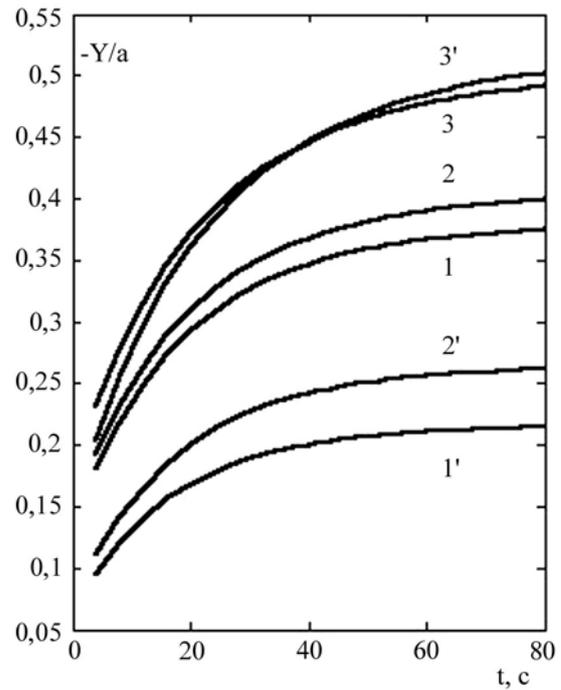


Рис. 3. Изменение степени прессования образцов из древесины сосны (кривые 1–3) и березы (1'–3') в радиальном направлении при температуре $T = 293^\circ\text{K} - 1,1'$; $333 - 2,2'$; $373 - 3,3'$. Влажность однородна по сечению: $w = 20\%$

Поскольку древесина обладает свойствами коллоидного тела и набухает при насыщении клеточных стенок водой при влажности меньше, чем предел гигроскопического насыщения, неоднородному содержанию жидкой фазы соответствует неоднородное распределение в материале. Распределение влажности по сечению образца задано в диапазоне $13 \div 18\%$ ($A_{20} = 13, B_{20} = 5$) и в диапазоне $17 \div 12\%$ ($A_{20} = 17, B_{20} = 5$). Первое число в обозначении диапазона относится к границам, а второе – к центру поперечного сечения заготовки. Таким образом, в первом случае более увлажнена центральная зона, во втором – приграничная. В более сухих областях материал имеет большую концентрацию твердой фазы. Принято, что нагружение осуществляется мгновенно приложенной постоянной силой $F = F_0$ (среднее давление $F_0/bc = 20\text{ МПа}$). Температура образца задается одинаковой во всех точках поперечного сечения. Величина $p_{\text{хар}} = 10^8\text{ Па}$, $\rho_2 = 10^3\text{ кг/м}^3$, $\rho_3 = 1,54 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$. В расчетах используются интерполирующие функции для расклинивающего давления и реологические

константы для древесины сосны и березы, приведенные в предыдущей статье этого сборника.

Результаты численного исследования параметров структуры и прочности уплотняемого образца

На рис. 2–8 представлены результаты расчетов, иллюстрирующие влияние реологического и температурно-влажностного факторов на параметры процесса прессования древесины. Вследствие вязкоупругих свойств, которыми обладает твердая фаза и структурный каркас материала, максимальная степень уплотнения достигается за период времени, близкий ко времени релаксации λ_f'' (рис. 2). Мгновенная упругая деформация в направлении сжатия составляет менее 50% от деформации, установившейся после завершения процесса ползучести. Максимальная степень прессования древесины березы достигается при больших величинах влажности и температуры (рис. 2, 3), что связано с монотонным падением расклинивающего давления при увеличении w и T . Как видно из

кривых на рис. 2, при $T = 293$ К наиболее существенное сжатие древесины сосны происходит при влажности $\sim 20\%$. Древесина сосны вблизи предела гигроскопичности и при $w \sim 10\%$ оказывает большее сопротивление сжатию, чем при $w \sim 20\%$, что соответствует опытным диаграммам «напряжение-деформация» [5]. Разгружающий вклад давления жидкой фазы в значения напряжений в системе зависит в рамках рассматриваемой модели от двух факторов – расклинивающего давления (величина которого больше в более тонких пленках, т.е. при меньших влажностях) и объемного содержания воды в системе микрокапилляров, уменьшающегося с падением влажности. Расчеты показывают, что вклад расклинивающего давления в сопротивление сжатию древесины березы максимален при небольших влажностях, а древесины сосны – при влажностях, близких к гигроскопическому насыщению (при $T = 293$ К). Рост температуры образцов обеих пород приводит к большей степени прессования материала (рис. 3), что связано с уменьшением величины расклинивающего давления. Соответствующее изменение значения давления в жидкой фазе при прессовании образцов из древесины березы и сосны при различных значениях равномерно распределенной влажности и температуры показано на рис. 4–5.

В соответствии со степенью прессования изменяется объемная концентрация твердой фазы формируемого материала (рис. 6, 7). Более интенсивно уплотняется древесина сосны, обладающая большей пористостью. С ростом температуры и влажности величина α_3 обеих пород увеличивается, поскольку при этом повышается деформативность структурного скелета древесины.

Расчет поверхности прочности материала, проведенный для заданных условий, показывает, что неоднородные распределения влажности и температуры приводят к появлению зон разрушения. В случае равномерной температуры и влажности материала разрушение наступает в связи с понижением прочностных характеристик древесины при повышении влажности и температуры. Если степень прессования оказывается достаточно

большой, то, несмотря на высокую влажность и температуру, критерий прочности Ашкенази указывает на возможность получения качественного образца уплотненной древесины, что подтверждается результатами, получаемыми на практике [1]. Появление зон частичного разрушения обусловлено не только температурно-влажностной понижающей поправкой к значениям прочностных показателей, но и сложным напряженным состоянием материала. Расположение этих зон соответствует областям наибольшей концентрации твердой фазы, наибольшего уровня деформаций объемного сжатия, максимальных касательных напряжений, а также полных сжимающих напряжений в направлении главных осей анизотропии древесины.

Рис. 8 иллюстрирует развитие неравномерного поля концентраций твердой фазы в поперечном сечении образца древесины березы. Перераспределение твердой фазы связано с особенностями реологического поведения древесины при различных значениях температуры и влажности. Образец, более увлажненный в центральной зоне, имеет здесь первоначально меньшую концентрацию твердой фазы по сравнению с приграничной областью (рис. 8а). В результате прессования и большей деформативности древесины в более влажной области распределение объемного содержания твердой фазы изменяется на противоположное – происходит более интенсивное уплотнение центральной области (рис. 8б). Образец, имеющий большую влажность вблизи поверхности, первоначально имеет большие значения α_3 в центре поперечного сечения (рис. 8а'). Вследствие более интенсивного сжатия поверхностных зон формируется весьма неоднородное распределение объемной концентрации твердой фазы (рис. 8б'). Критерий прочности Ашкенази указывает в этом случае на возможность разрушения поверхностных слоев образца. Рис. 8в и 8в' иллюстрируют неравномерное распределение полного давления в материале

$$p = -\frac{1}{3}\sigma^{ii},$$

сопровожающее нарушение критерия прочности.

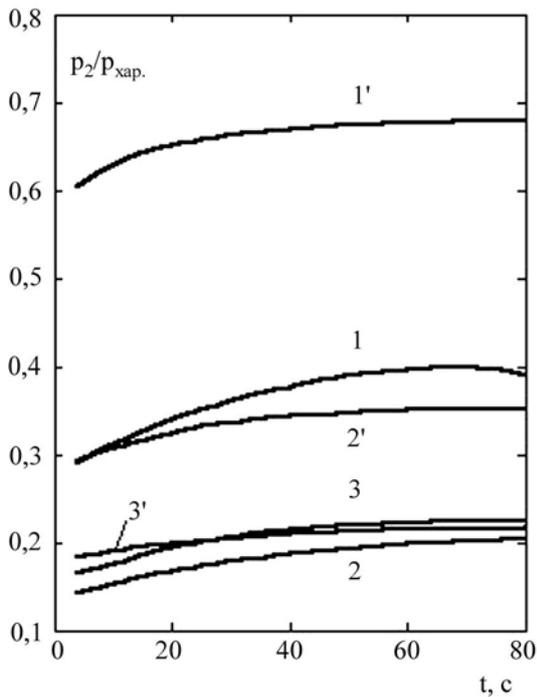


Рис. 4. Изменение усредненного давления жидкой фазы в образцах из древесины сосны (кривые 1–3) и березы (кривые 1'–3') при прессовании в радиальном направлении для значений влажности $w = 10\%$ – 1,1'; 20% – 2,2'; 30% – 3,3'. Температура однородна по сечению: $T = 293\text{ K}$

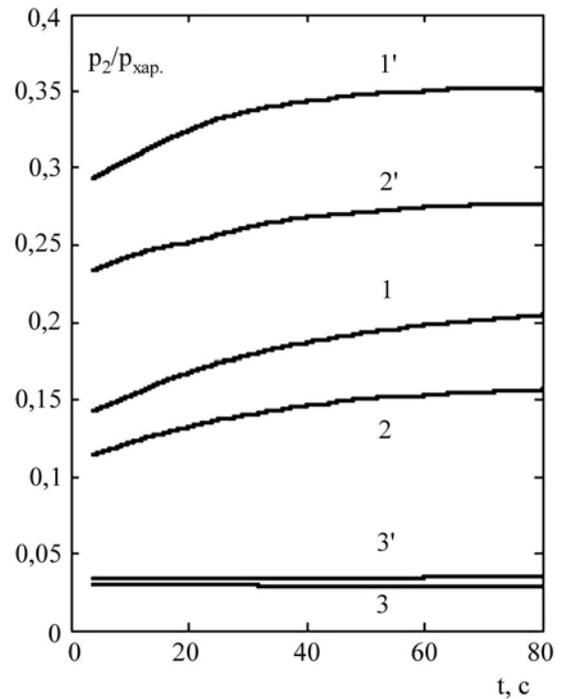


Рис. 5. Изменение усредненного давления жидкой фазы в образцах из древесины сосны (кривые 1–3) и березы (1'–3') при прессовании в радиальном направлении при температуре $T = 293\text{ K}$ – 1,1'; 333 – 2,2'; 373 – 3,3'. Влажность однородна по сечению: $w = 20\%$

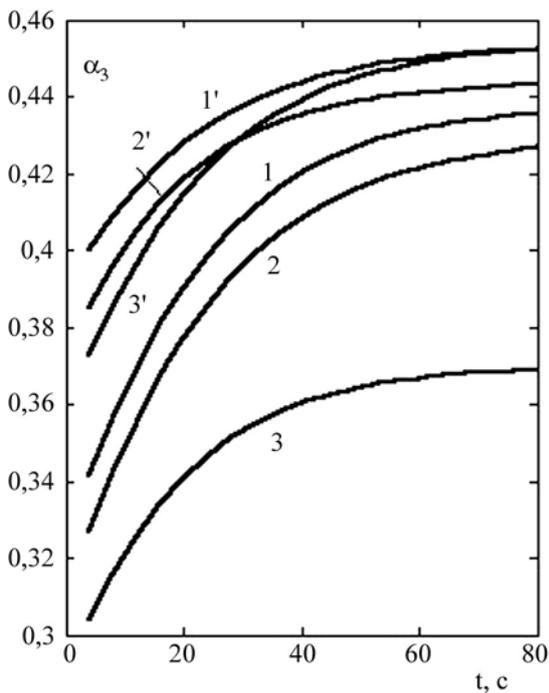


Рис. 6. Изменение объемного содержания твердой фазы в образцах из древесины сосны (кривые 1–5) и березы (кривые 1'–5') при прессовании в радиальном направлении при влажности $w = 10\%$ – 1,1'; 20% – 2,2'; 30% – 3,3'. Температура однородна по сечению: $T = 293\text{ K}$

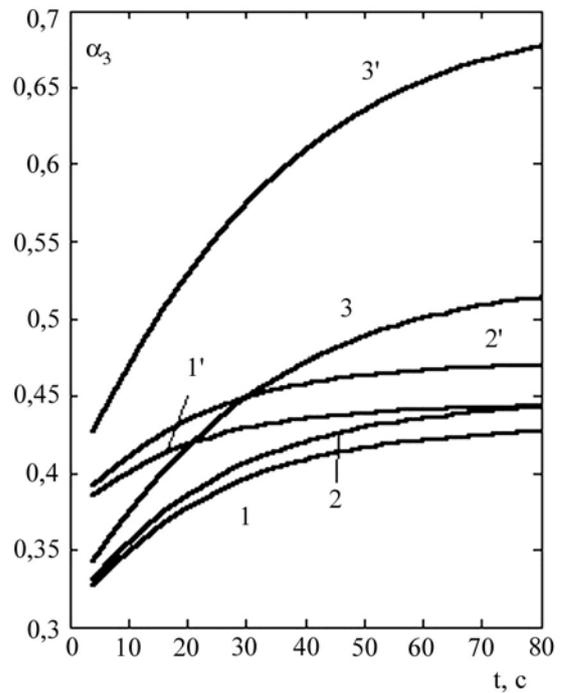


Рис. 7. Изменение объемного содержания твердой фазы в образцах из древесины сосны (кривые 1–3) и березы (1'–3') при прессовании в радиальном направлении при температуре $T = 293\text{ K}$ – 1,1'; 333 – 2,2'; 373 – 3,3'. Влажность однородна по сечению: $w = 20\%$

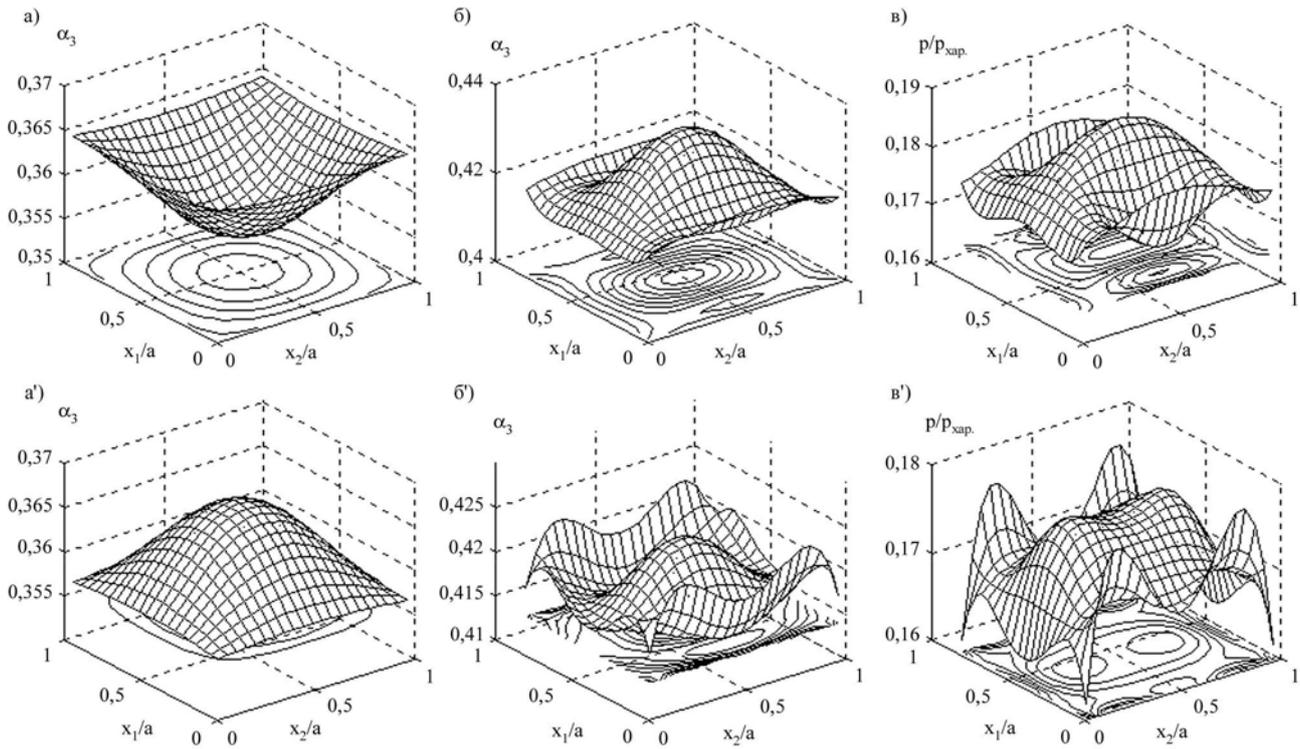


Рис. 8. Распределение в поперечном сечении образца объемного содержания твердой фазы α_3 и полного давления в материале p при радиальном прессовании древесины березы с неоднородным полем влажности $w = 13-18\%$ – а-в); $17-12\%$ – а'-в') при $t = 0$ с – а-а'); 40 с – б-б') и в-в'). $T = 20^\circ\text{C}$, $p_{\text{хар}} = 10^2$ МПа

Заключение

Сформулированная математическая модель процесса прессования древесины учитывает влияние реологического фактора и эффекта расклинивающего давления в тонких прослойках воды на изменение пористой структуры материала при его уплотнении. Численные расчеты дают возможность прогнозировать степень прессования и изменение пористой структуры по сечению образца. Определение поля тензора напряжений позволяет воспользоваться критериями прочности для оценки выбранного режима прессования подготовленных образцов с заданным распределением температуры и влажности.

Библиографический список

1. Хухрянский, П.Н. Прессование древесины / П.Н. Хухрянский. – М.: Лесная пром-сть, 1964. – 350 с.
2. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
3. Ашкенази, Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 224 с.
4. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 368 с.
5. Баженов, В.А. К вопросу об испытании древесины на сжатие / В.А. Баженов, Л.М. Перельгин, Е.А. Семенова // Труды Института леса – Т. 9. – 1953. – С. 315–331.

ГИБКИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕХОВ

А.К. РЕДЬКИН, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, д-р техн. наук,*

А.А. ШАДРИН, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук*

Проблема совершенствования технологических процессов лесопромышленных предприятий в настоящее время приобретает особо важное значение. Это обусловливается наметившейся устойчивой тенденцией роста объемов лесозаготовок в России с одновременным увеличением доли обработки древесного сырья в цехах лесопромышленных предприятий, что позволяет наиболее полно и рационально использовать лесные ресурсы и добиться максимального экономического эффекта за счет углубленной обработки древесного сырья [2].

В настоящее время в лесопромышленном производстве наблюдается процесс расширения номенклатуры производимых изделий и увеличение их общего количества. Наряду с этим возрастают требования к качеству готовой продукции лесопромышленных предприятий. Поэтому при организации лесопромышленного производства в условиях лесопромышленных предприятий следует учитывать ряд особенностей, связанных со всем лесопромышленным циклом. Установлено, что лесопромышленное производство в значительной степени подвержено воздействию производственных факторов [3]. Это воздействие приводит к колебаниям как производительности отдельных машин, так и всего процесса. Изменение таксационных характеристик разрабатываемых лесосек вызывает соответствующие колебания лесозаготовок, изменения в сортиментном плане лесопромышленного склада, в объемном выходе определенных видов сортиментов, изменчивости в широких пределах параметров сырья, поступающего на обработку.

В связи с этим технологические процессы лесопромышленных предприятий должны

быть достаточно совершенны и обладать определенной гибкостью для уменьшения отрицательного влияния изменчивости перечисленных выше природно-производственных факторов, а также обеспечивать возможность более полного и эффективного использования всей заготавливаемой древесины. Кроме того, лесопромышленные процессы должны создаваться с учетом возможности оперативной корректировки производственной программы выпуска готовой продукции вследствие колебаний спроса на рынке. Этим требованиям удовлетворяют так называемые гибкие технологические процессы (ГТП), которые характеризуются возможностью быстрой их перестройки без капитальной замены применяемого оборудования. Целью создания ГТП является прежде всего повышение загрузки применяемого оборудования, что способствует в конечном итоге росту производительности и эффективности производства.

Гибкие технологические процессы – это качественно новый этап в комплексной механизации и автоматизации лесопромышленного производства, охватывающий весь процесс от проектирования технологий до изготовления продукции и ее поставки потребителям. По структуре ГТП могут быть представлены в виде линий или участков, объединенных транспортно-складской системой. Исследования показывают, что ГТП позволяют увеличить использование оборудования на 25–30 % и, соответственно, сократить его простой [1]. Установлено также, что ГТП имеют свою область эффективного применения. Например, при организации крупного лесопильного производства считается эффективным применение жестких автоматизированных линий, ориентированных

на выпуск больших партий однотипных пиломатериалов. С другой стороны, в условиях мелкого индивидуального производства единичных изделий целесообразно использовать универсальное оборудование. Промежуточное положение между этими двумя видами производств занимают ГТП, которые во многом соответствуют производственным условиям лесопромышленных предприятий. Обобщенному варианту структуры ГТП соответствует схема потоков лесоматериалов в лесообрабатывающем цехе (рис. 1).

Проведенные исследования показали [3], что требованиям ГТП удовлетворяют комбинированные лесообрабатывающие производства, особенностью которых является возможность обработки различных видов сортиментов на продукцию нескольких наименований в общих технологических потоках. Известно [4], что уровень комбинирова-

ния обработки различных по назначению сортиментов в цехе может быть определен с помощью специального коэффициента комбинирования, который позволяет учитывать как количество видов сортиментов, поступающих в цех на обработку, так и долю каждого сортимента в общем объеме поступления древесного сырья в цех. С помощью этого коэффициента можно также оценивать степень гибкости технологического процесса по обработке древесного сырья. Практически количество видов сортиментов, обрабатываемых в комбинированном цехе, находится в пределах 2–4-х, хотя возможно и большее их число. Коэффициент комбинирования для лесообрабатывающих цехов может изменяться в достаточно больших пределах. Однако, как показали проведенные исследования, для большинства комбинированных цехов значение φ_k соответствует 0,2–0,5.

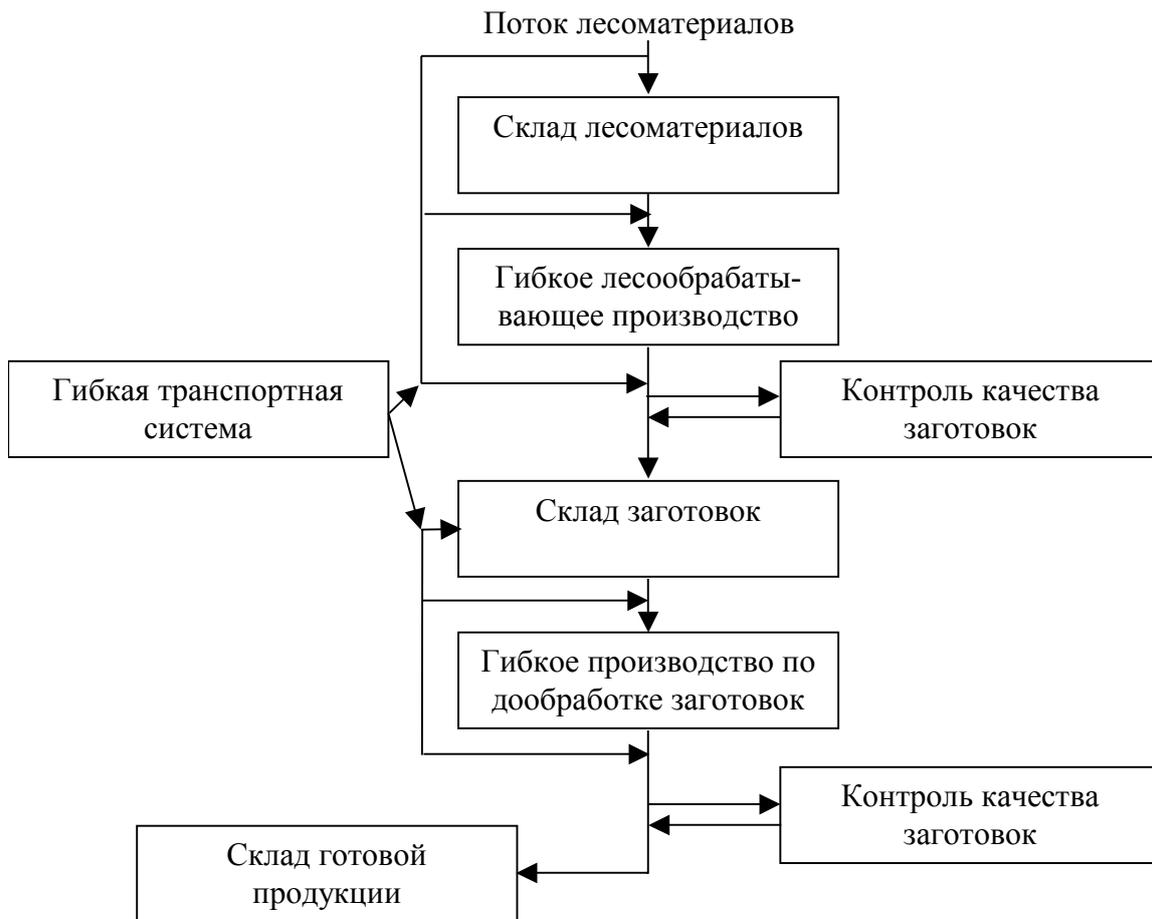


Рис. 1. Схема потоков лесоматериалов ГТП

Технологические потоки по обработке древесного сырья в цехах с ГТП могут быть сформированы в технологические линии с поштучной передачей заготовок от станка к станку в процессе обработки или по принципу передачи пачек заготовок между станками или группой станков. В последних случаях появляется возможность организации производственного процесса по схеме «склад – станок – склад», что при обработке лесоматериалов различного назначения обеспечивает непрерывное управление ходом производства. При этом можно опера-

тивно менять маршрут обработки заготовок в цехе в зависимости от изменения состава обрабатываемого древесного сырья. Классификация гибких технологических процессов представлена на рис. 2.

Из приведенной классификации видно, что гибкие технологии по обработке древесного сырья можно реализовать путем компоновки станков в комбинированные технологические линии, путем формирования гибкой компоновки станков в цехе, а также при блочной компоновке станков с гибкой взаимосвязью между отдельными блоками.

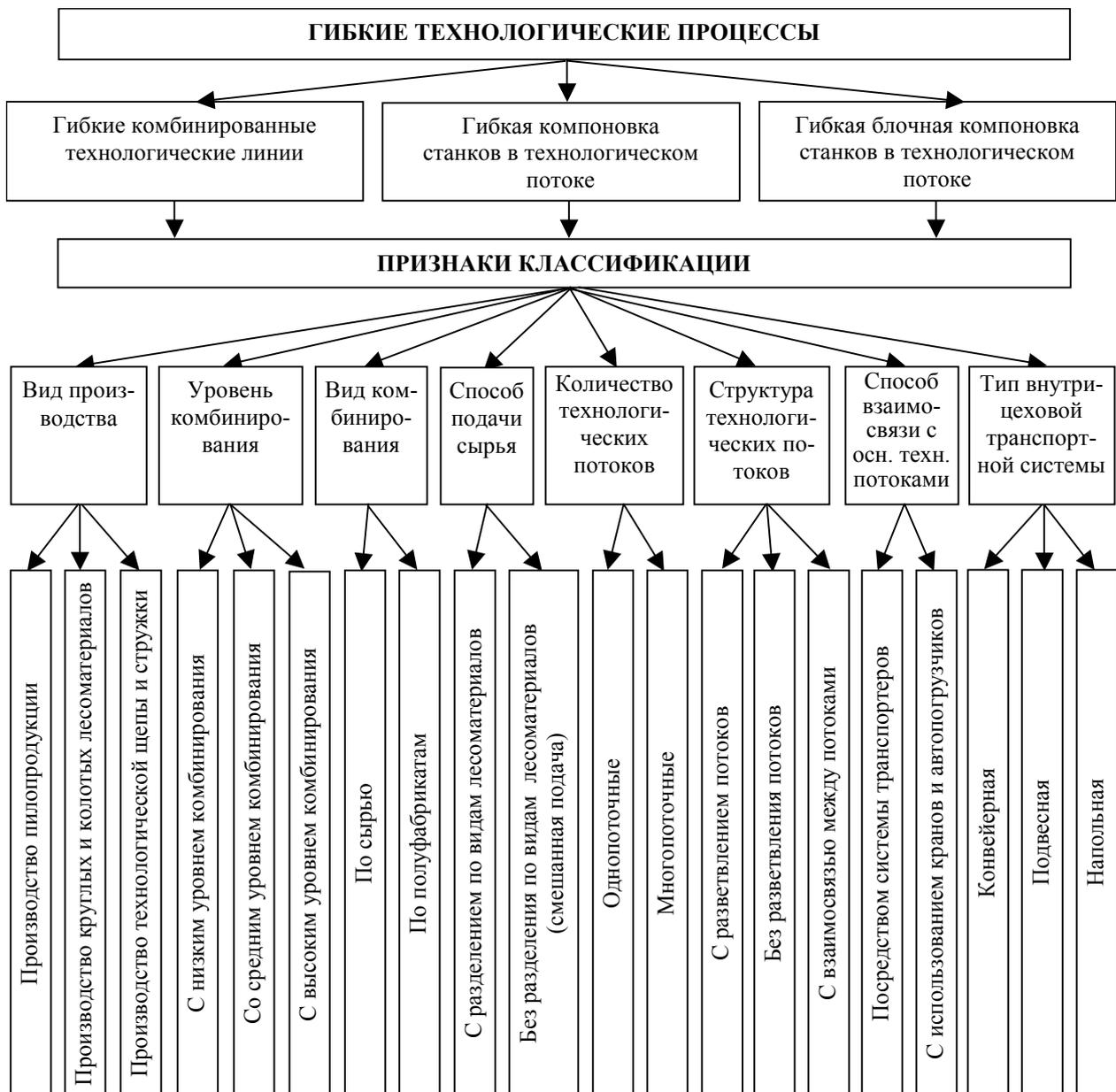


Рис. 2. Классификация гибких лесообрабатывающих технологических процессов

Как отмечалось выше, компоновка станков в комбинированные технологические линии предусматривает поштучную передачу заготовок от станка к станку в процессе обработки. При этом между станками, как правило, размещаются буферные магазины ограниченной вместимости. При гибкой компоновке станков в лесообрабатывающем цехе заготовки передаются от станка к станку в виде сформированных пачек или пакетов. В этом случае лесообрабатывающий технологический поток организуется по схеме «склад заготовок – станок – склад заготовок». Станки в технологическом потоке могут быть скомпонованы и по смешанному варианту, когда станки группируются в отдельные блоки (группы) с поштучной передачей заготовок от станка к станку внутри блока, а между блоками заготовки передаются в виде сформированных пакетов (пачек) лесоматериалов.

Создание цехов с ГТП возможно практически при организации любого вида производства. Основными видами лесообрабатывающих производств на нижних лесных складах являются: производство пилопродукции, круглых и колотых лесоматериалов, производство технологической щепы и стружки.

По уровню комбинирования обработки древесины лесообрабатывающие цехи условно подразделяются на цехи с низким ($\varphi_k = 0-0,2$), средним ($\varphi_k = 0,21-0,5$) и высоким уровнем комбинирования ($\varphi_k > 0,5$). При этом следует различать уровни комбинирования отдельных технологических потоков и цеха в целом. В однопоточном цехе этот показатель будет иметь одинаковое значение как для характеристики потока, так и для всего цеха.

Лесообрабатывающие цехи подразделяются также по виду комбинирования. При комбинировании по сырью на головной станок лесообрабатывающей линии поступают различные по назначению сортименты для их дальнейшей обработки на общих станках. Такой вид комбинирования обеспечивает максимальную загрузку оборудования. Другой вид комбинирования, по полуфабрика-

там, имеет место в многопоточных цехах, когда отдельные технологические линии, обрабатывающие различные по назначению сортименты, имеют взаимосвязь для передачи частично обработанных лесоматериалов (полуфабрикатов) с одной линии на другую для их дальнейшей обработки. Такой вид комбинирования применяется для достижения наиболее полной обработки поступающей в цех древесины.

Подача сырья в лесообрабатывающий цех может осуществляться с разделением по видам лесоматериалов и без разделения (смешанная подача). Подача лесоматериалов в цех без разделения их по назначению позволяет исключить простои станков вследствие отсутствия сырья, а также уменьшить площадку под запас сырья перед цехом за счет складирования всей древесины в общих штабелях. Однако в некоторых случаях требуется раздельная обработка лесоматериалов, а следовательно, и их раздельная подача в цех. Такая необходимость возникает при требовании получать на выходе из цеха готовую продукцию (например, технологическую щепу) из определенной породы древесины.

По количеству технологических потоков лесообрабатывающие цехи подразделяют на однопоточные и многопоточные. В многопоточных существует взаимосвязь между потоками, что позволяет равномерно загрузить станки на отдельных операциях и сократить простои цеха.

С основными технологическими линиями лесопромышленного склада цехи могут быть связаны через систему транспортеров или кранов и автопогрузчиков. Способ взаимосвязи лесообрабатывающего цеха с основными технологическими линиями зависит от его расположения на территории нижнего лесопромышленного склада и объема поступления сырья к цеху.

Основными операциями, выполняемыми внутрицеховой транспортной системой ГТП, являются: перемещение заготовок, деталей и полуфабрикатов по территории цехов и между участками производства, подача обрабатываемых деталей на рабочую

позицию (приемное устройство) технологического оборудования, транспортировка готовых изделий на склад, а также подача инструмента к обрабатывающим станкам. Транспортные системы ГТП различаются как по конструкции, так и по способу размещения (рис. 3).

Традиционно применяемые конвейерные системы относительно дешевы и просты по конструкции, инвариантны к изменению номенклатуры выпускаемых изделий. Однако они требуют ориентированного размещения станков в строгой последовательности одного относительно другого.

Главное преимущество подвесных транспортных систем – в более рациональном использовании производственных площадей в сравнении с напольными средствами. Вместе с тем напольные транспортные средства (обычно самодвижущиеся тележки, снабженные локальными системами управления) отличаются высокой гибкостью и надежностью, высокой точностью позиционирования, вариантностью траекторий движения.

Применительно к лесообрабатывающим цехам заслуживают внимания подвесные транспортные средства, имеющие возможность доставлять груз в любую точку производственной площадки. Такому условию отвечает, например, мостовой кран,

снабженный автоматизированным захватным устройством. Это позволит размещать станки в любой (наиболее выгодной) последовательности, обеспечит их практически независимую работу друг от друга и наиболее рациональное использование производственных площадей.

Разработанная классификация ГТП лесообрабатывающих цехов позволяет определить основные характеристики цехов и воспользоваться ими при анализе и моделировании рассматриваемых технологических процессов.

Ниже для примера приведены схемы лесообрабатывающих цехов с гибкими технологическими процессами. На рис. 4 приведена схема комбинированного цеха на базе ленточнопильных станков с напольной внутрицеховой транспортной системой. Гибкость технологического процесса обеспечивается за счет возможности распиловки пиловочного и низкокачественного сырья в общем технологическом потоке, что позволяет полностью загрузить оборудование основного потока и переработать низкокачественные бревна на пиломатериалы и технологическую щепу. Для полной загрузки рубительной машины предусматривается подача в цех по дополнительному потоку тонкомерного долготья и короткомерных лесоматериалов.

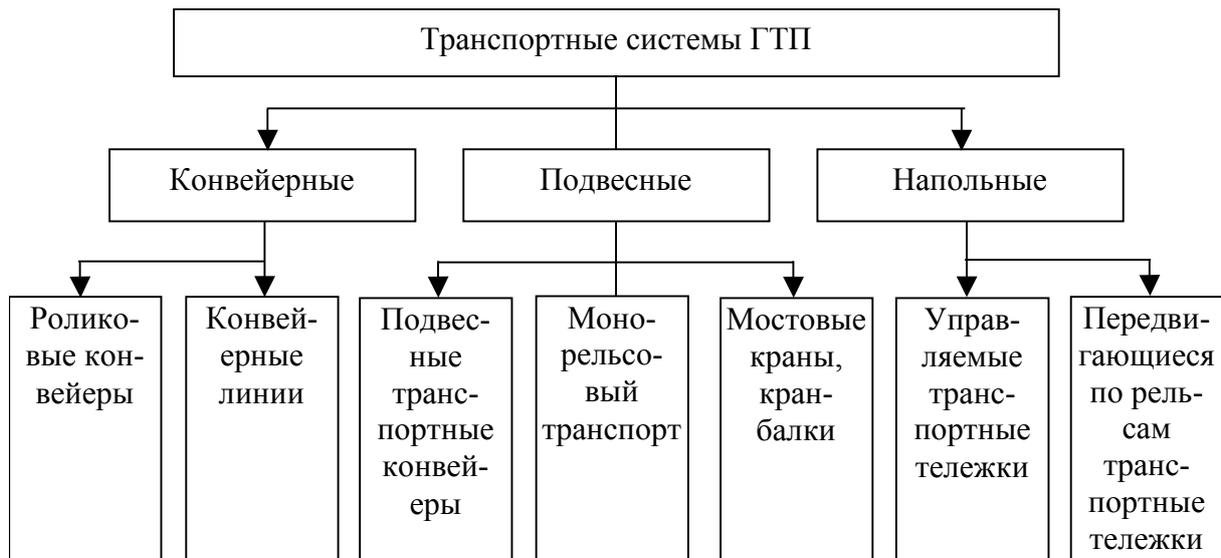


Рис. 3. Классификация транспортных систем ГТП

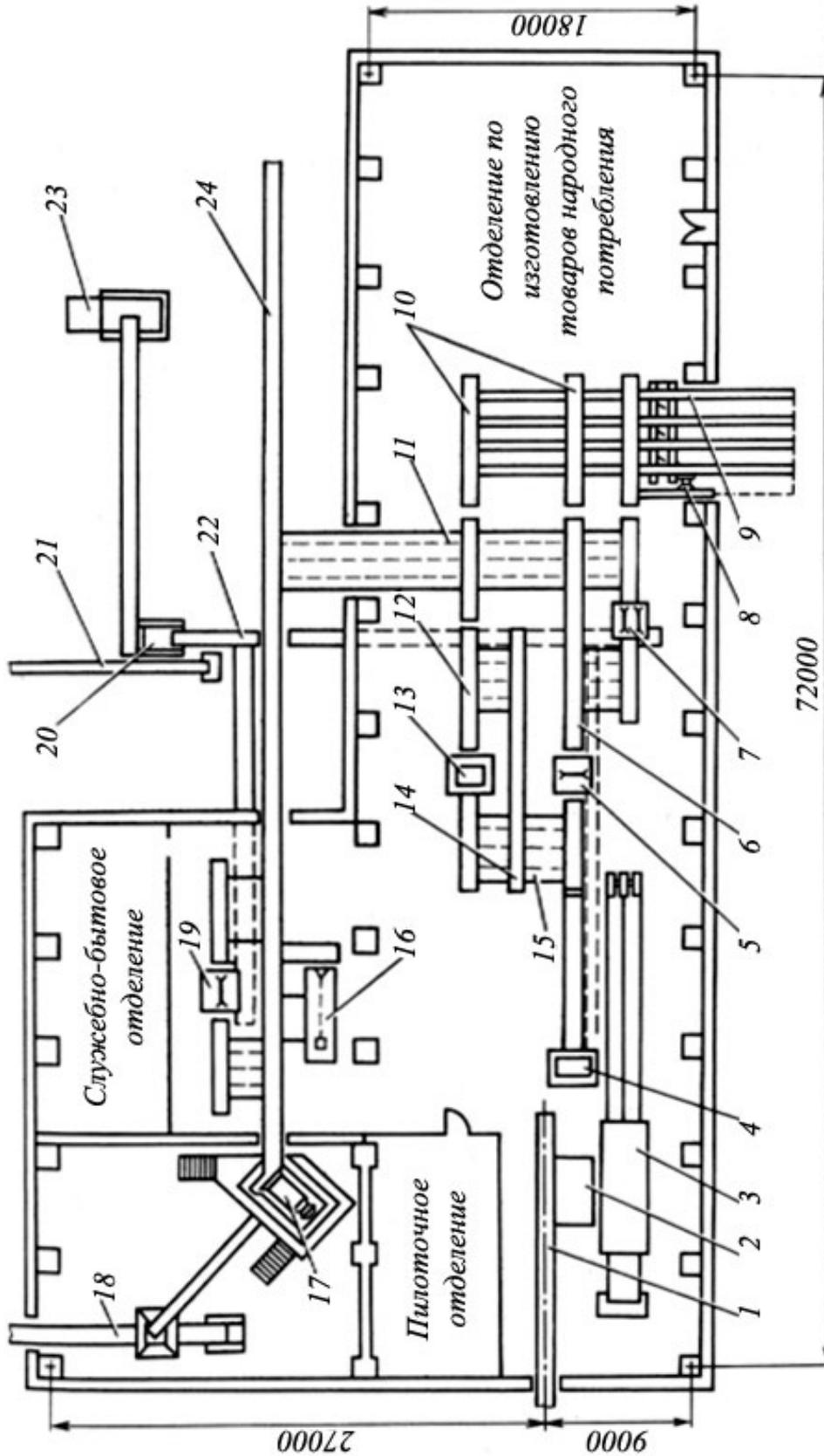


Рис. 4. Технологическая схема комбинированного лесобработывающего цеха на базе ленточнопильных станков: 1 – подающий лесогранспортер; 2 – буферное устройство; 3 – тележка; 4 – ленточный станок ЛБ-150; 5 – поперечный лесогранспортер; 6 – ленточный станок ЛД-125; 7 – лесогранспортер для возврата брусков для дальнейшего раскря; 8 – торцовый станок; 9 – роликостанок; 10 – поперечный лесогранспортер; 11 – торцовый станок; 12 – торцовое устройство; 13 – торцовый станок; 14 – торцовый станок; 15 – торцовый станок; 16 – торцовый станок; 17 – рубильная машина; 18 – ленточный конвейер для выноса пиломатериалов; 19 – продольный лесогранспортер; 20 – сортировка опилок; 21 – ленточный конвейер для опилок; 22 – погрузчик скиповый ПС-3; 23 – ленточный конвейер для выноса опилок и мусора; 24 – сортировка опилок; 25 – круглопильный станок

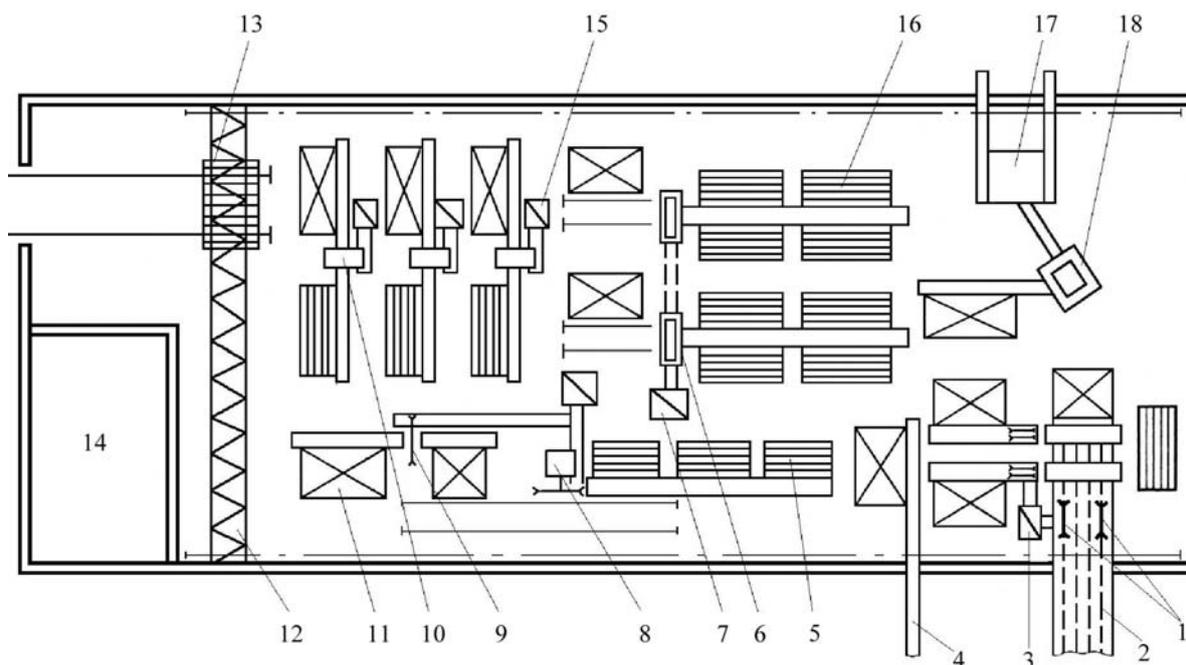


Рис. 5. Технологическая схема лесопильно-шпалорезного цеха: 1 – торцовочные пилы; 2 – поперечный сортировочный лесотранспортер для пиломатериалов; 3 – обрезной станок; 4 – сортировочный лесотранспортер для шпал и брусьев; 5 – лесонакопитель; 6 – лесопильная рама; 7 – контейнер для отходов; 8 – шпалорезный станок; 9 – пила для раскряжевки шпальника; 10 – окорочный станок; 11 – питатель (разобщик) для пачек сырья; 12 – мостовой кран; 13 – механизированная вагонетка для подачи пачек сырья и приема контейнеров с отходами; 14 – вспомогательные помещения; 15 – сортировочная установка для щепы; 16 – рубительная машина для горбылей и реек

На рис. 5 приведена схема лесобработывающего цеха с гибким технологическим процессом, в котором переместительные операции выполняются мостовым краном, оснащенный грейферным захватом. Технологические потоки в таком цехе организованы по схеме «склад заготовок – станок – склад заготовок». Размещение станков может быть произвольным. Однако их групповое размещение предпочтительнее, т.к. можно осуществить многостаночное управление одним оператором. Гибкость технологического процесса обеспечивается за счет возможности обработки в цехе пиловочного, шпального, балансового и низкокачественного сырья на пилопродукцию (пиломатериалы и шпалы) и технологическую щепу. Причем маршруты обработки древесного сырья могут оперативно меняться в зависимости от изменения состава обрабатываемого сырья и спроса на лесопродукцию. При этом достигается равномерная загрузка применяемого оборудования и наиболее полное, эффективное использование древесного сырья.

Предложения по организации гибких лесобработывающих производств могут быть использованы при проектировании новых и реконструкции действующих лесопромышленных предприятий. Кафедра технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ располагает необходимыми для этого разработками и готова к сотрудничеству с заинтересованными организациями.

Библиографический список

1. Емельянов, С.В. Управление гибкими производственными системами. Модели и алгоритмы / С.В. Емельянов. – М.: Машиностроение. – Берлин: Техник, 1987. – 366 с.
2. Редькин, А.А. Структура современного нижнего лесопромышленного склада / А.А. Редькин, А.А. Шадрин // Лесная пром-сть. – 2005. – № 2. – С. 8–10.
3. Редькин, А.К. Технология и проектирование лесных складов / А.К. Редькин и др. – М.: Экология, 1991. – 288 с.
4. Шадрин, А.А. Комбинированные лесобработывающие цехи лесозаготовительных предприятий / А.А. Шадрин : сб. науч. тр. Минлесхоз РСФСР. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – С. 173–176.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАНАТНОЙ ПОДТРЕЛЕВКИ

А.Ю. ШИРНИН, *асп. каф. эксплуатации машин и оборудования МарГТУ*

Получен патент [1] на способ и машину для трелевки. Согласно предлагаемому способу трелевки ее осуществляют следующим способом.

Машина, например, самоходное шасси со смонтированным на ее раме оборудованием, заезжает на лесосеку с поваленными деревьями и закрепляет устройством, установленным на машине (например, стрелой), опорный блок с пропущенным через него грузонесущим канатом на стволе одного из оставленных деревьев-семенников (мачте). Далее чокеруют чокерами поваленные деревья или хлысты; чокеры соединены с грузонесущим канатом известным способом, конец которого закреплен на барабанах лебедки, установленной на машине. После включения лебедки зачокерованные деревья формируются в пачку и трелюются к мачте, где происходит их отцепка. Далее цикл повторяется до тех пор, пока не будут подтрелеваны все деревья в секторе за мачтой на длину грузонесущего каната. Описанный цикл по существу является подтрелевкой. В дальнейшем согласно [1] пачки трелюются при помощи смонтированной на шасси стрелой с пачковым клещевым захватом на верхний склад.

Предлагаемый комбинированный способ трелевки снижает поврежденность почвы и подроста на лесосеке трелевочными машинами.

Целью экспериментальных исследований является определение технологических параметров процесса канатной подтрелевки при переменных значениях высоты расположения опорного блока на мачте и объема трелеваемой пачки.

Для этой цели использовалась лебедка ТЛ-7. Эксперименты проводились в Республике Марий Эл, в Килемарском районе, в муниципальном предприятии «Русь», в квартале № 119 Визимьярского лесничества.

Грузонесущий канат лебедки (рис. 1) пропускается через опорный блок, прикрепленный к мачте (рис. 2). К концу каната прикреплены чокеры, с помощью которых чокеруются хлысты и подтрелевываются к дереву. На рис. 3 изображен момент отрыва переднего конца пачки хлыстов от земли. После этого момента в тяговом канате возникает вертикальная составляющая силы натяжения, с помощью которой процесс трелевки не может быть нарушен наземными препятствиями (пень, обломок ствола и неровности грунта). Расстояние от точки отрыва переднего конца пачки до мачты является важным технологическим параметром, обеспечивающим безопасность и экологичность подтрелевки.

Было стреловано 68 пачек хлыстов (60 пачек за вершины и 8 пачек за комли). Подтрелевка осуществлялась на трех высотах подвески блока: 4, 6 и 8 метров. Данные о подтрелевке комлями вперед не являются статистически корректными, тем не менее они дают представления о различиях между подтрелевкой комлями и вершинами вперед. Так, например, при трелевке за комли на высоте 4 м и при объеме пачки хлыстов $2,66 \text{ м}^3$ расстояние от места подъема переднего конца пачки до мачты – 44 м, а при трелевке за вершины на высоте 4 м и при объеме пачки хлыстов $2,64 \text{ м}^3$ расстояние от места подъема переднего конца пачки до мачты – 60 м.

При проведении исследований проводился хронометраж, измерялся диаметр в комлевой части и длина хлыста, длина подтрелевки, сила натяжения каната и расстояние от места начала подъема переднего конца пачки до мачты.

Подтрелевывались деревья в диапазоне изменения объема пачки хлыстов от 1,3 до $6,6 \text{ м}^3$ трех пород (береза, ель, липа).

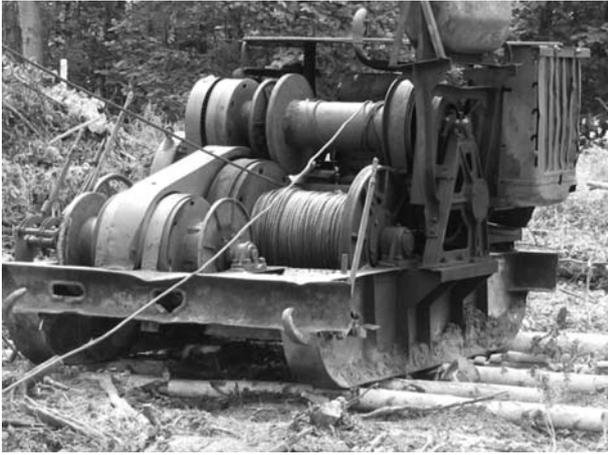


Рис. 1. Лебедка ТЛ-7



Рис. 2. Опорный блок



Рис. 3. Момент начала отрыва переднего конца пачки хлыстов от земли

При получении зависимостей на основе экспериментальных данных были заложены два вида уравнений: полином 1-й и 2-й степени. Определяющим в выборе, какую именно функцию взять за основу, стал коэффициент корреляции (r). Поскольку коэффициент корреляции у полиномов 1-й степени меньше, были взяты полиномы 2-й степени. Зависимости натяжения каната (F) от объема трелюемой пачки (M)

$$F = 0,1078 + 0,4427 * M - 0,0109 * M^2 \quad (r = 0,998602), \quad (1)$$

$$F = 0,3561 + 0,2036 * M + 0,015 * M^2 \quad (r = 0,995686), \quad (2)$$

$$F = 0,3861 + 0,2628 * M + 0,0053 * M^2 \quad (r = 0,997354). \quad (3)$$

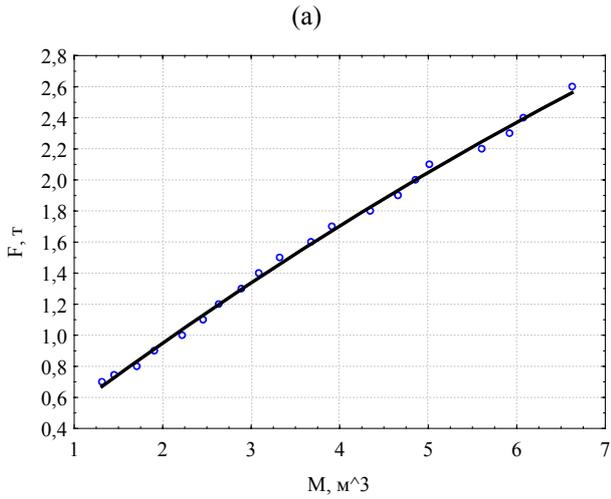
Зависимости расстояния от точки отрыва переднего конца пачки до мачты (L) от объема пачки (M)

$$L = 63,4996 + 0,6109 * M - 0,6139 * M^2 \quad (r = 0,990321), \quad (4)$$

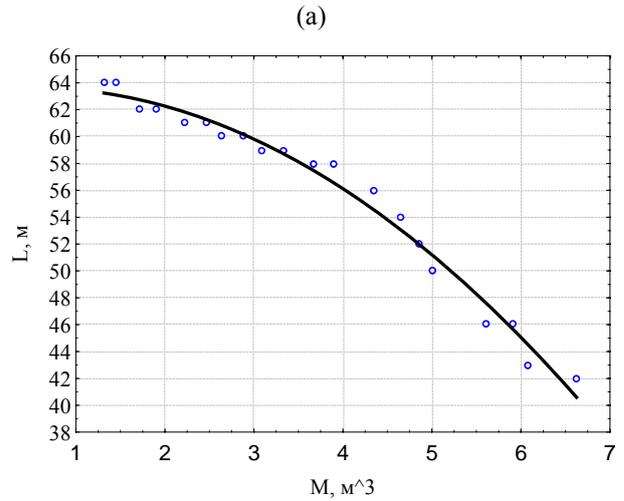
$$L = 83,878 - 2,4755 * M - 0,0942 * M^2 \quad (r = 0,99676671), \quad (5)$$

$$L = 110,6889 - 5,7677 * M + 0,0318 * M^2 \quad (r = 0,997744). \quad (6)$$

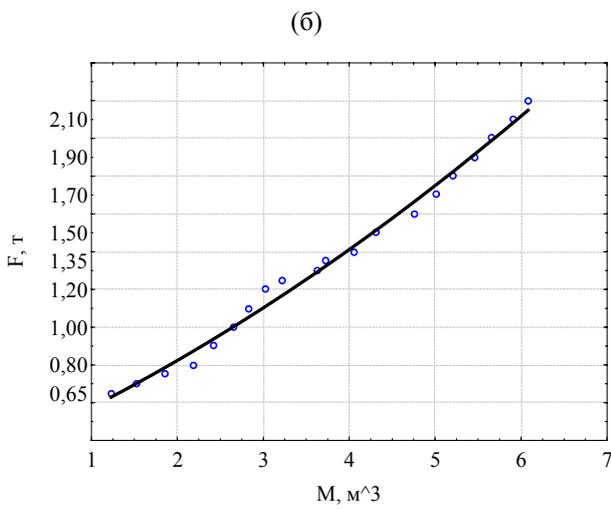
На основе этих уравнений были построены графики (рис. 4, 5).



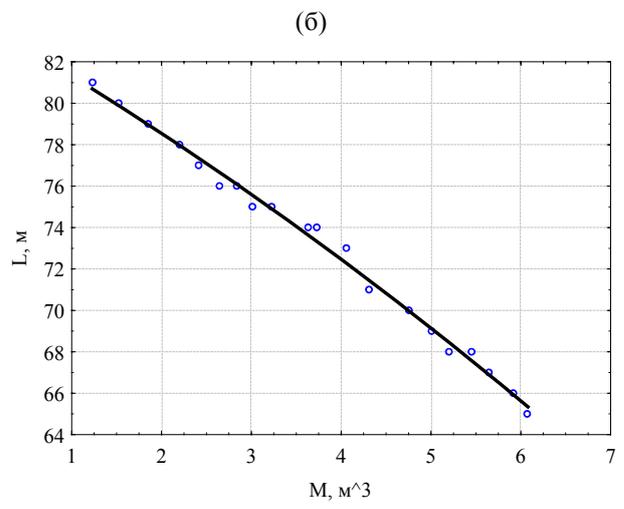
(a)



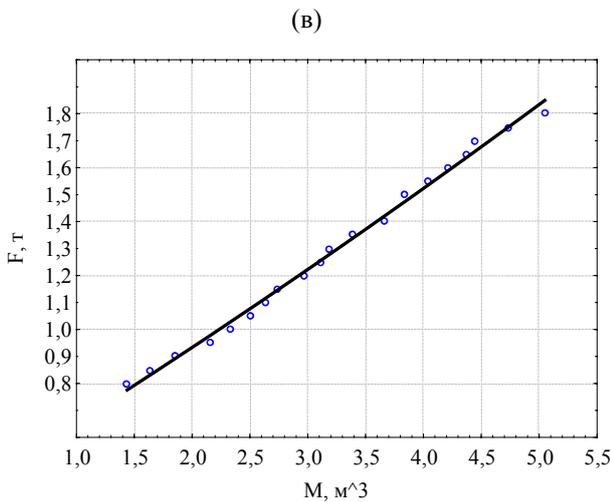
(a)



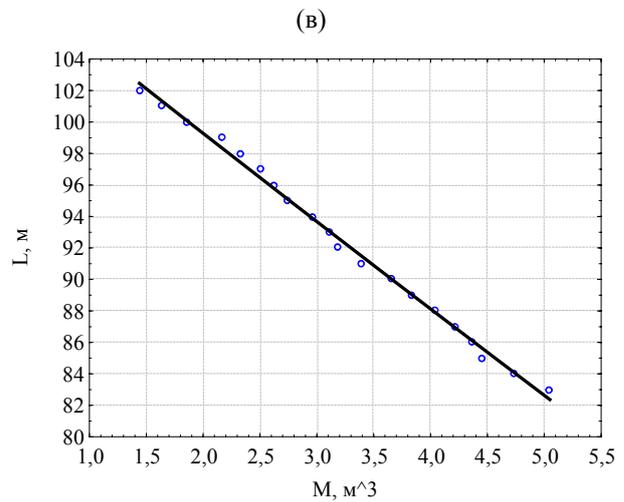
(б)



(б)



(в)



(в)

Рис. 4. Графики зависимости силы натяжения каната (F) от объема пачки хлыстов (M) при высоте подъема блока: (а) – 4 м, (б) – 6 м, (в) – 8 м

Рис. 5. Графики зависимости расстояния от места подъема переднего конца пачки хлыстов до мачты (L) от объема пачки хлыстов (M) при высоте подъема блока: (а) – 4 м, (б) – 6 м, (в) – 8 м

Выводы

1. Зависимость силы натяжения каната от объема пачки хлыстов выражается полиномом 2-й степени (уравнения 1–3). Причем чем выше высота подвески блока, тем меньше сила натяжения каната.

2. Зависимость расстояния от места подъема переднего конца пачки до мачты от объема пачки хлыстов выражается полиномом 2-й степени (уравнения 4–6). Причем чем выше высота подвески блока, тем больше расстояние от места подъема переднего конца пачки до мачты.

3. При средней высоте древостоя 20 м с помощью подтрелевки можно обрабаты-

вать заболоченные лесосеки с шириной делянки от 104 до 148 м при высоте подвески блока 4 м, от 150 до 182 м – 6 м, от 186 до 224 м – 8 м.

4. Новизной данных исследований статьи является полученные корреляционные зависимости: силы натяжения каната (F) от объема пачки хлыстов (M) и расстояния от места подъема пачки до мачты (L) от объема пачки хлыстов (M).

Библиографический список

1. Патент №2224417 РФ, МКИ 7 А 01 G 23/02. Способ и машина для трелевки / Ю.А. Ширнин, Я.И. Шестаков, А.Ю. Ширнин – Оpubл. 27.02.2004, Бюл. № 16. – 8 с.

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Н.К. КЛИМУШЕВ, доц. каф. технологии и машин лесозаготовок УхтГТУ, канд. техн. наук

Лесозаготовительное производство (ЛЗП) отличается существенная неравномерность его осуществления. Большинство технологических процессов ЛЗП осуществляется вне помещений в условиях непосредственного воздействия на людей и технику большого комплекса природно-климатических факторов. Помимо воздействия природных факторов неравномерность ЛЗП усиливается в связи с рассредоточенностью технологических операций на большой территории и разнородностью применяемых систем машин и технологических процессов на разных фазах производства.

В силу неравномерности осуществления ЛЗП, а также в плановом порядке на стыках операций формируются запасы лесоматериалов. В современных условиях организации ЛЗП о взаимном соответствии интенсивностей осуществления смежных операций говорить не приходится, поэтому уровень запасов лесоматериалов непостоянен и «пульсирует» во времени. При этом наличие запасов позволяет выполнять следующие операции, а отсутствие – приводит к остановкам последующих звеньев технологического про-

цесса. Создание запасов лесоматериалов оказывается, как правило, более выгодным мероприятием, нежели создание резервов машин, механизмов и рабочих или снижение интенсивности работ на последующих операциях в условиях дефицита запасов.

Причины неравномерности носят как случайный, так и систематический характер. Неравномерность обусловлена причинами природно-климатического, организационного и технико-технологического характера, грунтово-почвенными условиями делянок и лесовозных дорог, а также в силу особенностей машин и механизмов, различающимися таксационными показателями и физико-механическими свойствами древостоя на различных лесосеках и в разное время года и др.

Характерной особенностью ЛЗП является ярко выраженная сезонная неравномерность производственного процесса лесозаготовок и наличие межсезонных перерывов в работе лесовозных дорог и порой на лесосечных работах обусловленная невозможностью организации транспортных перевозок в периоды весенней и осенней распутиц.

Классификация неравномерности ЛЗП

Вид неравномерности	Временные интервалы проявления неравномерности	Формы проявления	Характер проявления неравномерности
Операционная	Минуты, десятки минут	Простои на последующих технологических операциях из-за недостатка межоперационных запасов лесоматериалов	Случайный, обусловленный комплексным воздействием ряда факторов: физико-механическими параметрами древесного сырья, характеристиками машин и механизмов, особенностями технологических операций, погодно-климатическими условиями и др.
Организационно-техническая	Смена, неделя, декада, месяц	Целосменные и более длительные простои из-за недостатка запасов лесоматериалов	Предопределенный, систематический, плановый в сочетании с действием комплекса случайных факторов
Сезонная	Сезон	Длительные простои на последующих фазах и операциях при сезонных перерывах при отсутствии межсезонных запасов лесоматериалов	Проявление закономерно, продолжительность случайна в некотором ограниченном диапазоне времени года

Основные проявления неравномерности лесозаготовительного производства можно объединить в три основные группы:

- 1) организационно-техническая неравномерность;
- 2) операционная неравномерность;
- 3) сезонная неравномерность.

Предлагаемая классификация неравномерности лесозаготовительного производства по основным видам представлена в табл. 1.

Факторы и причины организационно-технической неравномерности носят в основном систематический, предопределенный (плановый) характер. К ним относятся разноуровневые режимы и интенсивности работ на смежных операциях технологического процесса в разные периоды года по технологическим, климатическим, лесохозяйственным, организационным и др. причинам, ввод или выбытие производственных мощностей, изменения организационного характера, например, поступление или переводы рабочих с одних видов или участков работ на другие, изменение коэффициентов сменности или режимов работ и др. На систематический характер таких факторов накладываются слу-

чайные причины, вызывающие отклонения планируемых работ в ту или иную сторону.

Действие причин организационно-технического характера отражается прежде всего через сменные, суточные, декадные, месячные объемы работ при их взаимном несоответствии и изменение уровней запасов лесоматериалов между смежными технологическими процессами и операциями. Организационно-техническая неравномерность проявляется на основных процессах и операциях ЛЗП: заготовке, вывозке, раскряжке, погрузке древесины – и аппроксимируется, как правило, нормальным или усеченным нормальным распределением [1–4].

Операционная неравномерность отражается в параметрах потоков лесоматериалов, транспортных потоков, потоков отказов, времени обслуживания и др. при взаимном несоответствии интенсивностей выполнения смежных технологических операций и изменении уровней межоперационных запасов лесоматериалов. Операционная неравномерность проявляется на всех смежных операциях технологических процессов и аппроксимируется, как правило, законами Пуассона, экспоненциальным, Эрланга, нормальным [1–4].

Методы моделирования неравномерности ЛЗП

Вид неравномерности	Законы распределения	Методы моделирования
Операционная	Пуассона, Гаусса, Эрланга, экспоненциальный	Теория массового обслуживания, имитационное и статистическое моделирование
Организационно-техническая	Нормальное, усеченное нормальное, Пуассона, другие	Имитационное, статистическое, нейро-нечеткое моделирование, эвристические методы, аналитические методы, методы экспертных оценок
Сезонная	Нормальное, другие	Аналитические, эвристические методы, методы экспертных оценок, имитационное, статистическое, нейро-нечеткое моделирование

ЛЗП отличает ярко выраженная сезонная неравномерность, особенно характерная для лесосечных работ и вывозки леса. Такая неравномерность имеет объективные причины. Осенне-зимний и весенне-летний периоды резко различаются по условиям осуществления лесозаготовительного производства. Зима создает благоприятные условия для заготовки и транспортировки древесины по снегу и льду, а лето дает возможность сплавлять лес.

Сезонными принято называть периодические колебания, возникающие в зависимости от времени года. Сезонные колебания строго цикличны – повторяются через каждый год, хотя сама длительность и характер смены времен года имеют колебания.

Характер сезонной неравномерности лесозаготовительного производства в условиях работы в рыночной экономике имеет важное значение при организации лесозаготовок. Он является показателем взаимодействия природно-климатических условий лесозаготовок с организационно-техническими возможностями предприятия в условиях переменного спроса на лесоматериалы.

Представленные в [6] результаты свидетельствуют о высоком уровне сезонной неравномерности лесозаготовительного

производства в современных условиях. Ее следует учитывать при решении задач оптимизации лесозаготовительного производства, в частности, при решении задач управления запасами лесоматериалов.

Технологические операции и процессы, характеризующие ту или иную неравномерность, принято моделировать разными методами. Основные методы моделирования неравномерности ЛЗП представлены в табл. 2.

Библиографический список

1. Алябьев, В.И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках / В.И. Алябьев. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 232 с.
2. Багаев, Н.Г. Технологические запасы в лесной промышленности / Н.Г. Багаев. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 200 с.
3. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок / А.К. Редькин. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.
4. Взаимодействие фаз лесозаготовительного производства: автореф. дис... канд. тех. наук / Н.К. Климушев. – М., 1989. – 23 с.
5. Климушев Н.К. О классификации запасов лесоматериалов / Н.К. Климушев // Междунар. науч.-практ. конф. «Научно – технический прогресс в лесном комплексе». – Сыктывкар, 2000. – С. 42–43.
6. Климушев, Н.К. Сезонная неравномерность лесозаготовительного производства / Н.К. Климушев // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2005. – № 1–2. – С. 52–54.

АЭРОСТАТНЫЕ СИСТЕМЫ ТРЕЛЕВКИ – ВТОРОЕ РОЖДЕНИЕ

А.В. АБУЗОВ, *асп. ДВЛТИ, руководитель Дальневосточного центра воздухоплавания «Аэрос»*

В настоящее время лесозаготовительные предприятия России встречаются с рядом серьезных проблем, основной причиной которых являются технические сложности проведения трелевочного цикла в горном и сильно пересеченном рельефе, где традиционная техника не в состоянии вести лесозаготовки или же использование ее приводит к экономическим потерям и серьезным экологическим последствиям.

Все это приводит к тому, что лесозаготовки удаляются от населенных пунктов в поисках новых лесосек с более благоприятными условиями, при этом увеличивается расстояние вывозки древесины. Но, как уже известно, лесных площадей без труднодоступных мест становится с каждым годом все меньше и меньше.

Между тем на нетронутых горных склонах остается спелый лес высокого качества, который необходимо в какой-то мере выбирать искусственно, чтобы происходило омоложение лесфонда за счет естественного прироста, чтобы перестойный лес не превращался в сухостой и не был причиной пожаров, которые в горных условиях тушить невозможно.

Так как горные леса выполняют важные водоохранные и почвозащитные функции, то при создании и эксплуатации технологий для горных лесозаготовок, как, впрочем, и для равнинных, стоит учитывать важные экологические требования, которым должна соответствовать нововведенная техника.

Основными экологическими требованиями при проведении лесозаготовок на сегодняшний день являются:

- максимальное сохранение растущих деревьев и подроста;
- сохранение почвенного покрова, особенно близ водоемов;
- шумозащищенность работ для обитателей леса.

Вышеперечисленные доводы влекут за собой внедрение в процесс горных лесозаготовок способов воздушной трелевки.

В мире существует несколько видов воздушной трелевки – это вертолетная, подвесная канатная и аэростатная системы трелевки.

Вертолетная трелевка является производительной и экологически правильным методом трелевки, при этом расстояние трелевки в несколько раз превышает расстояние трелевки наземной техникой. Но основной и весьма весомый недостаток этого метода – это высокая себестоимость работ.

Канатные системы отличаются более низкой себестоимостью трелевочного процесса, но короткое расстояние трелевки, большое время подготовительных работ (монтаж и демонтаж), большая металлоемкость и некоторые ограничения в сильно пересеченном рельефе являются основными недостатками этих систем.

Аэростатные системы являются альтернативной технологией или средним звеном между вертолетной, канатной и наземной технологиями лесозаготовок.

Возникает вопрос: почему такая перспективная технология не получила массового распространения? Объяснений здесь несколько:

- основную конкуренцию имеющимся на тот момент технологиям аэростатные системы составляли в 60–70-е годы XX в. (речь идет о США и Канаде). Далее начинается постепенное вытеснение этого метода вертолетной и канатной трелевками. Связано это с тем, что то время, в отличие от канатной и вертолетной трелевок, аэростатная система не имела совершенствования. Промышленность еще не выпускала ни новых типов тканей, ни синтетических канатов, ни новых систем управления лебедками. К тому же, начиная с середины 70-х годов, начинается рост цен на газ гелий, а замены ему найдено еще не было.



Поэтому в течение двадцати с лишним лет аэростатная система не претерпевала никаких изменений и, как обычно, представляла собой аэростат луковичного типа, сделанный из прорезиненной хлопчатобумажной ткани с алюминиевым напылением, стальной трособлочной системой, которая приводилась в движение мощными (до 600 л.с.) дизельными лебедками.

Сейчас же, в настоящее время, при наличии современных материалов агрегатов управления и новых химических методов аэростатные системы выходят на более высокий и перспективный уровень развития. Хочется с твердостью сказать, что эта технология должна иметь «второе рождение».

Подтверждение этих слов было доказано испытаниями, проведенными под Хабаровском в 2002 г. специалистами Дальневосточного центра воздухоплавания «Аэрос».

Была испытана новая схема управления с использованием трех аэростатных лебедок, расставленных по треугольнику на расстоянии от 200 до 400 м друг от друга. Аэростатный носитель луковичной формы МТА-500 имел тяговое усилие 500 кг. Скорость перемещения составляла от 3 до 5 м/с. Погрешность при наводке и опускании грузовой подвески на бревно составила 1–3 м. Ветер при испытаниях достигал 10 м/с. Высота подъема МТА-500 составляла до 150 м. Место для проведения испытаний

было подобрано такое, чтобы была реально представлена картина труднопроходимой местности: болото, река, крутой склон.

Что же, собственно, представляет собою современная аэростатная система трелевки и в чем ее отличие от прошлых аэростатов?

Современная аэростатная система трелевки представляет собой совокупность нескольких технических элементов (рис. 1, 2):

1. Газовый аэростат в зависимости от ветровых условий в месте проведения лесозаготовок может быть «луковичной» или стандартной аэродинамической формы. Оболочка аэростата изготовлена из ткани на основе полиуретана. Эта ткань весьма долго способна удерживать газ (этот фактор в первую очередь отражается на себестоимости работ). Также она имеет большой ресурс службы и является простой в ремонте.

2. Канатно-блочная система состоит из синтетических канатов или стальных канатов, покрытых ПВХ, и пластиковых концевых и направляющих блоков. Также могут применяться блоки из металлопластика или мягкого металла. Использование современных канатов дает возможность увеличить грузоподъемность, расстояние трелевки и сопротивляемость аэростата ветровым потокам при неизменном объеме оболочки, а также облегчить и ускорить монтажный процесс подготовительных работ. Применение пластиковых или металлопластиковых

блоков устраняет истирание и быстрый износ синтетических канатов.

3. Гидравлические радиоуправляемые лебедки. В системе обычно три лебедки располагаются на участке в зависимости от рельефа местности и грамотности инженерного состава. От правильного расположения лебедок зависит вся работа системы. В процессе управления участвуют два оператора: первый – основной – на разгрузочном пункте, второй – чокеровщик на делянке – в месте загрузки аэростата. Каждый из операторов имеет свой радиопульт управления, завязанный на каждую лебедку, под оболочкой

аэростата находится основная передающая антенна. На пульте у основного оператора отражаются данные напряжений в канатах, скорость намотки и различные критические моменты (например, обрыв каната или остановка лебедки). Лебедки оборудованы гибкими амортизаторами для уменьшения нагрузки от динамических рывков. Все шкивы, выходные ролики и блоки лебедок также выполнены из пластика или металлопластика. Система радиуправления позволяет ускорить рабочий цикл, улучшает ориентацию оператора, повышает производительность, уменьшает количество персонала.

Вариант расположения лебедок при эксплуатации аэростатно-канатной системы

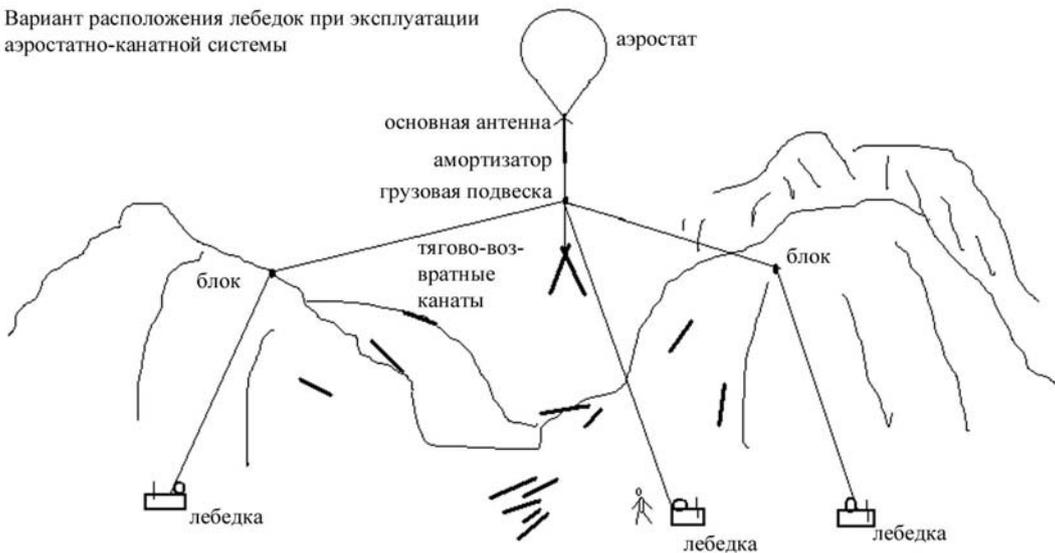


Рис. 1

Вариант использования лебедок, расположенных на полозьях и использующих принцип самоподтаскивания для перемещения по склону

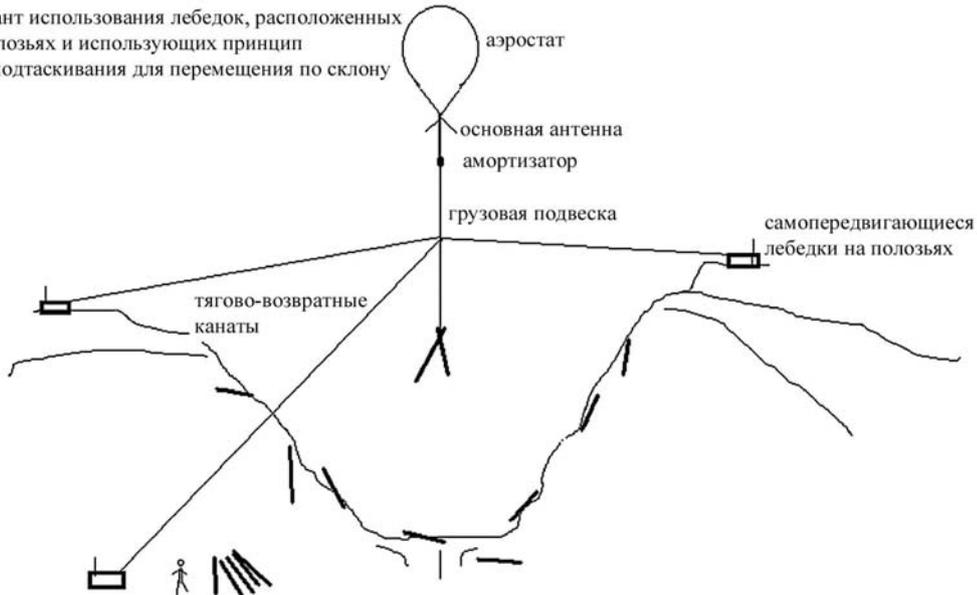


Рис. 2

Сравнение современных аэростатных систем трелевки с другими лесозаготовительными системами для горных лесозаготовок

Показатели	Валочно-пакетирующие машины с ВВК + Форвардер или Скидр	Полуподвесные канатные установки	Подвесные канатные установки	Вертолет	Аэростатные системы
Рейсовая нагрузка (в зависимости от грузоподъемности механизма), кг	3000–10000	1500–3000–6000–10000	3000–5000	3000–4000–20000	1500–3500–5000–7000–10000–15000
Сменная производительность (в зависимости от грузоподъемности и среднего расстояния трелевки до 500 м), м ³	До 200	При грузоподъемности 3 т: отечественные 40–50; зарубежные современные 80–140	При грузоподъемности 3 т: отечественные 35–40; зарубежные современные 70–100	На примере Ми-8МТВ, грузоподъемность 3 т, время работы 4 ч: 90–100	При грузоподъемности 3 т: 80–90. При грузоподъемности 10 т: 180–250
Количество обслуживающего персонала (включая вальщика-чокерощика), чел.	3	7	5	4	4
Возможное расстояние трелевки, м	300–500–700	300–550	500–1200	500–5000	500–2000
Строительство дополнительных подъездных усов и волоков	Да, необходимо	Да, необходимо	Да, необходимо	Нет	Не всегда
Способ рубки	Сплошной, выборочный	Сплошной, выборочный	Сплошной, выборочный	Выборочный, выборочно-групповой	Сплошной, выборочный, выборочно-групповой
Безопасность работ, %	Хорошая	Средняя	Средне-хорошая	Средняя	Хорошая
Товарный вид древесины на погрузочном пункте после трелевки	Хороший	Средне-удовлетворительный	Хороший	Отличный	Отличный
Экологичность процесса, процент уничтожения подроста, %	70	70	30	2–3	2–3
Влияние на почву, повреждение почвы, %	40–50	10–30	5–8	0	0
Возможность работы вдоль водоемов	Возможно, но нежелательно	Возможно, но нежелательно	Возможно	Возможно	Возможно
Шум, действующий на обитателей леса, %	100	40	20	100	5
Крутизна склона, град.	До 27	До 30	15–30	От 0 и выше, но в каньонах могут быть сложности	От 0 и выше
Возможность одновременной обработки двух склонов каньона с одной стоянки	Нет	Нет	Можно при дополнительном оборудовании. Сложно.	Да	Да
Возможность трелевки из-за склона с одной стоянки	Нет	Нет	Можно при дополнительном оборудовании	Да	Да
Необходимость очищения бурелома	Да	Да	Да	Нет	Нет

Показатели	Валочно-пакетирующие машины с ВВК + Форвардер или Скидр	Полуподвесные канатные установки	Подвесные канатные установки	Вертолет	Аэростатные системы
Возможность погрузки и разгрузки в автомобильный транспорт	Да	Нет	Да	Да, но очень дорого	Да
Возможность погрузки и разгрузки морского и речного транспорта	Нет	Нет	Да, но на короткое расстояние	Да, дорого	Да*
Возможность одновременной трелевки и погрузки в морской и речной транспорт	Нет	Нет	Нет	Да	Да
Ориентировочная себестоимость лесосечных работ (без подготовительных, без строительства подъездных путей и т.д.) при трелевке до 1000 м, долл./м ³	По данным разных предприятий 7–11	По данным разных предприятий 8–11	По данным разных предприятий 9–12	По данным разных предприятий 30–40	По данным разных предприятий 11–15
Зависимость от погодных условий	Дождь уменьшает проходимость	Нет	Нет	Туман, низкая облачность, ветер свыше, 14 м/с, сильный снег	Ветер свыше 14 м/с, сильный снег уменьшает грузоподъемность
Зависимость от перенагрузки работающих механизмов	Практически нет.	Тросо-блочная система.	Тросо-блочная система.	Высокая, ограничения по времени непрерывной работы.	Практически нет.
Металлоемкость конструкции	Большая	Большая, частая замена тросов	Большая, частая замена тросов	Большая	Только лебедочный механизм
Ресурс оборудования	Большой	Большой (лебедка)	Большой (лебедка)	Маленький	Большой
Монтажные и демонтажные работы по отношению к общему рабочему времени, проведенному на одной рабочей стоянке, пасеке, среднее расстояние трелевки 500 м, %	Отсутствуют	До 25	До 35	Отсутствуют	До 7
Возможная общая площадь при обработке с одной стоянки (пасеки), га	До 1,5 га	До 2,5 га	До 6 га	Не имеет значение, ограничение по экономическим соображениям	До 80 га
Возможность трелевки целых деревьев с соблюдением экологического эффекта.	Да, эффект слабый	Да, эффект слабый	Да, возможно, эффект средний	Да, возможно, эффект высокий	Да, возможно, эффект высокий
Стоимость системы с аналогическими техническими возможностями. (только новое оборудование), тыс. дол.	Комплекс (харвестер + форвардер): 500–700	При грузоподъемности 3 т: 80–180	При грузоподъемности 3 т: 150–250	На примере Ми-8МТВ: новый – 3500; после кап.ремонта – 1500	При грузоподъемности 3,5 т: 250–300

4. Между грузовой подвеской и оболочкой аэростата установлен гибкий амортизатор, смягчающий рывки аэростата после разгрузки или при порывах ветра.

5. Грузовая подвеска оснащена чокерами с радиоконтрольным управлением, это позволяет увеличить оперативность работ на разгрузке, уменьшается количество обслу-

живающего персонала, обеспечивается безопасность работ.

6. Заправка аэростата должна производиться не дорогим гелием, а водородом с добавками специального ингибитора, который устраняет опасные свойства этого газа. Чтобы этот водород был максимально дешев, можно использовать установки по получению активированного угля и пиролизного газа. В состав пиролизного газа входит водород от 12 до 20 % от объема. Существуют специальные установки по очистке водорода от примесей, эти установки необходимо использовать в совокупности с установками по получению пиролизного газа.

Преимущества и целесообразность применения аэростатно-канатных систем

Проведя анализ таблицы (из 28 признаков сравнения), были сделаны следующие выводы:

- валочно-пакетирующие машины имеют 13 положительных признаков сравнения (ППС);
- полуподвесные канатные системы имеют 8 ППС;
- подвесные канатные системы имеют 17 ППС;
- вертолетная трелевка имеет 17 ППС;
- аэростатные системы трелевки имеют 23 ППС.

Итак, видно, что воздушные системы трелевки имеют большое преимущество над использованием наземных и канатных средств лесозаготовки. Выбор между использованием воздушных средств трелевки «падает» на использование аэростатных систем, которые имеют над вертолетом следующее превосходство:

- более бесшумная система;
- лучшая безопасность труда;
- себестоимость работ в несколько раз меньше;
- меньшая металлоемкость;
- более длинный ресурс оборудования;
- более низкая стоимость системы.

Положительные качества аэростатно-канатных систем трелевки:

1. Рейсовая нагрузка или грузоподъемность аэростатных систем может варьиро-

ваться путем создания новых моделей аэростатного носителя. В отличие от вертолета, для создания которого требуется весьма огромные капиталовложения и много времени (несколько лет), аэростатный носитель значительно дешевле и быстрее в изготовлении по времени в несколько раз.

2. Расстояние трелевки значительно длиннее, чем при использовании наземной техники и канатных систем.

3. Способ рубки как сплошной, так и выборочный.

4. Значительно меньше приходится строить дополнительных волоков, подъездных путей и усов, чем при использовании наземной техники и канатных систем.

5. Товарный вид у древесины на погрузочном пункте отличный, т. к. она транспортируется по воздуху и имеется возможность аккуратного и медленного подъема и опускания.

6. Так как основной процесс трелевки ведется по воздуху, то максимально сохраняется подрост и другие растущие деревья, а также не происходит повреждение почвенного покрова.

7. Возможность работы системы вдоль водоемов без нарушения насаждений и почвы.

8. Возможность работы в каньонах, причем с одновременной обработкой двух склонов с одной стоянки.

9. Возможность трелевки из-за склона с одной стоянки.

10. Крутизна склона значения не имеет: работает как при пологой местности, так и при очень крутой. Трелевка производится как вверх по склону, так и вниз.

11. Возможность погрузки и разгрузки автотранспорта.

12. Возможность погрузки и разгрузки речного и морского транспорта при отсутствии причала.

13. Возможность одновременной трелевки и погрузки в речной и морской транспорт.

14. Подготовительные, монтажные и демонтажные работы занимают значительно меньше времени (в несколько раз), чем при использовании канатных систем.

15. Система имеет более низкую металлоемкость по отношению к другим трелевочным системам.

16. В отличие от канатных систем, аэростатная система имеет минимальные нагрузки на канаты.

Отрицательными качествами аэростатных систем в сравнении с наземными видами лесозаготовительной техники являются:

1. Более высокая себестоимость трелевочных работ, чем при использовании наземной и канатной техники.

2. Более уязвима для погодных условий.

3. При определенной силе и направлении ветра уступает в производительности.

4. По капиталовложениям уступает только канатным установкам.

Возможности по преодолению отрицательных качеств аэростатных систем

1. Себестоимость работ аэростатных систем в первую очередь зависит от стоимости подъемного газа, а также от частоты его подполнения в оболочку. Данная проблема имеет следующее положительное решение:

– необходимо заменить дорогой газ гелий менее дешевым (в несколько раз) водородом, но при этом необходимо использовать специальный ингибитор для нейтрализации опасных свойств водорода;

– для того чтобы газ в оболочке держался максимально долго, необходимо для изготовления оболочки применять современные ткани на полиуретановой основе, которые практически не пропускают газ;

– данные два нововведения позволяют значительно уменьшить себестоимость трелевочного процесса и приблизить ее к канатным установкам.

2. Для более удачного использования системы в плохих погодных условиях необходимо применение в качестве аэростатного носителя оболочки с более лучшими аэродинамическими качествами:

3. Для того чтобы увеличить производительность и возможности системы, необходимо:

– полностью отказаться от использования металлических канатов и перейти на более легкие и прочные синтетические канаты. Это позволит увеличить рейсовую нагрузку (грузоподъемность) при одинаковом объеме аэростата. Это также приведет к уменьшению себестоимости работ: так, при тех же затратах на газ и при том же количестве времени (что при использовании металлических тросов), аэростатная система будет иметь большую грузоподъемность. При увеличении полезной нагрузки можно будет увеличить расстояние трелевки, что предоставит большие возможности для системы;

– необходимо по максимуму использовать трех- и четырехлинейные системы управления, это дает значительно больший охват рабочей площади и уменьшит количество и время монтажных и демонтажных работ.

4. При условии, что аэростатные системы будут изготавливаться масштабно, а не штучно, это приведет к понижению себестоимости изготовления.

Вышеперечисленные предложения по улучшению возможностей аэростатных систем вполне реальны для их реализации в настоящее время, когда технический прогресс человечества имеет более широкие возможности, чем это было, например, в 60–70-х годах XX века. Поэтому создание и внедрение современных аэростатных систем трелевки имеет весьма перспективное будущее, которое непосредственно касается развития лесной отрасли России.

Библиографический список

1. Ковалев, А.П. Эколого-лесоводственные основы рубок в лесах Дальнего Востока / А.П. Ковалев. – Хабаровск: ФГУ «ДальНИИЛХ», 2004.
2. Вопросы совершенствования технологий и оборудования в лесопромышленном комплексе и строительстве : юбилейный сб. науч. тр. – Хабаровск: ХГТУ, 1998.
3. Мамедова, К.Р. Инструкция по проведению погрузочно-разгрузочных и трелевочных работ с использованием аэростатных носителей / К.Р. Мамедова. – Хабаровск: ДЦВ «Аэрос», 2000.
4. Michael, B. Lambert, Dale Hoke, "Lighter than air logging under multiple-televised ground control", Pacific Northwest Skyline Symposium, 1992.
5. Wyssen Skylines, Switzerland, Wyssen-Seilbahnen AG, 2004г.

СПОСОБ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ЛЕСНЫХ МАШИН

Ю.А. ШАМАРИН, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ,

А.В. СИРОТОВ, доц. каф. электроэнергетики лесных комплексов МГУЛ,

В.И. ПАНФЕРОВ, ст. преподаватель каф. электроэнергетики лесных комплексов МГУЛ

Надежность и экономичность работы машинотракторного парка в значительной мере зависит от технического состояния дизельной топливной аппаратуры (ДТА).

Техническое состояние топливной аппаратуры оценивается величиной единичной подачи, опережения и давления впрыска, неравномерностью распределения его по цилиндрам дизеля, началом действия регулятора и др.

Проведенные исследования показали, что основная доля отказов ДТА приходится на три ее элемента: насос, форсунку и линию низкого давления (таблица). При этом основная доля отказов приходится на топливные насосы высокого давления (ТНВД) – 64 % и на прецизионные детали – 51 %, в том числе на плунжерные пары – 23 %. Заклинивание и интенсивный износ плунжерных (как и других прецизионных) пар являются следствием использования загрязненной водой и механическими примесями дизельного топлива.

Известно, что прецизионные пары (плунжер – втулка, нагнетательный клапан – гнездо клапана, игла – корпус распылителя форсунки) имеют очень высокую чистоту поверхности и обычно подбираются инди-

видуально один к другому. В процессе работы абразивные частицы загрязнений топлива, проникая в ТНВД, изнашивают прецизионные пары, что в свою очередь приводит к нарушению подачи и расхода топлива, ухудшает пусковые и мощностные качества двигателя, что в итоге приводит к отказу машины.

Грамотно проведенная диагностика элементов ДТА позволяет принимать обоснованные решения при назначении сроков и объемов мероприятий технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время существуют два основных способа диагностирования нагнетательных клапанов в статических условиях и соответственно две разновидности технических средств, используемых для этой цели:

1. Оценка герметичности клапана по запирающему конусу и гидравлической плотности по разгружающему пояску клапана – путем измерения продолжительности в секундах падения давления технологической жидкости в аккумуляторе, за счет утечки жидкости в сопряжении «запирающий конус – седло клапана» и через зазор «разгружающий поясок – седло клапана» (Прибор КИ-1086);

Т а б л и ц а

Неисправности топливной аппаратуры

Узел	Виды неисправности	% от общего количества
Насос	Износ плунжерной пары; заклинивание плунжера во втулке	23
	Износ нагнетательного клапана	10
	Износ кулачкового вала и его подшипников	10
	Повреждение корпуса насоса	6
Форсунка	Износ толкателя и др. неисправности	15
	Закоксовывание распылителя; заклинивание иглы распылителя	18
	Нарушение герметичности	5
Линия низкого давления	Другие неисправности	4
	Износ подкачивающего насоса	5
	Износ перепускного клапана	4

2. Оценка герметичности по запирающему конусу – путем опрессовки клапана воздухом под давлением 0,4–0,5 МПа и проверки зазора по разгружающему пояску пневматическим длинномером (ротаметром).

Первый способ используется в основном в ремонтном производстве, второй – на заводах-изготовителях ДТА.

Оба эти способа имеют существенные недостатки.

Основным показателем работоспособности клапана является объем разгрузки. Существует расчетный (геометрический) и фактический объем разгрузки в реальных условиях работы клапана.

Для обеспечения качества работы насоса необходимо определить фактический объем разгрузки, который зависит от фактического хода разгрузки и зазора между пояском и поверхностью канала седла клапана.

В эксплуатации поясок изнашивается неравномерно: больший износ наблюдается на нижней части пояска.

Рассмотренные выше способы испытания клапана оценивают не фактический объем разгрузки, а лишь величину зазора в одном сечении.

Таким образом, имеет место значительная погрешность в оценке работоспособности клапанов, особенно бывших в эксплуатации.

Новый способ испытания клапана, обеспечивающий оценку технического состояния клапана по фактическому объему

разгрузки в условиях, максимально приближенных к реальным условиям работы клапана, заключается в том, что определяют разгружающую способность нагнетательного клапана по количеству технологической жидкости, вытесненной разгружающим пояском клапана. Причем с целью приближения условий испытания к реальным условиям работы клапана и повышения достоверности подают жидкость под нагнетательный клапан при давлении, обеспечивающем подъем клапана на регламентированную величину, и измеряют количество топлива, вытесненного разгружающим пояском клапана в полость под клапаном при его посадке.

Таким образом, предложенный способ наиболее полно приближен к реальным условиям работы, при этом автоматически воспроизводится такая же величина разгружающего хода клапана, что и в обычных условиях.

Погрешность измерения исходных параметров оценки технического состояния клапана, а также погрешность измерения параметров режима испытания клапана приняты аналогично установленным для контрольно-регулирующих стендов, используемых на заводах-изготовителях и ремонтных предприятиях.

Применение предлагаемого способа диагностирования на ряде лесозаготовительных предприятий показало его эффективность и позволило более рационально планировать мероприятия технического обслуживания и ремонта силовых агрегатов.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Ю.А. ШАМАРИН, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ,

А.В. СИРОТОВ, доц. каф. электроэнергетики лесных комплексов МГУЛ,

В.И. ПАНФЕРОВ, ст. преподаватель каф. электроэнергетики лесных комплексов МГУЛ

Известно устройство для оценки герметичности клапана по запирающему конусу с гидравлической жидкостью по разгружающему пояску клапана (паспорт 1086 ПС «Прибор КИ-1086» для испытания на-

гнетательных клапанов топливных насосов). Недостатком данного устройства является оценка не фактического объема разгрузки, а лишь величины зазора в одном сечении.

Предлагаемое новое устройство определяет разгружающую способность нагнетательного клапана по количеству технологической жидкости, вытесненной разгружающим пояском клапана. Причем с целью повышения достоверности путем приближения условий испытания к реальным условиям работы клапана подают жидкость под нагнетательный клапан при давлении, обеспечивающем подъем клапана на регламентируемую величину, и измеряют количество топлива, вытесненного разгружающим пояском клапана в полость под клапаном при его посадке.

Устройство содержит толкатель 3, представляющий собой кулачок, приводимый в движение внешним источником (привод 1) и плунжер 2, который совершает возвратно-поступательное движение во втулке 4, имеющей выпускное отверстие 5 с емкостью для технологической жидкости 7 и отсечное отверстие 6, которое запирается клапаном 18 под действием пружины 17 с выходом на измерительное устройство 8. В верхней части устройства находится нагнетательный клапан 10 с пояском 16, прижатый пружиной 13 и упором 15 к седлу 10.

Принципиальная схема нового устройства представлена на рис. 1.

Устройство работает следующим образом.

Плунжер 2 совершает возвратно-поступательное движение под действием привода 1 и толкателя 3 во втулке 4. При движении вниз, когда открывается впускное отверстие 5, технологическая жидкость из емкости 7 поступает в надплунжерное пространство 12. В этот момент отсечное отверстие 6 закрыто.

После движения вверх, после перекрытия впускного отверстия 5 плунжер 2 подает жидкость под клапан 10. Создаваемое при этом давление жидкости поднимает клапан, преодолевая сопротивление пружины 13. Поток жидкости, удерживая клапан в приподнятом положении, перетекает в полость 14 над клапаном и стекает в емкость 7. Заброс клапана ограничивается упором 15.

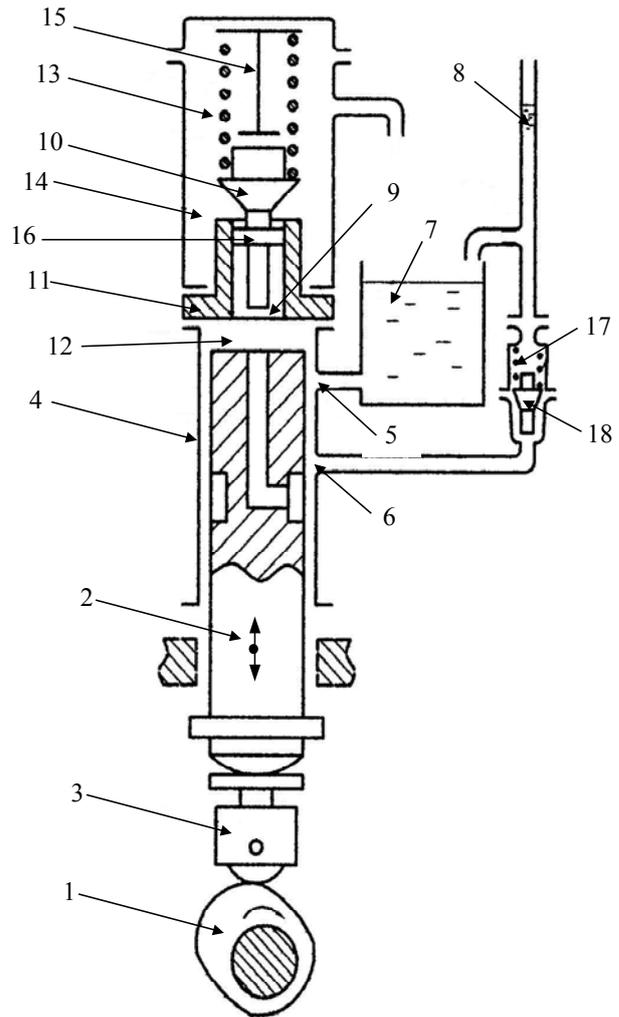


Рис. 1. Устройство для определения разгружающей способности нагнетательного клапана топливного насоса

Когда плунжер 2 достигает верхнего положения, открывая отсечное отверстие 6 втулки плунжера 4, давление жидкости под клапаном 10 резко падает, и клапан под действием пружины 13 опускается вниз. При этом разгружающий пояс 16 входит в канал седла 11, разъединяя полость над клапаном от надплунжерного пространства 12 и отсечного отверстия 6.

При посадке клапана после открытия отсечного отверстия 6 до входа разгружающего пояса 16 в канал седла 11 топливо, вытесняемое клапаном из седла, вытекает в полость над клапаном, поскольку давление топлива в надплунжерном пространстве 12 за счет пружины 17 клапана 18 измерительного устройства 8 выше, чем в полости 14 над испытываемым клапаном.

После входа разгружающего пояска 16 в канал седла 11 в полости 9 под клапаном повышается давление жидкости, которая открывает клапан 18 измерительного устройства, преодолевая сопротивление пружины 17.

Вытесняемая пояском 16 из канала седла 11 в полость под клапаном жидкость поступает в надплунжерное пространство 12, а оттуда через отсечное отверстие 6 – в измерительное устройство 8.

Погрешность измерения выходных параметров оценки технического состояния клапана, а также погрешность измерения параметров режима испытания клапана приняты аналогично установленным для контрольно-регулирующих стендов. Исходя из этого, предел допустимой погрешности измерения параметров (уточняемый при разработке технической документации) задан следующими величинами:

- частота рабочих ходов плунжера, $\text{мин}^{-1} - \pm 5$;
- число циклов $- \pm 1$;

- объем технологической жидкости в измерительном устройстве $- \pm 1$;
- температура технологической жидкости (топлива), $^{\circ}\text{C} - \pm 0,5$;
- давление технологической жидкости (топлива) на впуске, $\% - \pm 2,5$.

На предлагаемом устройстве были проведены испытания нагнетательных клапанов, снятых с двигателей СМД-18, отработавших не менее 1000 мото-ч в условиях лесхозов. Результаты испытания клапанов с различным техническим состоянием представлены в виде графиков.

На рис. 2 показана зависимость показателей фактического разгружающего объема V_{ϕ} , полученных на устройстве, от зазора S по разгружающему пояску, измеренному на ротаметре (способ, применяемый на заводах-изготовителях ДТА).

Связь между фактическим ходом разгрузки клапана и показателями, полученными на предлагаемом устройстве, приведена на рис. 3.

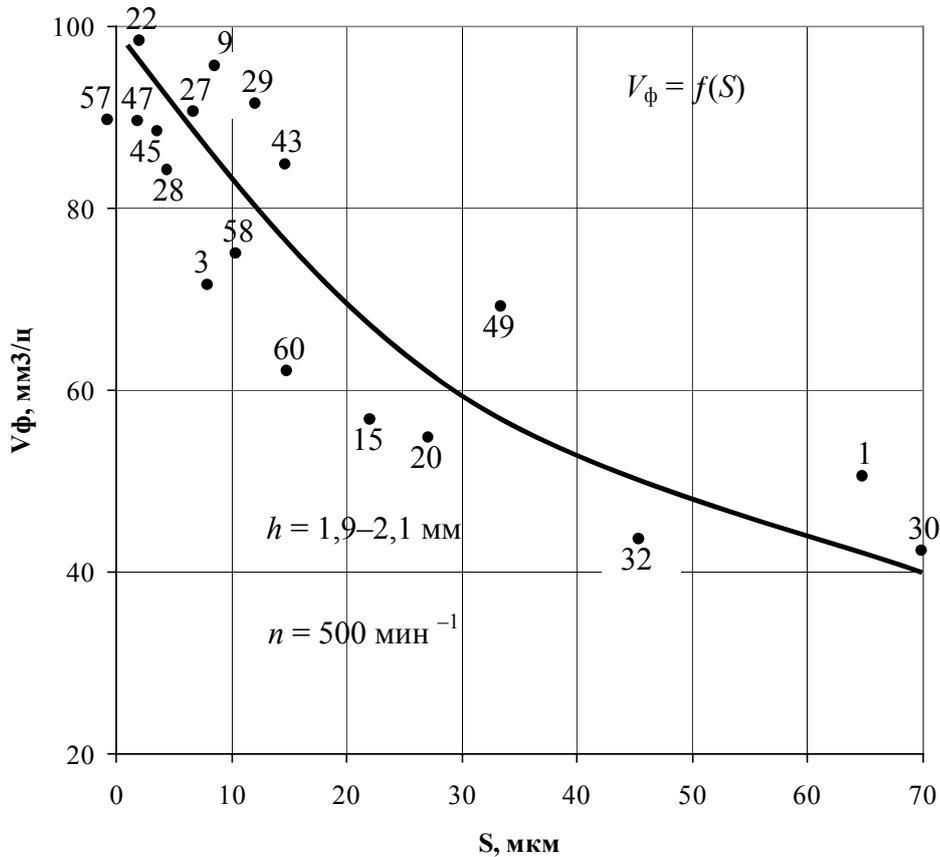


Рис. 2

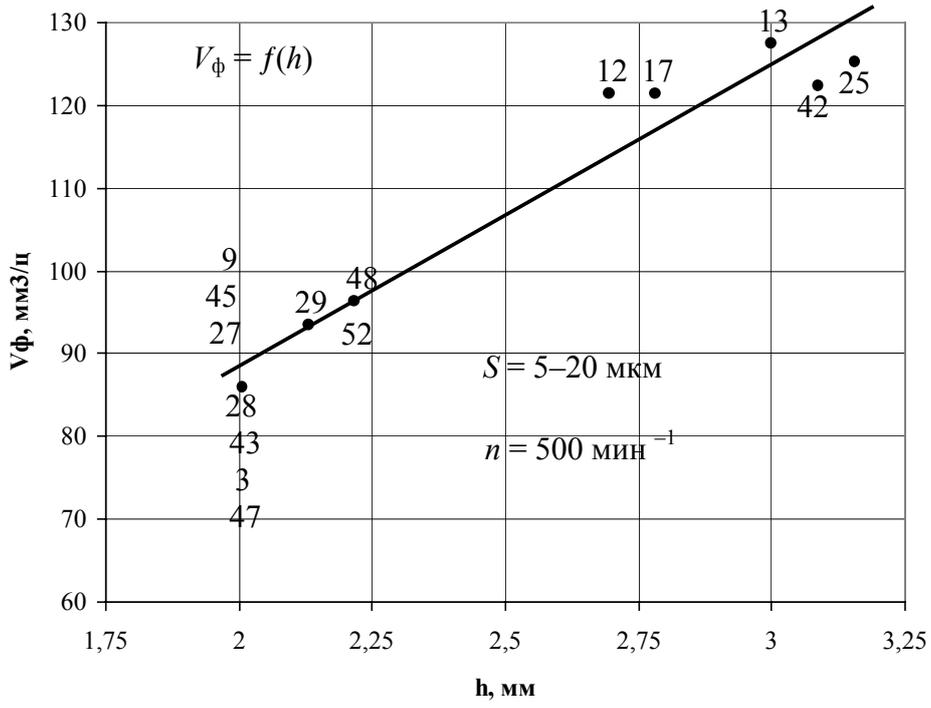


Рис. 3

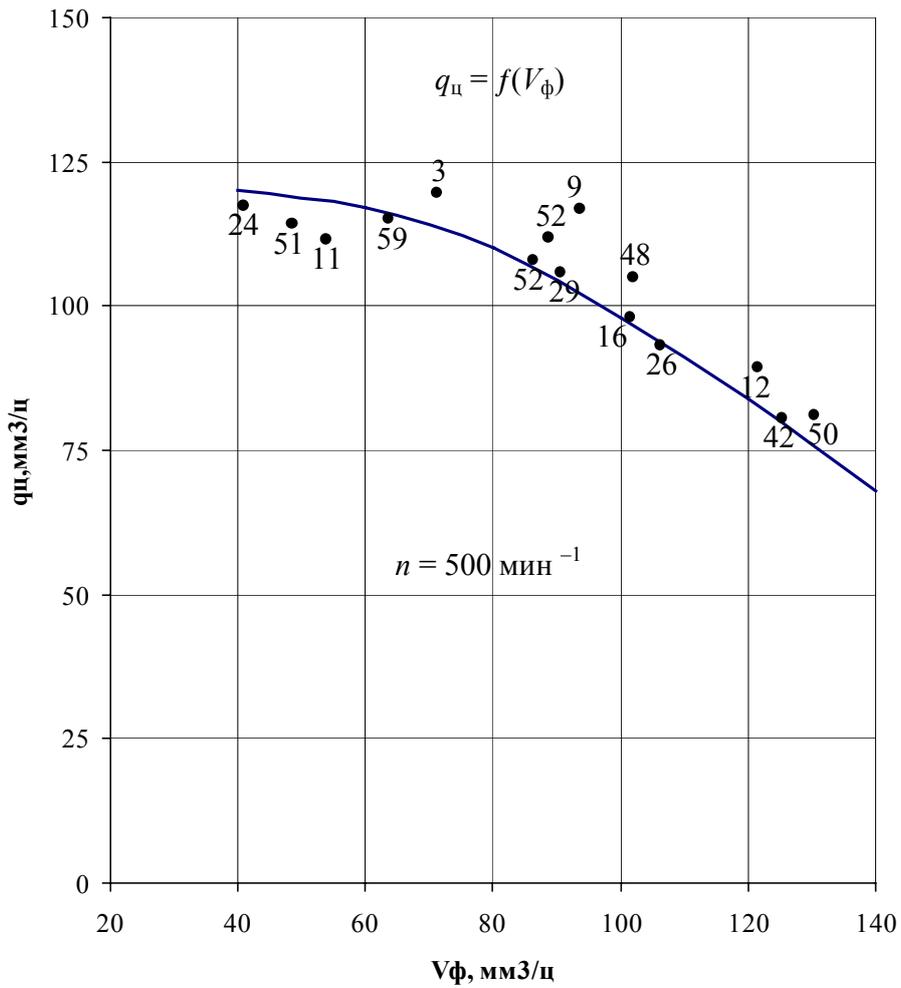


Рис. 4

На рис. 4 показана зависимость величины цикловой подачи топлива от показателей фактического объема разгрузки, полученных на устройстве.

Анализ результатов испытания новых и бывших в эксплуатации клапанов показал, что показатели, полученные на предлагаемом устройстве, значительно точнее характеризуют техническое состояние клапана (его разгружающую способность) по сравнению с показателями, полученными на ротаметре.

Максимальное отклонение цикловой подачи по показателям макета составило $\pm 7,5\%$, в то время как по показаниям ротаметра (по зазору) максимальное отклонение составило $\pm 20,0\%$. Это указывает на существенное преимущество заложенного нового способа и предлагаемого устройства испытания нагнетательных клапанов по сравнению с известными способами и устройствами, используемыми в настоящее время в ремонтном производстве и на заводах-изготовителях.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

А.В. КЛИМОВСКИХ, *асп. каф. теории и конструирования машин МГУЛ*

Для того чтобы выжить в острой конкурентной борьбе с иностранными производителями, в лесной технике требуется постоянно внедрять новейшие технологии, что позволит снизить себестоимость продукции с одновременным повышением качества. Такими технологиями на сегодняшний день является применение компьютерных программ автоматизированного проектирования, позволяющих наглядно представить и проанализировать изделие еще на этапе его разработки.

Исторически при рассмотрении задач взаимодействия круглых лесоматериалов с рабочими органами машин (грейферов, пачковых захватов трелевочных машин и лесопогрузчиков, стоек железнодорожных вагонов, лесовозных автомобилей, накопителей круглых лесоматериалов и др.) можно выделить два основных этапа. Первый – это применение механики сыпучей среды к исследованию данных вопросов (разработкой теории занимались Б.А. Таубер, А.А. Труфанов, В.В. Андронов, Г.Е. Шуть и др.). Второй этап – это создание более точной, но и более сложной вероятностной модели (Д.Г. Шимкович), которая получает все большее распространение в связи с быстрым развитием вычислительной техники.

В настоящей работе рассматриваются вопросы создания более полной модели

круглых лесоматериалов. Это достигалось в несколько этапов: сначала был проведен эксперимент с использованием натуральных бревен, далее производится его описание математическим аппаратом и окончательное формирование компьютерной модели в специализированной программе.

Инструментом в помощи при проведении данного исследования выступил современный прикладной пакет MSC.visual Nastran Desktop, который позволяет проводить полный анализ модели, включая динамический. Другими известными программными продуктами с подобными возможностями являются MSC.Adams, CosmosMotion и др.

Описание эксперимента

Первым шагом в построении компьютерной модели круглого лесоматериала является проведение эксперимента, при котором определяются его физико-механические характеристики. Физическими характеристиками контактных свойств моделей является коэффициент жесткости при вдавливании тел друг в друга, коэффициент демпфирования.

Определение параметров производилось в лабораторных условиях для трех типов моделей бревен, выполненных в масштабе 1:5 натуральной величины. Использо-

вание трех типов моделей бревен позволяло выделить влияние одних факторов при постоянстве других на физико-механические свойства исследуемых модельных бревен.

Эксперимент состоял в следующем. Было выточено модельное бревно из ели – деревянный цилиндр – сухой (влажностью $W = 6-8\%$), диаметром $D = 60$ мм и длиной 200 мм. Затем этот цилиндр бросался с высоты 50 см на поверхность, жесткость которой много раз больше жесткости древесины (в нашем примере станина деревообрабатывающего станка) (рис. 1).

Контактные свойства древесины изучались по результатам модельных экспериментов – количеству отскоков, соотношениям их высот после падения деревянного цилиндра и времени, затраченного на это падение. Съемка производилась на цифровой видеокамере с частотой кадров 24 Гц соответственно, промежутки времени между кадра-

ми были равны $1/24 \approx 0,04$ с (рис. 2). Далее исследовалось влияние таких факторов на контактные свойства бревен, как порода, длина и диаметр.

Для примера рассмотрим, как изучалось влияние диаметра бревна на контактные свойства древесины. Были выточены цилиндры с четырьмя диаметрами (28, 48, 60, 80 мм – на рис. 2 соответственно А, В, С и D). Для большей точности для каждого диаметра проводилось по 5 экспериментов и рассчитывалось среднеарифметическое значение высоты положения цилиндра. На основании этого строилась таблица (рис. 2), куда заносились все экспериментальные данные.

На основании таблицы строился график (рис. 3), где наглядно можно увидеть влияние диаметра цилиндра на высоту отскоков.

Аналогичным образом строились графики падения модельных бревен в зависимости от породы и длины.

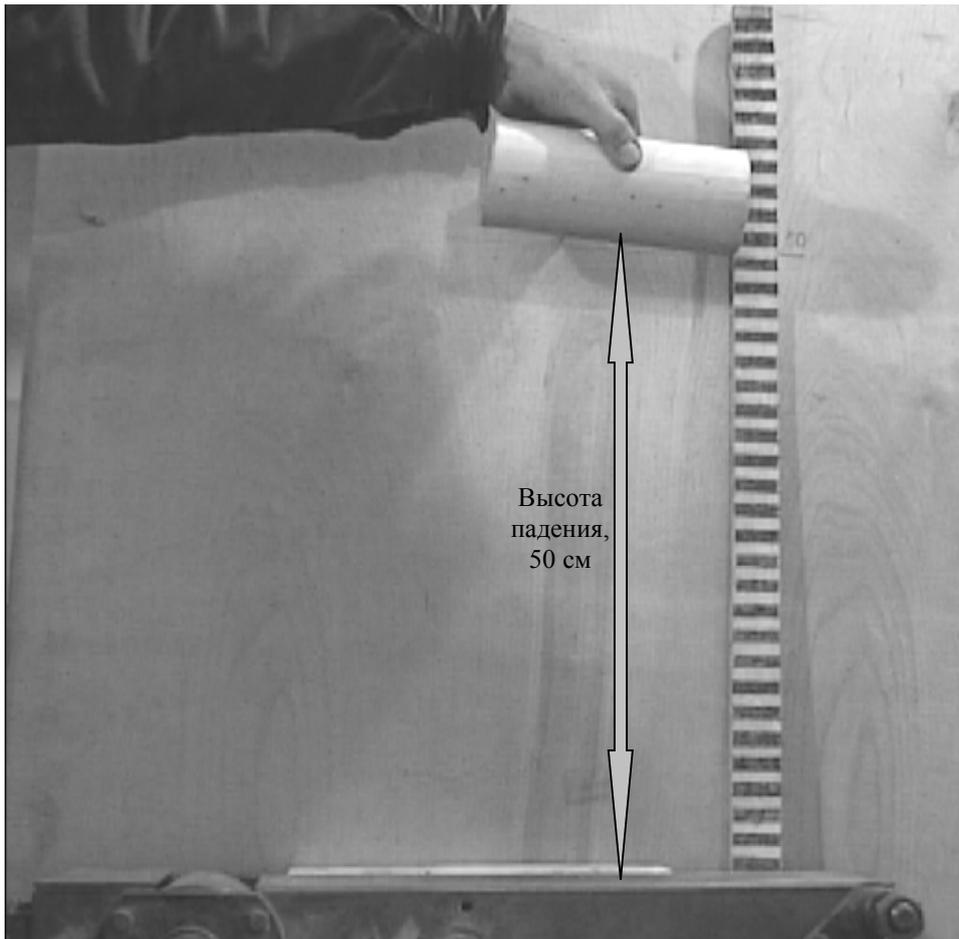


Рис. 1

Высота падения, см	Диаметр 28 мм		Диаметр 48 мм		Диаметр 60 мм		Диаметр 80 мм		Время, с	
	A :=		B :=		C :=		D :=		t :=	
0		0		0		0		0		0
0		50		50		50		50		0
1		49		49		49		49		0,04
2		48		46		48		48		0,08
3		44		40		46		42		0,12
4		39		34		41		37		0,16
5		32		25		35		28		0,2
6		23		12		26		17		0,24
7		12		0		16		6		0,28
8		0		1		3		0		0,32
9		2		4		0		3		0,36
10		6		5		5		4		0,4
11		9		9		8		6		0,44
12		10		9		8		6		0,48
13		10		8		7		5		0,52
14		8		5		3		3		0,56
15		3		1		0		1		0,6
16		0		0		1		0		0,64
17		2		0		05		1		0,68
18		3		0		0		1		0,72
19		2		1		0		0		0,76
20		0		1		0		0		0,8
21		0		1		0		0		0,84
22		0		0		0		0		0,88

Рис. 2

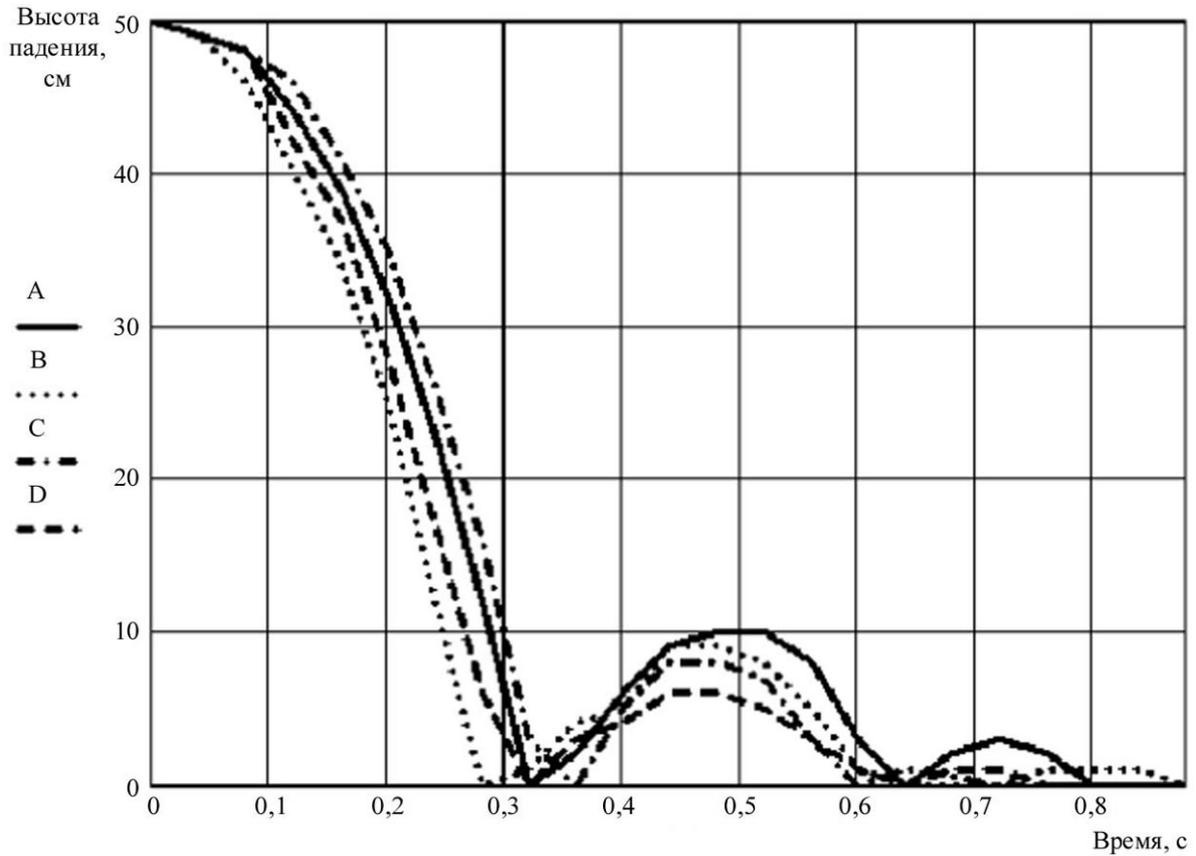


Рис. 3

Математическое описание модели

При описании падения использовалась гипотеза о том, что модель представляет собой абсолютно твердое тело, которое постоянно находится в горизонтальном положении. В этом случае к модели можно применить уравнение движения материальной точки

$$m \ddot{y} = -mg + N, \quad (1)$$

где m – масса тела, в нашем случае деревянного цилиндра, кг;

y – координата тела в пространстве в зависимости от времени, м, отсчитываемая от начального положения бревна – 0,5 м;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;

N – сила взаимодействия между цилиндром и поверхностью, Н.

В работе [1] было определено, что хорошее соответствие силы N дается при использовании нелинейной упруго-вязкой модели, коэффициенты которой определялись экспериментально.

При $y \geq 0$, т.е. до того, как цилиндр не упал на поверхность, $N = 0$. При соударении сила N описывается формулой

$$N = Cu^v - \mu v, \quad (2)$$

где C – коэффициент жесткости прониканию, он определяет, как сильно поверхность сопротивляется проникновению в нее цилиндра;

u – величина проникания цилиндра в поверхность, м;

v – степень, определяемая экспериментально;

μ – коэффициент демпфирования;

v – скорость проникания цилиндра, м/с.

Алгоритм решения данных уравнений был таков. Брались некоторые значения коэффициентов C , v , μ и подставлялись в формулу (2), входящую в правую часть дифференциального уравнения (1). Интегрирование уравнения производилось численным методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Начальными условиями в этом уравнении было начальное положение бревна $y = 0,5$ м

и начальная скорость $v = 0$ м/с. В результате мы получили график падения деревянного цилиндра, который затем сравниваем с результатами, приобретенными при эксперименте. При несовпадении графика экспериментальным данным изменялись коэффициенты C , v , μ и вновь подставлялись в формулу (1). Условиями окончания расчета являлась малость среднеквадратичного отклонения (СКО) между графиками, построенными математическим и опытным методами $S \leq 1,5$ см.

Расчет среднеквадратичного отклонения производился по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Y_{y_{\text{эксп}}} - Y_{\text{данный}})^2}{N}}, \quad (3)$$

где N – число значений в выборке, $N = 23$ (рис. 2);

$Y_{\text{эксп.}}$ – экспериментальные значения положения бревна по вертикали, см;

$Y_{\text{расч.}}$ – расчетные значения положения бревна по вертикали, см.

Математические расчеты выполнялись в пакете MathCAD 2001.

В результате проведенных выше исследований были получены числовые значения C , μ , v . Здесь надо отметить, что данные коэффициенты действительны только для данной модели, при изменении диаметра, длины и т.д. происходит их изменение. Итак, коэффициенты для цилиндра (порода: ель, диаметр: 60 мм, длина: 200 мм) получились равны: $C = 100000$; $v = 1,2$; $\mu = 16$.

Дальнейшим шагом стал перевод размерных коэффициентов в безразмерные, по которым можно посчитать коэффициенты C и μ для бревна любого диаметра и длины (влияние породы столь незначительно, что им можно пренебречь). Для этого вводим промежуточные значения

$$\bar{u} = \frac{u}{D} \quad \tau = \frac{t}{C_t}, \quad (4)$$

где D – диаметр цилиндра, м;

$\tilde{N}_t = \sqrt{\frac{D}{g}}$ – время, за которое бревно

пройдет расстояние, равное своему радиусу, с.

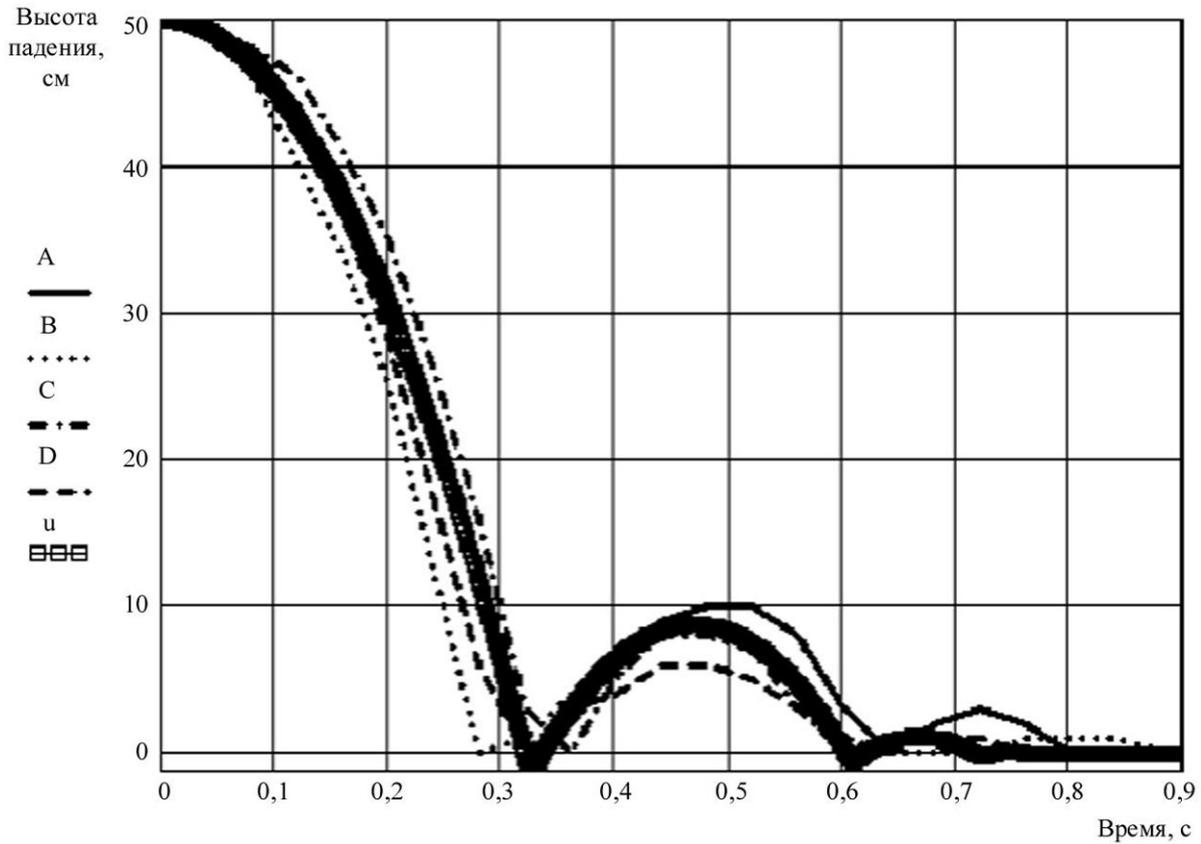


Рис. 4

Подставляя их в (1) и проводя над ними несложное преобразование, получим

$$\frac{D \cdot d^2 \bar{u}}{C_t^2 \cdot d\tau^2} = -g + \frac{\tilde{N}}{m} \cdot (\bar{u} \cdot D)^\nu - \frac{\mu}{m} \cdot \frac{d\bar{u}}{d\tau} \cdot \frac{D}{C_t} \quad (5)$$

или с учетом $\tilde{N}_i = \sqrt{\frac{D}{g}}$

$$\frac{d^2 \bar{u}}{d\tau^2} = -1 + \left(\frac{\tilde{N}}{m} \cdot D^{\nu-1} \cdot \tilde{N}_i^2 \right) \cdot \bar{u}^\nu - \left(\frac{\mu}{m} \cdot C_t \right) \cdot \frac{d\bar{u}}{d\tau} \quad (6)$$

Значения в скобках равны безразмерным коэффициентам \tilde{N} и $\bar{\mu}$ соответственно

$$\tilde{N} = \frac{\tilde{N}}{m} \cdot C_t^2 \cdot D^{\nu-1} \quad \bar{\mu} = \frac{\mu}{m} \cdot C_t \quad (7)$$

Или, зная, что масса бревна

$$m = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \quad \text{и} \quad \tilde{N}_i = \sqrt{\frac{D}{g}},$$

получим значения C и μ

$$\begin{aligned} \tilde{N} &= \frac{\tilde{N}}{4} \cdot \pi \cdot \rho \cdot g \cdot L \cdot D^{2-\nu} \\ \mu &= \frac{\bar{\mu}}{4} \cdot \pi \cdot \rho \cdot \sqrt{g} \cdot L \cdot D^{1.5}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\tilde{N} \approx 1000$ – опытный коэффициент, определенный в результате эксперимента;

ρ – плотность древесины, принимается равной 600 кг/м^3 ;

L – длина цилиндра, м;

D – диаметр цилиндра, м;

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$;

ν – степень, определяемая экспериментально.

Из-за сложности варьирования сразу двумя независимыми коэффициентами, C и μ , принимаем $\mu = \text{const}$.

Эти данные потребуются нам далее при описании падения деревянного цилиндра в MSC.visualNastran Desktop.

Представление модели в MSC.visualNastran Desktop

Дальнейшими шагами является собственно построение модели MSC.visualNastran Desktop и последующее изучение ее движения уже в этой программе. Коротко опишем основные шаги:

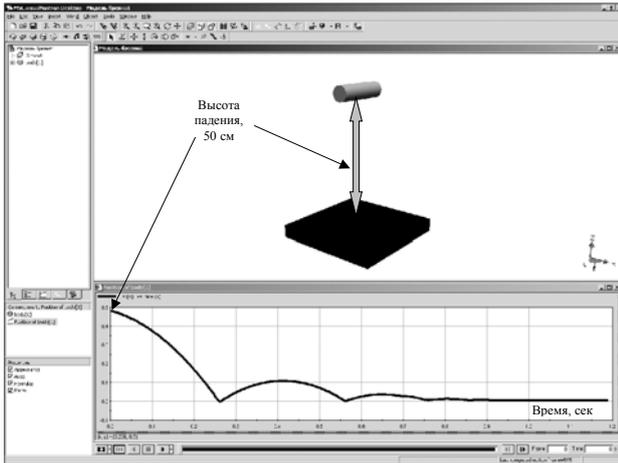


Рис. 5

- создание нового документа (File – New);
- создание модели бревна (Insert – Model – Cylinder);
- задание размеров цилиндра (Properties – Cylinder – Radius(0,03) – Height (0,2));
- задание положения цилиндра (Properties – Position($x = 0, y = 0, z = 0,5$));
- задание плотности материала, равной плотности древесины ($\rho \approx 600 \text{ кг}\cdot\text{м}^3$) (Properties – Material – Edit – Mass Density = 600);
- создание модели поверхности (Insert – Ground Plane);
- задание цилиндра и поверхности как сталкивающихся (Object – Collide);
- задание контактных свойств цилиндра (Properties – Contact – Custom model). Далее выбирая Properties (Свойства) в поле Normal force model (Сила контактного взаимодействия модели) вводим полученную нами выше формулу (2)

$$N = (-100000 \text{ N/m}) * \text{penetration}()^{1,2} + (-16 \text{ N/s/m}) * \text{penetrationrate}(),$$

где penetration – величина проникновения u ;
 penetrationrate – скорость проникания v ;
 – для оценки того, соответствует падение цилиндра реальным условиям или нет, снизу строится график, отображающий зависимость пройденного пути от времени (Insert – Meter – Position);
 – последний шаг – запуск программы на выполнение (World – Run) и проверка соответствия графика, рассчитанного математическим путем (рис. 4), графику, встроенному в MSC.visualNastran Desktop (рис. 5).

Моделирование в MSC.visual Nastran Desktop позволяет производить наиболее полный анализ объектов и выгодно отличается от предыдущих методов своей наглядностью.

Полученные результаты могут быть использованы при построении моделей взаимодействия рабочих органов лесных машин с круглыми лесоматериалами.

Библиографический список

1. Шимкович, Д.Г. Теоретические основы многокритериальной оптимизации параметров при проектировании грузоподъемных механизмов рычажного типа для лесозаготовительных машин: дисс ... д-ра техн. наук / Д.Г. Шимкович – М., 1997. – 317 с.
2. Шимкович, Д.Г. Вероятностный метод расчета нагрузок при взаимодействии челюсти грейфера с круглыми лесоматериалами / Д.Г. Шимкович // Сб. науч. тр. МЛТИ. – Вып. 247 – 1992. – С. 141–151.
3. Иосилевич, Г.Б. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич – М.: Машиностроение, 1985. – 576 с.
4. Таубер, Б.А. Грейферные механизмы / Б.А. Таубер. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
5. MSC.visualNastran Desktop Getting Started
6. MSC.visualNastran Desktop Help

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ (ПРЕДПРИЯТИЯ)

Н.И. ВНУКОВСКИЙ, *проф., зав. каф. информационных технологий в экономике УГТУ,
д-р экон. наук,*

Г.П. БУТКО, *проф. каф. менеджмента и внешнеэкономической деятельности УГЛУ,
д-р экон. наук*

Современный этап социального и экономического развития подтверждает, что ни одна структура в России не занимается в должной мере решением проблем повышения конкурентоспособности. Стратегическое планирование развития страны (образования, научно-технического, экономического, социального и других направлений) утратило системность.

Серьезной проблемой лесопромышленного комплекса является структурная перестройка, модернизация производства. Для решения этого вопроса необходимы соответствующие научно-технические, инновационные разработки, хотя исследований в этой области мало [1, 3, 5].

Понятие конкурентоспособности предприятия весьма сложное и трактуется далеко не однозначно. В общем виде конкурентоспособность предприятия может быть определена как сравнительное преимущество по отношению к другим предприятиям данной отрасли внутри страны и за ее границами.

Конкурентоспособность организаций (предприятий) характеризует их экономическое состояние и положение в рыночных условиях, способность успешно функционировать в рыночной среде, осуществлять эффективное расширенное воспроизводство и добиваться поставленных стратегических и тактических целей. Конкурентоспособным является то предприятие, которое устойчиво является рентабельным, получает необходимую прибыль, успешно решает задачи укрепления материально-технической базы и достижения целей технической, организационной, социальной, ценовой, ассортиментной политики.

Конкурентоспособное предприятие может расширять свою рыночную нишу, ус-

пешно противодействовать конкурентам, полнее удовлетворять потребность покупателей. Предприятие в условиях рынка должно, с одной стороны, точно знать свой потенциал конкурентоспособности, с другой, на основе оценки благоприятных возможностей и угроз развития бизнеса сформировать стратегию повышения конкурентоспособности, направленную на развитие конкурентных преимуществ.

Под экономическим потенциалом нами понимается совокупная способность экономических ресурсов, имеющихся в наличии, обеспечить производство максимально возможного объема потребительских способностей, соответствующих запросам общества на данном этапе его развития.

Для достижения конкурентоспособности предприятию необходимо производить больше пользующейся рыночным спросом продукции лучшего качества с меньшими издержками. Решение всех этих задач невозможно без привлечения большого объема различной информации.

После обработки данных получена диаграмма, которая представлена на рисунке.

Авторский подход определения конкурентного статуса организации базируется на комплексном исследовании маркетинга, инновационного потенциала, налаженности сбыта продукции, организации ВЭД и др. Для определения конкурентной среды выбраны основные конкуренты и исследованы ключевые факторы успеха на основе интегральных показателей конкурентоспособности. Для подсчетов используются количественные показатели [4]. Кроме того, используется система показателей деловой активности и эффективности деятельности фирмы [6].

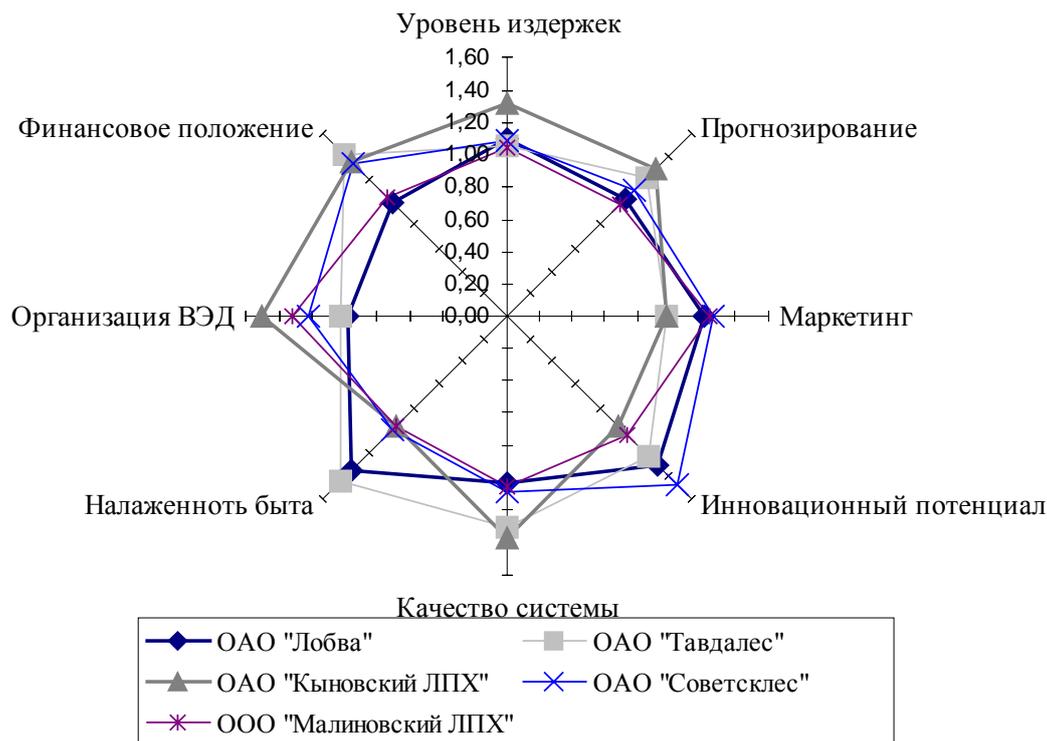


Рисунок. Диаграмма конкурентного статуса организаций (предприятий) Уральского региона

Применим принципы этих двух подходов к расчету конкурентоспособности предприятия для анализа конкурентоспособности маркетинговой деятельности предприятия.

Результаты анализа конкурентных сил на примере средневзвешенной оценки пяти объектов исследования показали размер конкурентных преимуществ и недостатков, выраженный разницей между собственной оценкой организации и оценками ее конкурентов.

Предварительно определяется эффективность внедрения качества системы. Современная концепция управления качеством основана на понимании того факта, что качество – наиболее важный фактор в обеспечении конкурентоспособности любой организации и является неотъемлемой частью в целом. Определяется кругом обязанностей каждого участника проекта, планированием и контролем затрат на обеспечение заданного уровня качества. В основе всей деятельности по обеспечению качества в одних от-

раслях находится регламентированная система норм и стандартов, а в других отраслях – система государственных, отраслевых и территориальных стандартов, а также стандартов предприятий и технических условий. В качестве национальных стандартов приняты стандарты Международной организации по стандартизации (ISO). Особое значение имеет внедрение системы качества ISO 9000 или системы всеобщего управления качеством TQM. Эффективность системы качества TQM, рассчитанная для предприятий лесопромышленного комплекса, представлена в исходной табл. 1. В основу положена методика, выполненная ранее [3].

Элементами комплекса маркетинга выступают:

- продукт;
- цена;
- товародвижение продукта;
- маркетинговые коммуникации.

В соответствии с отмеченным предлагается система показателей по каждому элементу.

Эффективность системы качества TQM для предприятий лесного сектора экономики

Экономический показатель деятельности	Предприятия					
	выше среднего уровня		на среднем уровне		ниже среднего уровня	
	ISO 9000	Средний показатель в отрасли	ISO 9000	Средний показатель в отрасли	ISO 9000	Средний показатель в отрасли
Индекс рентабельности	5,1	2,7	6,3	2,7	7,4	2,7
Коэффициент экспорта продукции	1,23	1,56	1,74	1,56	1,45	1,56
Прибыль на одного работающего, тыс. р.	4,2	1,4	32	1,4	5,0	1,4
Инвестиции в расчете на один проект, тыс. р.	27,6	25	29,9	17	22,3	17

1. Коэффициент рыночной доли КРД (по продукту)

$$KPD = \frac{I \ddot{I}}{\hat{I} \hat{I} \ddot{I} \ddot{I}}, \quad (1)$$

где *ОП* – объем продаж продукта фирмой;
ООПР – общий объем продаж продукта на рынке.

Коэффициент КРД показывает долю, занимаемую фирмой на рынке.

2. Коэффициент уровня цен КУЦ

$$КУЦ = C_{вк} \times X + C_{нк} \times X / C_{вк} + C_{нк}, \quad (2)$$

где *C_{вк}* – цена продукции выше уровня;

C_{нк} – цена продукции на уровне;

X – доля продукции.

3. По товародвижению продукта:

Коэффициент доведения продукта до потребителя

$$KCB = \frac{\ddot{E} \ddot{E} \hat{I} \ddot{I} \times \zeta \tilde{A}_{\hat{e}i\hat{i}}}{\zeta \tilde{A}_{i\hat{i}\hat{i}}} = \frac{1,3 \times 54412,48 \hat{o} \hat{u} \hat{n} \hat{d}}{51238,52 \hat{o} \hat{u} \hat{n} \hat{d}} = 1,38 \quad (3)$$

где *КИОП* – коэффициент изменения объема продаж;

ЗСБ_{кон} – сумма затрат на функционирование системы сбыта на конец отчетного периода;

ЗСБ_{нон} – сумма затрат на функционирование системы сбыта на начало отчетного периода.

На основе данного показателя определяют возможность фирмы к повышению конкурентоспособности на основе улучшения сбытовой деятельности.

4. По маркетинговым коммуникациям:

Коэффициент рекламной деятельности

$$K_{рекД} = \frac{\hat{E} \hat{E} \hat{I} \ddot{I} \times \zeta \tilde{A}_{\hat{e}i\hat{i}}}{\zeta \tilde{A}_{i\hat{i}\hat{i}}} = \frac{1,3 \times 187,84 \hat{o} \hat{d}}{171,20 \hat{o} \hat{d}} = 1,43, \quad (4)$$

где *ЗРД_{кон}* – затраты на рекламную деятельность на конец отчетного периода;

ЗРД_{нон} – затраты на рекламную деятельность на начало отчетного периода.

Далее определяется и находится взвешенная величина по вышеперечисленным коэффициентам, устанавливается интегральный показатель конкурентоспособности маркетинговой деятельности для конкретного продукта. Для расчета интегрального показателя конкурентоспособности фирмы следует учитывать общие финансовые коэффициенты, которые рассчитываются на основе анализа баланса фирмы за отчетный период.

В рамках маркетинга осуществляется разработка его бюджета (табл. 2).

Составление бюджета маркетинга помогает расставить приоритеты между целями и стратегиями деятельности на рынке, принять конкретные решения в области распределения ресурсов, осуществлять эффективный контроль.

Сформулирован целый ряд правил решения вопроса о том, сколько средств нужно вкладывать в рекламу; одни полагают, что нужно вкладывать определенный процент товарооборота предшествующего периода; другие – процент от предполагаемого товарооборота в соответствующий период; третьи – такую же сумму, что и конкурирующие фирмы.

Характерный бюджет маркетинга для конкурирующих предприятий

Показатель	%
Суммарный доход от продаж, прогнозируемый на год	100,0
Наиболее вероятная стоимость производства	33,3
Затраты на маркетинг:	
– реклама;	0,5
– организация продаж;	1,5
– другие затраты на продвижение продукта;	0,2
– зарплата сотрудников и руководителей маркетинговых служб.	0,6
Величина кредитов, предоставленных потребителям	3,7
Стоимость информации	25,5
Суммарные маркетинговые затраты	32,0
Чистый доход	44,7

Определять бюджет на рекламу в виде процентного соотношения от суммы продаж – облегченное решение, слишком часто используемое как в промышленной среде, так и в сфере производства предметов потребления, но в данном случае не учитываются цели фирмы, и бюджет испытывает колебания вместе с товарооборотом. Поступать так, как поступают конкурирующие фирмы, – значит идти в неверном направлении. Поскольку не существует одинаковых предприятий, неверно применять к себе чужие условия. Желательно быть в курсе того, что представляют собой бюджет и содержание рекламы конкурентов, поскольку это является составной частью их коммерческой политики, но не следует копировать их затраты.

За маркетинговые планы, разрабатываемые обычно в линейных подразделениях организации, отвечают их руководители, которые несут ответственность за реализацию планов. Сотрудники подразделения планирования маркетинга осуществляют консультационную, координирующую помощь, помогая линейным руководителям в разработке плана.

Успех рекламы в значительной степени зависит от того, в какой мере правильно определен объект ее действия. Это своего рода сегментация рынка. Разработка рекламных мероприятий должна опираться на следующие статистические данные:

- характеристика качества товара;
- региональные характеристики производителей, дистрибьюторов и потребителей;

- уровень жизни и социально-демографическая структура контингента потребителей;

- цены на рекламную информацию и ситуация на рынке массовой рекламной информации. Естественно, необходимо обладать специфической информацией о возможностях различных видов и приемов рекламы, их достоинствах и недостатках, мощности и экономичности различных рекламных средств.

Как видно, формы рекламы и средства ее распространения многообразны. Однако реклама, как правило, дорогостоящее мероприятие и занимает видное место в бюджете маркетинга и издержках предприятия. Важная задача проведения статистики рекламных мероприятий – определить сумму и структуру затрат на рекламу и рассчитать ее долю в бюджете маркетинга и в сумме издержек обращения. Целесообразно сопоставить эту величину со средней по отраслям и с соответствующим показателем конкурентов. Должен быть построен динамический ряд всех трех показателей и найдены динамические характеристики.

Структура бюджета рекламы включает ряд статей:

- административные расходы;
- материальные расходы (связанные с изготовлением рекламных материалов);
- расходы на приобретение рекламного пространства;
- расходы на использование других средств информации (почта, выставки, презентации и т. п.);

– гонорары и комиссионные.

Необходимо определить эффективность рекламы, выявить изменения спроса, вызванные действием того или иного вида рекламы, установить приросты объема продаж и прибыли, обусловленные как самой рекламой, так и затратами на рекламные мероприятия и т. д.

Размер увеличения объема продаж в результате использования рекламы продукции определен по формуле

$$X = \frac{\tilde{O}_0 + (\tilde{O}_\delta - \tilde{O}_0)}{(1,2 + 0,13) \frac{W}{W_p}}, \quad (5)$$

где X – объем продаж после напоминающих реклам;

X_0 – объем продаж за базисный период, т. е. без проведения напоминающей рекламы;

X_m – емкость рынка, т.е. максимально возможная величина объема продукции. Она рассчитывается по формуле

$$X_m = \frac{\tilde{O}_i 100\%}{D}, \quad (6)$$

где D – доля объема продаж в общем объеме продаж;

W_p – затраты на рекламу, в % от объема продаж;

W – общие затраты на маркетинг, в % от объема продаж.

Показатели W и W_p можно взять из таблицы 2, где в величину W_p входят только затраты на маркетинг (0,5 %), а в величину W – затраты на рекламу, организацию продаж, зарплату сотрудников и руководителей маркетинговой службы и другие затраты на продвижение продукта (2,8 %).

Система факторов, воздействующих на конкурентный статус организации, учтена нами при разработке методики оценки КСП,

Взаимосвязи различных критериев на каждом уровне системы управления выявлены с помощью системы графов. Для исследования взаимосвязей критериев соответствия определен ряд таксономии, отображающий переход от постановки задачи к набору показателей в зависимости от уровня системы управления, целей, функций и методов принятия решений. Плоскость, образуемая осью X (уровни управления) и осью Y (конкурентный статус организации), представлена следующим образом (табл. 3).

Каждое значение матрицы XU представляет задачу управления, определяемую уровнем системы управления и соответствующим КСО, по мере достижения определенной задачи управления по функциям трансформируются и определяются плоскостью, образуемой осями X (функции) и Z (цели).

С целью повышения своей конкурентоспособности предприятие должно постоянно, оперативно и глубоко изучать рыночную конъюнктуру, получать и анализировать информацию о состоянии и динамике спроса – предложения, цены, ассортимента и качества реализуемых товаров, конкурентов и др. Наряду с информацией по состоянию и изменению рыночной конъюнктуры предприятиям необходимо постоянно и оперативно получать информацию о других субъектах и воздействии внешней среды, которая является основным источником рисков и неопределенности функционирования организаций.

Т а б л и ц а 3

Матрица XU конкурентный статус организации (КСО) – уровни управления

КСО	Уровни управления	Высший	Средний	Низший
		Y_1	Y_2	Y_3
Уровень издержек	X_1	X_1Y_1	X_1Y_2	X_1Y_3
Прогнозирование	X_2	X_2Y_1	X_2Y_2	X_2Y_3
Финансовое положение	X_3	X_3Y_1	X_3Y_2	X_3Y_3
Организация ВЭД	X_4	X_4Y_1	X_4Y_2	X_4Y_3
Маркетинг	X_5	X_5Y_1	X_5Y_2	X_5Y_3
Инновационный потенциал	X_6	X_6Y_1	X_6Y_2	X_6Y_3
Надежность сбыта	X_7	X_7Y_1	X_7Y_2	X_7Y_3
Качество системы	X_8	X_8Y_1	X_8Y_2	X_8Y_3

Для обеспечения конкурентоспособности в рыночной экономике хозяйствующим субъектам необходим доступ к оперативному получению достоверной и относительно дешевой информации. В связи с этим большое значение имеют выработка и реализация государственной информационной политики на макро-, мезо- и микроэкономическом уровнях.

Основными слагаемыми и направлениями государственной информационной политики должны стать стимулирование развития информационных технологий путем государственного финансирования и налогово-кредитного регулирования, формирования благоприятной правовой, макроэкономической и конкурентной основы информационного процесса.

Библиографический список

1. Бурдин, Н.А. Лесопромышленный комплекс: Состояние, проблемы, перспективы / Н.А. Бурдин. – М.: МГУЛ. 2000. – 473 с.
2. Бутко, Г.П. Стратегия обеспечения конкурентоспособности предприятий лесного комплекса: монография / Г.П. Бутко. – Екатеринбург: УГЛТА, 1999. – 227 с.
3. Бутко, Г.П. Стратегия управления конкурентоспособностью предприятий лесопромышленного комплекса региона: монография / Г.П. Бутко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 200 с.
4. Голубков, Е.П. Маркетинговые исследования / Е.П. Голубков. – М.: Финпресс, 2000. – С. 417–437.
5. Кныш, М.И. Конкурентные стратегии: учебное пособие / М.И. Кныш. – СПб., 2000. – 284 с.
6. Шеремет, А.Д. Методика финансового анализа / А.Д. Шеремет, Е.В. Негашева. – М., 1999. – С. 98–105.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МАРКЕТИНГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА МЕБЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Е.Ю. ЛАПШИНА, *асп. каф. экономики и организации внешних связей предприятия лесного комплекса МГУЛ*

На мебельном рынке в настоящее время наблюдается высокий рост импортной продукции, а также продукции предприятий с участием иностранного капитала. Увеличение количества импортной продукции приводит к росту конкуренции, но не только между отечественными предприятиями, чьи методы продвижения продукции на рынок похожи, а с импортными производителями, давно поставившими маркетинг во главу угла деятельности предприятия.

Для повышения конкурентоспособности отечественной мебельной продукции необходимо развивать маркетинг на предприятиях. В литературе существует несколько подходов к организации маркетинга. В [1] автор основополагающей считает теорию человеческих нужд и потребностей, предлагает предпринимателям ориентироваться не на то, что предприятие производит, а на интересы потребителей. Основной интерес для предприятия представляет непосредственно поку-

патель, а оценка конкурентов производится в основном посредством мониторинга цен и идей. В [2] автор больше внимания уделяет конкуренции и методам продвижения на рынок новых идей, эволюции рынков. Разрабатывается определение «латеральный маркетинг», которое базируется на поиске новых возможностей путем обращения к одной или более потребностям как взаимное дополнение «вертикального маркетинга». Хотя и здесь автор не отходит от теории нужд и потребностей, больше внимания уделяется методам конкуренции, продвижению товаров и брендингу. В [3] отмечено, что классический маркетинг не настаивает на углубленном исследовании конкурентов, предлагается их простое ранжирование по широте ассортимента, внешним преимуществам, характеристикам качества, ценам и системам продвижения продукции. Также используются мнения потребителей относительно продукции конкурентов, что тоже влияет на ранг конку-

рента. В [4] авторы пропагандируют «военные принципы» в маркетинге, считая чрезмерное увлечение исследованиями нужд потребителей не всегда оправданной тратой денежных средств. По их мнению, наиболее эффективны методы «конкурентной борьбы» между компаниями, которые основываются на поиске у конкурентов слабых мест и освоении новых рыночных ниш, не замеченных конкурентами. Они не используют таких понятий, как «система организации маркетинга» или «маркетинговая политика», основное понятие – это «маркетинговая война». В [5] автор подходит к маркетингу с точки зрения статистики и математики, рассматривая задачи маркетинга как объект математического моделирования и предлагая использовать в маркетинге оптимизационные модели, основываясь на методе решения транспортной задачи, далее он предлагает оценку эффективности системы маркетинга на основе экспертных оценок и применении метода парных сравнений.

В научной литературе рассматриваются два метода организации маркетинга на предприятии: ориентация на потребителя и борьба с конкурентами. Первым методом пользуется большая часть компаний, т.к. затраты при его использовании ниже, чем при применении второго метода. Ко второму методу целесообразно прибегать крупным компаниям или корпорациям.

Основными задачами исследования являются:

- обоснование необходимости внедрения маркетинга на предприятиях мебельной промышленности;
- определение факторов, влияющих на потребление мебели;
- разработка модели сегментации рынка.

Необходимость внедрения маркетинга на предприятиях мебельной промышленности обусловлена тем, что ситуация в отрасли не выгодна для отечественных предприятий – 91,1 % частных российских предприятий выпускают 52,7 % промышленной продукции, а 1,7 % предприятий совместных с иностранцами выпускают 28,3 % промыш-

ленной продукции [6], таким образом, предприятия с участием иностранного капитала в 29 раз более эффективны, чем отечественные. Несомненно, что главная составляющая эффективности совместных предприятий – это импортное оборудование, которое является вкладом иностранных участников в уставный капитал предприятия, но немаловажную роль играет и то, что руководители таких предприятий должны уделять маркетингу компании.

В результате в отрасли наблюдается сокращение количества предприятий, сокращение темпов роста производства продукции и недостаточное инвестирование основного капитала предприятий, вызванное недостатком денежных средств, т.е. недополучением прибыли.

Основными источниками финансирования капитальных вложений в отрасль являются собственные средства предприятий, удельный вес которых составляет 65 % [7]. Увеличивается количество прямых иностранных инвестиций в предприятия отрасли. Активное привлечение иностранных инвестиций в деревообрабатывающую промышленность говорит о том, что наиболее охотно иностранные инвесторы вкладывают средства в предприятия либо полностью с иностранным капиталом, либо с контрольным пакетом акций, принадлежащим иностранному владельцу. Постепенный прирост инвестиций в компании с долей иностранной собственности привел к тому, что оборудование у предприятий с иностранным капиталом лучше, следовательно, и продукция, выпускаемая на этих предприятиях, более конкурентоспособна.

В результате растущей конкуренции предприятия мебельной отрасли постепенно теряют свои позиции на рынках, не продают продукцию, как следствие – не получают выручку в объеме, достаточном для развития и модификации оборудования. Отрасль постепенно сдает свои позиции: темпы прироста выпуска продукции год от года ниже, оборудование изношено, количество предприятий сокращается. Это происходит потому, что доходы от продаж продукции с

каждым годом все меньше и меньше, рентабельность проданных товаров сокращается год от года. Сокращение рентабельности ведет к снижению объемов выпуска продукции, сокращению выручки и, как следствие, сокращению количества предприятий. Однако ситуацию можно исправить при помощи маркетинга, как это делают на предприятиях с участием иностранного капитала. Правильная организация маркетинга на предприятии приведет к увеличению доли отечественной продукции на рынке, росту рентабельности проданных товаров, росту выручки и укреплению финансового состояния предприятий.

Для успешной организации маркетинга на мебельных предприятиях в первую очередь необходимо проводить анализ рынка, как продукции предприятия, так и сопутствующих товаров, отслеживать демографические изменения, динамику строительства жилых помещений. В результате анализа данных Госкомстата за 2000 г. по 30 различным странам была создана регрессионная модель

$$Y = 38,57 - 0,75X - 0,26F - 0,12KL - 0,39A, \quad (1)$$

где Y – доля мебели и оборудования для дома в структуре конечного потребления домашних хозяйств;

X – доля оплаты квартиры и коммунальных услуг в структуре конечного потребления домашних хозяйств;

F – среднегодовые процентные ставки по кредитам;

KL – индекс концентрации доходов (коэффициент Джини).

Коэффициент Джини (индекс концентрации доходов) характеризует степень отклонения линии фактического распределения общего объема доходов населения от линии их равномерного распределения. Величина коэффициента может варьироваться от 0 до 100 %, при этом, чем выше значение показателя, тем более неравномерно распределены доходы в обществе. Коэффициент Джини дает возможность численно оценить степень неравенства. Для равномерного рас-

пределения он равен нулю, в условиях абсолютного неравенства он равен 100 %.

Для расчета коэффициента Джини используется следующая формула

$$KL = S_o / S_{ABC} = 1 - \sum_{i=1} (F_i - F_{(i-1)}) \times (S_{(i-1)} + S_i), \quad (2)$$

где $F_i - F_{i-1}$ – доля населения, относящаяся к i -му интервалу;

S_{i-1}, S_i – доля суммарного дохода, приходящаяся на начало и конец i -го интервала. Объем доходов по каждой интервальной группе определяется по кривой распределения населения по размеру среднедушевого дохода путем умножения середины доходного интервала на численность населения в этом интервале.

A – доля населения в возрастной группе 20–39 лет.

Отрицательные знаки коэффициентов говорят об обратной зависимости между исследуемым показателем, т.е. при снижении платы за коммунальные услуги, обеспечении населению доступа к кредитным ресурсам, уменьшении финансового расслоения общества и сокращении доли населения в возрасте 20–39 лет потребление мебели возрастет.

Для прогнозирования спроса на мебель мы провели исследование данных по 30 различным странам за 2000 г. и определили, что существует корреляционная зависимость между показателями доли мебели и оборудования для дома в структуре конечного потребления домашних хозяйств (Y) и среднемесячной заработной платы работников (Z). Был проведен регрессионный анализ этих показателей, в результате которого была получена регрессионная модель

$$y = 18,7th1,93 * 10^{-4} Z, \quad (3)$$

где $thZ = \frac{e^Z - e^{-Z}}{e^Z + e^{-Z}}$.

Анализ функции показал, что пороговый уровень среднемесячной заработной платы, при котором потребление мебели возрастет, равен 11 тыс. р. При пересчете

показателя с учетом инфляции и темпов роста спрогнозирован критерий, равный 15215 р. На данный момент в стране уровень среднемесячной заработной платы равен 5616,3 р. При существующих темпах роста заработной платы пороговый показатель может быть достигнут в ближайшее время, и задачей отечественных производителей является готовность удовлетворить потребность потребителей в мебельных изделиях, которая возрастет вместе с ростом заработной платы.

Для этого нужно проводить сегментацию рынка – определять «своего потребителя» или для охвата большего количества рыночных ниш производить продукцию, удовлетворяющую предпочтениям нескольких сегментов потребителей. Мы предлагаем многофакторную модель сегментации с использованием таких показателей, как психологическая предрасположенность, уровень дохода и место проживания. Основным критерием здесь является психологическая предрасположенность, где мы выделяем три типа людей: безразличный, стремящийся соответствовать стандарту, нестандартный. При использовании данной модели основное внимание следует уделять определению «мебельного стандарта» для каждого исследуемого сегмента.

Следующим шагом должно быть проведение ежеквартального мониторинга конкурентов, где основное внимание нужно уделять не ценовой политике, а распределению товаров по сегментам рынка, хотя цены конкурентов также нельзя оставлять без внимания.

Необходимо ежеквартально проводить маркетинговое исследование спроса потребителей на продукцию предприятия, т.к. решение о производстве нового изделия или прекращении производства существующего принимается в длительный срок, а если вовремя не выйти на рынок с новым товаром, то с ним выйдут конкуренты и «окажутся в выигрыше». В случае с прекращением выпуска изделия потеря времени приводит к финансовым затратам, связанным с выпуском не нужной потребителю продук-

ции. Например, проведенный анализ спроса на мебельную продукцию в г. Москве [6] выявил следующие тенденции: большинство опрошенных предпочитает комбинированную мебель с матовой поверхностью; средняя стоимость мебельных изделий колеблется от 17 до 29 тыс. руб. в зависимости от вида изделия; наиболее важными факторами при выборе мебельного изделия являются: качество изделия (ранг 1), внешний вид (ранг 2), функциональные свойства (ранг 3), цена изделия (ранг 4).

Необходимо как можно больше внимания уделять «своим покупателям» как во время совершения покупки, так и после; примером этому могут служить производители бытовой техники, предлагающие покупателю выразить свое мнение об изделии после совершения покупки, прикладывая анкеты к инструкции по эксплуатации изделия. Важным фактором при выборе мебельного производителя, при приобретении набора мебели для комнаты является удобство экспозиции товаров в магазинах, возможность купить готовое решение или с помощью дизайнера спроектировать расстановку мебели в комнате; к сожалению, на данный момент только мебель для кухни в магазинах расположена как готовое решение, мебельные изделия для комнат группируются по видам, а не по возможному сочетанию в комнате.

Проведенный в июне 2005 г. опрос представителей некоторых мебельных предприятий Центрального округа г. Москвы выявил отсутствие маркетинговой политики на большинстве предприятий или неграмотную ее организацию, что и приводит к снижению конкурентоспособности отечественных мебельных изделий.

Из всего вышесказанного следует, что на предприятиях отечественной мебельной промышленности следует проводить грамотную маркетинговую политику, включающую: изучение данных внешней статистики, использование методов регрессионного анализа при прогнозировании спроса на продукцию, проведение детальной сегментации рынка, регулярное проведение исследова-

дований спроса на продукцию предприятия. Также следует обратить внимание на рост доходов населения и, как следствие, увеличение потребления мебельных изделий.

Библиографический список

1. Котлер, Ф. Основы маркетинга / Ф. Котлер. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 656 с.
2. Котлер, Ф. Маркетинг XXI века / Ф. Котлер. – СПб.: Издательский дом «Нева», 2005. – 432 с.
3. Нищев, С.К. Маркетинг: необходимость и проблема анализа конкурентного положения предприятия на рынке (российская специфика) / С.К. Нищев. – Русский гуманитарный Интернет университет. Б-ка учеб. и науч. лит. (www.i-u.ru).
4. Райс Эл, Траут Джек. Маркетинговые войны / Райс Эл, Траут Джек. – СПб: ЗАО Изд-во «Питер», 2000. – 256 с.
5. Маркетинг / Н.Д. Эриашвили, К. Ховард, Ю.А. Цыпкин и др.; – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 631 с.
6. Юбилейный сб. тр. сотрудников факультета технологии и предпринимательства / Редакционная коллегия: проф. Т.Т. Фомина и др. – М.: МГПУ, 2005. – С. 220
7. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка рекомендаций по обеспечению конкурентоспособности предприятий в рамках «цепочек добавленной стоимости». – М.: Государственный университет – Высшая школа экономики, 2004. – 156 с.

ПОНЯТИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КАК ОДНОГО ИЗ ВАЖНЕЙШИХ КОМПОНЕНТОВ МАРКЕТИНГА

И.В. СИРОТОВА, *асп. каф. финансов МГУЛ*

Для повышения эффективности производства и сбыта продукции необходимым условием является изучение и профессиональное использование методов организации предпринимательской деятельности предприятия, ориентированных на выявление нужд и потребностей потребителей продукции предприятия, обеспечение этих потребностей наиболее эффективными и продуктивными, чем у конкурентов, способами.

В настоящее время для большинства российских предприятий маркетинг становится одним из условий выживания и успешного функционирования в новых экономических условиях. Применение маркетинга позволит им перестроить свою производственно-хозяйственную деятельность с учетом требований, предъявляемых рынком. И только выход на рынок с конкурентоспособным товаром дает возможность предприятию выжить в условиях рынка. Предприятия, вкладывающие силы в неконкурентоспособный товар, обречены на гибель.

Товар, куда входят как изделия, так и услуги – всего лишь пассивный компонент рынка, на котором присутствуют также и

активные компоненты – субъекты хозяйствования, которые, очевидно, могут быть опосредованными носителями свойства конкурентоспособности (через свои товары и услуги).

Анализ известных определений конкурентоспособности и наши представления о предмете исследования позволяют выделить целый ряд моментов, безусловно важных для данного понятия и определения его места среди других экономических категорий:

1. Конкурентоспособность продукции – это мера ее привлекательности для потребителя;

2. Привлекательность продукции определяется степенью удовлетворения совокупности разноплановых, иногда противоречивых требований;

3. Состав предъявляемых требований, их приоритетность зависят как от вида продукции, так и типа ее потребителя;

4. Конкурентоспособность как экономическая категория имеет релятивистскую природу, т.к. рассматривается относительно конкретного рынка и конкретного аналога;

5. Конкурентоспособности присущ динамический характер – ее имеет смысл рассматривать лишь применительно к конкретному моменту времени с учетом изменений во времени рыночной конъюнктуры;

6. Проблема конкурентоспособности относится лишь к нестационарному недефицитному рынку, который находится в неравновесном состоянии;

7. Конкурентоспособность зависит от стадии жизненного цикла, на которой находится рассматриваемый товар;

8. Имеет смысл говорить о конкурентоспособности лишь того товара, который уже обладает какой-то долей рынка, причем показатель конкурентоспособности существенно зависит от предыстории, т.е. доли рынка в предыдущий период.

Резюмируя сказанное, можно предложить следующее определение: конкурентоспособность – это свойство объекта, имеющего определенную долю соответствующего релевантного рынка, которое характеризует степень соответствия технико-функциональных, экономических, организационных и прочих характеристик объекта требованиям потребителей, определяет долю рынка, принадлежащую данному объекту, и препятствует перераспределению этого рынка в пользу других объектов. Конкурентоспособность – совокупность потребительских, стоимостных характеристик товаров, определяющих их успех на рынке, т.е. способность данного товара быть обмененным на деньги в условиях широкого товарного предложения. Конкурентоспособный товар – это товар, имеющий высокую ценность для потребителя. Конкурентоспособность товара зависит как от его потребительских свойств, включая услуги, так и цены. Чем выше потребительские свойства товара, тем реальнее возможность его реализации. Сопоставление цены и полезного эффекта товара с аналогичными показателями иных товаров дает представление об уровне его конкурентоспособности. Конкурентоспособный товар должен не просто обладать способностью противостоять товару-конкуренту, но и превосходить его. Высокая конкурентоспособ-

ность товара находит свое отражение в большей доле рынка, приходящейся на данный товар, в более высокой прибыльности его производства и сбыта.

Главными составляющими конкурентоспособности являются: технический уровень товара, уровень маркетинга и рекламно-информационного обеспечения; соответствие требованиям потребителя, техническим условиям и стандартам; организация сервиса, гарантийного обеспечения; обучение персонала приобретающей стороны, сроки поставки (разработки, создания, продажи), сроки гарантий, цена, условия платежей.

Вне зависимости от того, какую продукцию производит фирма – новую или уже имеющуюся, ее цель – обеспечить товару действительный успех на рынках сбыта. Для этого ей необходимо правильно определить наиболее эффективные пути продвижения товара на тот или иной рынок, время, место реализации, цены, которые должны обеспечить сбыт при необходимом уровне прибыльности.

Сегодня конкурентная борьба разворачивается не только по поводу самого товара, его потребительских характеристик. Важное значение приобретают такие факторы, как репутация фирмы как надежного торгового партнера, ее способность обеспечить послепродажное обслуживание. Многие для совершенствования собственной сбытовой политики может дать изучение практики маркетинга основных конкурентов, ибо только так удастся выявить нормы, общепринятые стандарты, ниже которых спускаться нельзя. Кроме того, еще одним из факторов, определяющих конкурентоспособность товаров, является их внешний вид, упаковка, удобство применения.

Привычная торговая марка (или цена) как бы сама по себе часто устраняет потребность в детальных сведениях о товаре, побуждает потребителя к покупке. Благожелательное отношение покупателя к фирме переносится на ее новые товары. Они становятся более предпочтительными, хотя их качество может не соответствовать цене.

Каждая фирма уникальна по-своему, а ее поведение на рынке определяется только ей одной свойственной комбинацией стратегических идей. Одни фирмы выходят на рынок с традиционными и хорошо известными в данной отрасли товарами и услугами. И чтобы повысить их конкурентоспособность, необходимо заботиться как о снижении цен, так и о повышении качества, об улучшении хотя бы некоторых потребительских свойств продукции. Таким образом, осуществляя тактику постоянных улучшений даже в давно известных изделиях, можно обеспечить себе неуклонный рост доли рынка, объемов продаж и доходов.

Другие фирмы сосредотачиваются на производстве сравнительно редко встречающихся или пока отсутствующих на рынке товаров и услуг. В этом случае фирма должна иметь в виду, что чем новее, технически совершеннее изделие, чем больше нововведений, заложенных в нем, тем большему коммерческому риску подвергает себя фирма, т.к. трудно узнать у людей, сколь охотно они желают покупать то, чего никогда прежде не видели и в чем до сих пор не нуждались. И здесь надо иметь в виду то, что выпуск принципиально нового изделия, не имеющего близких аналогов, требует принципиально нового подхода к маркетингу.

Таким образом, чтобы успешно конкурировать на рынках, необходимо своевременно предвидеть малейшие изменения в предпочтениях потребителей. Тем более важно всегда видеть общие тенденции, чтобы в строгом соответствии с ними формировать стратегию фирмы. Прежде всего, надлежит как можно точнее узнать, что именно потребители ценят больше всего, какие свойства изделий или качественные параметры услуг им больше по душе, и чем полнее соответствует товар желаниям потребителя, тем большего успеха добьется потребитель. И при этом пренебрегать данными научных исследований, статистических отчетов и сборников не следует.

Конкурентоспособность — это та особая зона, в которой в известных пределах

интересы производителей и потребителей сходятся. Следовательно, при оценке конкурентоспособности учитываются не только совокупность показателей, относящихся в основном к сфере заключения сделок и эксплуатации товара, но и другие критерии (комплекс условий его реализации, возможности поставок, сервисного обслуживания, утилизации и др.), важные для потребителей конкретного рынка.

Делая выводы из вышесказанного, можно с уверенностью выделить следующие моменты:

- полностью конкурентоспособной может быть признана только такая продукция, которая обладает различными по своей природе показателями, не уступающими (по крайней мере) соответствующим показателям проданного товара в условиях конкретного рынка;

- основой для оценки конкурентоспособности любого вида продукции должно являться комплексное исследование рынка методами современного маркетинга, что позволит не просто определить некоторый абстрактный «базовый образец», но и правильно оценить место анализируемого объекта на данном рынке в сопоставлении с аналогичными оценками реальных и возможных субъектов рынка;

- при приобретении товара потребитель останавливает свой выбор на том образце среди аналогичных, который в наибольшей степени удовлетворяет его потребностям. Каждая потребность, независимо от того, относится ли она к сфере производства или к сфере личного пользования, характеризуется совокупностью параметров, описывающих область ее существования и содержание необходимого полезного эффекта. Для того, чтобы рассматриваемый вид продукции был пригоден для удовлетворения данной потребности и представлял интерес для покупателя, он также должен обладать комплексом соответствующих параметров. Можно считать идеальным случай, когда совокупности параметров товара и параметров потребностей совпадают. Поэтому для изготовления конкурентоспособной продукции

производитель должен стремиться максимально точно прогнозировать потребности потенциального покупателя;

- для покупателя товара исключительно важное значение имеет величина затрат, необходимых для удовлетворения соответствующих потребностей. При этом в случае наукоемкой продукции покупатель обычно несет затраты как при приобретении товара, так и при его эксплуатации. Общую сумму затрат при анализе конкурентоспособности называют «ценой потребления»;

- доля фирмы на рынке зависит от ее доли в предыдущий период и потенциала конкурентоспособности товара в данный момент времени: высокий потенциал способен нарушить существующее на рынке равновесие или изменить характер протекания переходных процессов перераспределения в свою пользу; низкий потенциал не способен оказать влияние на рыночные процессы.

Подведя итог вышесказанному, следует сказать, что оценка конкурентоспособности является ключевой в задаче выбора правильной конкурентной стратегии. Проблема анализа и оценки конкурентоспособности продукции должна решаться на основе согласованного применения теоретического и прикладного аппарата, созданного в рамках этих двух научных направлений, и включать решение следующих проблем:

- изучение запросов и предпочтений потенциальных покупателей продукции;
- организация мониторинга рынка с целью сбора информации об условиях сбыта продукции, фирмах и товарах-конкурентах;

- разработка единой системы показателей качества продукции, используемой как ее производителем, так и потребителем;

- конструирование обобщенной модели исследуемой проблемы, в том числе формирование множества факторов, влияющих на конкурентоспособность и определение их взаимосвязей;

- формирование общих подходов к количественной оценке конкурентоспособности продукции, разработка частных методов, алгоритмов и процедур решения задач, относящихся к данной проблеме;

- анализ динамики конкурентоспособности продукции в целом и факторов, ее определяющих;

- определение уровня конкурентоспособности продукции, обеспечивающего заданный объем прибыли или необходимую долю рынка.

Библиографический список

1. Виханский, О.С. Менеджмент / О.С. Виханский – М.: Гардарики, 2000.
2. Введение в теорию маркетинга : учеб. пособие / В.И. Дорошев. – М.: Инфра-М, 2000.
3. Пешкова, Е.И. Маркетинговый анализ деятельности фирмы / Е.И. Пешкова. – М.: «Ось-89», 1998.
4. Методические рекомендации по организации снабженческо-сбытовой деятельности предприятия на основе маркетинга. – М.: Изд. дом «Новый Век», 2000.
5. Котлер, Ф. Основы маркетинга / Ф. Котлер. – М.: «Бизнес книга», 1995.
6. Ценообразование и рынок: пер. с англ / под общ. ред. Е.И. Лунина, С.Б. Рычкова. – М.: Прогресс, 1998.
7. Современный маркетинг. – М.: Финансы и статистика, 2001.

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЯЗЫЧКОВ ГОЛОСОВЫХ ПЛАНОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

М.И. ВАСИЛЬЕВ, доц. каф. сопротивления материалов МГУЛ, канд. техн. наук

Определение особенностей формирования спектров колебаний голосовых язычков при различных условиях возбуждения проводилось с применением бесконтактного спекл-датчика. Основной объем исследований проводился с голосовыми язычками отечественного (Тула, Санкт-Петербург) и импортного (Италия, Чехия) производства при аэродинамическом нагружении различной интенсивности.

По результатам экспериментов построено большое количество графиков, накоплен большой фактический материал для последующего анализа. В ходе экспериментов выявлено большое число интересных особенностей колебаний язычков голосовых планок при аэродинамическом нагружении.

Особый интерес представляет взаимодействие первой и второй гармоник колебаний. Дело в том, что с ростом давления в большинстве случаев возрастает вторая гармоническая составляющая колебаний, амплитуда которой при некоторых условиях в несколько раз превышает амплитуду основной частоты колебаний (происходит срыв).

Это явление зарегистрировано при исследованиях язычков тульских и санкт-петербургских наборов. Данное явление можно объяснить с качественной стороны.

Механизм самовозбуждения колебаний язычка голосовой планки следующий: при повышении давления (или при понижении) в рабочей камере щель между язычком и планкой перекрывается, за счет чего при постоянном подтоке давление в рабочей камере несколько повышается. Под действием этой распределенной нагрузки язычок прогибается внутрь планки и выходит с другой стороны, тем самым резко увеличивая зазор. Давление в камере при этом резко падает, и силы упругости язычка, стремясь вернуть язычок в положение статистического равновесия, по инерции пе-

ремещают его в другое крайнее амплитудное положение, при котором зазор между язычком и планкой тоже имеет большую величину, вследствие чего происходит очередное падение давления и существенное превышение сил упругости над действующими на язычок со стороны воздушного потока силами.

Проведенные экспериментальные исследования позволили выделить три принципиально различные фазы колебаний язычка. Так, при малых давлениях и, следовательно, малых амплитудах колебаний язычок издает чистый тон, характеризующийся наличием мощной первой гармоники, при повышении давления гармонический состав становится более сложным, и, наконец, при высоких давлениях происходит срыв, характеризующийся мощной второй гармоникой.

Для анализа явления рассмотрим колебания язычка в промежуточном (рабочем) состоянии. Предположим, что язычок совершает колебания с основной частотой p . С целью упрощения анализа колебания язычка будем описывать одной переменной – смещением конца язычка от положения статистического равновесия. Нормальный режим характеризуется тем, что амплитуда колебаний язычка больше толщины голосовой планки, поэтому изменение величины зазора от положения язычка имеет вид, приведенный на рис. 1. График же зависимости изменения во времени давления в рабочей камере на качественном уровне будет иметь следующий вид – рис. 2а.

Как видно из графика, период функции (P_f) совпадает с периодом колебаний, хотя и отчетливо видна вторая гармоническая составляющая. Отметим, что глубокая впадина на графике соответствует внешнему положению язычка (т.е. когда он находится в крайнем положении снаружи планки), меньшая впадина – противоположному положению (внутреннему).

При малых давлениях, в случае, когда язычок, входя внутрь планки, не выходит из проема с противоположной стороны, график зависимости (P_t), очевидно, не будет иметь меньшей впадины, а следова-

тельно, и интенсивной второй гармонике в разложении нагрузки в ряд Фурье, что, по-видимому, соответствует более чистым токам. Данная зависимость (P_t) приведена на рис. 2б.

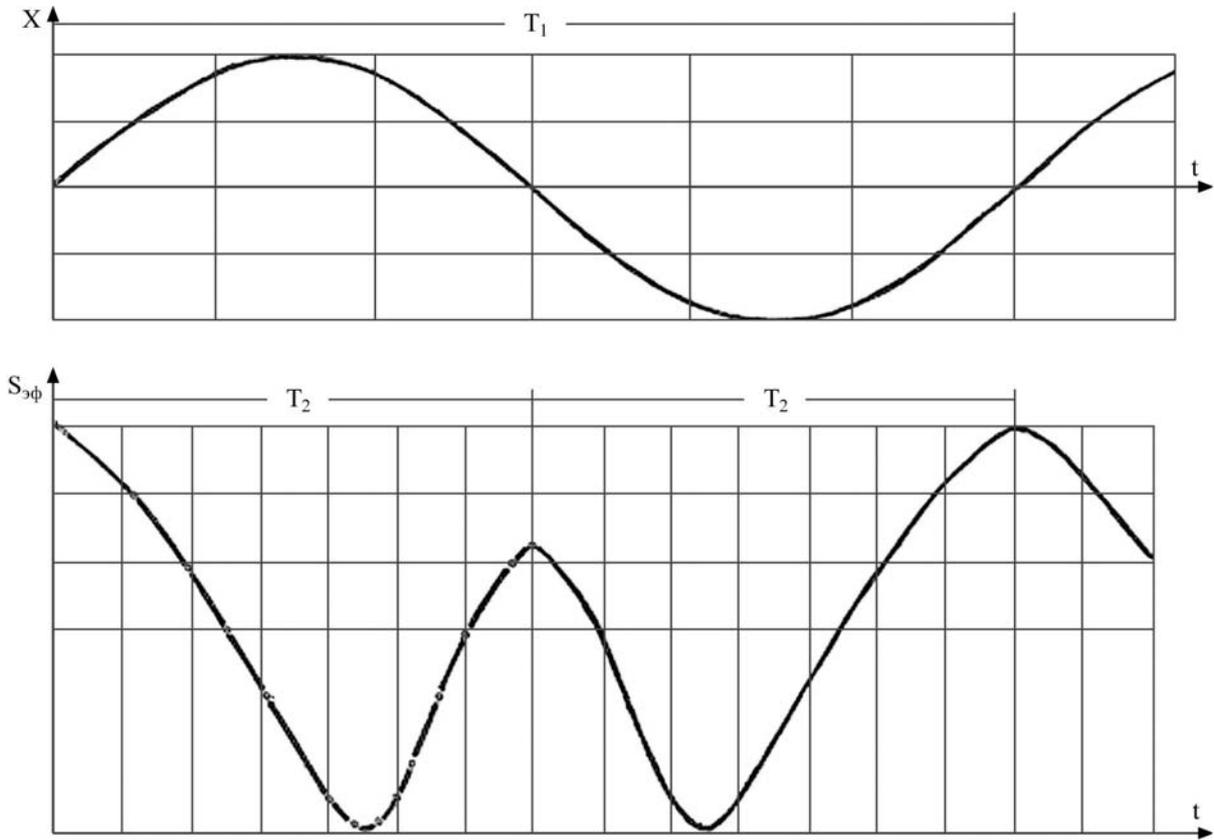


Рис. 1

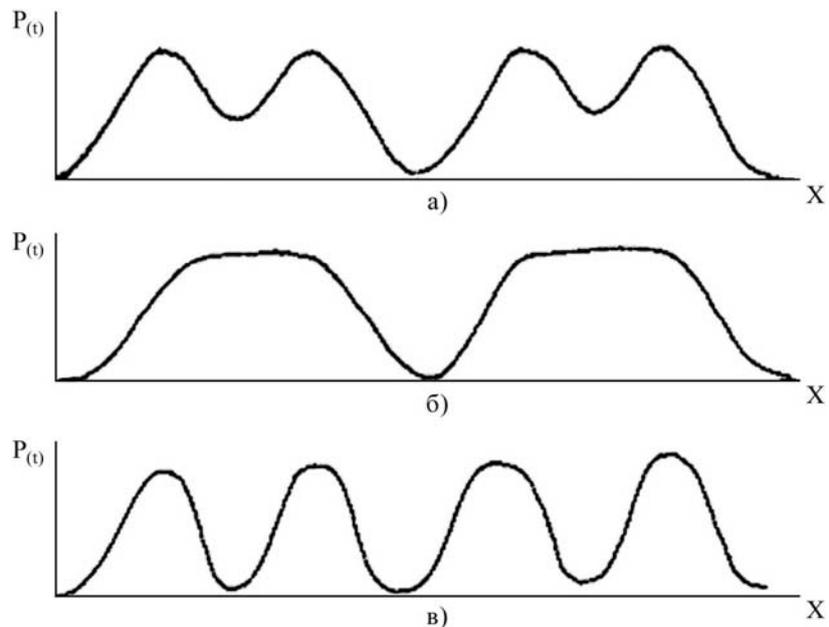


Рис. 2

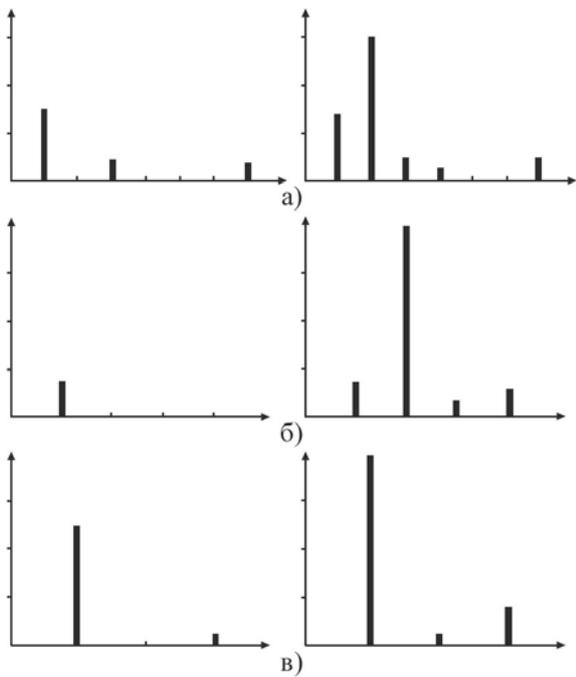


Рис. 3. Спектр сигнала датчика давления: а) «Рассодия» «ЛЯ 2»; б) чешский набор, планка № 1; в) чешский набор, планка № 6

При больших давлениях исходный график тоже модифицируются. При увеличении давления изменяется положение статистического равновесия (оно смещается глубже внутрь планки), и эффективное отверстие становится примерно одинаковым при открывании рабочей камеры в ту и другую сторону. Это приводит к трансформации графика (P_t) – рис. 2в, что ведет к преобладанию второй гармонической составляющей.

Приведенные выше рассуждения неоднократно подтверждались в ходе экспериментов. Для исследования пульсаций давления в рабочей камере был использован пьезокерамический датчик давлений (круглая пьезокерамическая пластинка). Сигнал с датчика поступал на вход анализатора спектра. На рис. 3 приведен гармонический состав сигнала, полученного с датчика давлений при малых и больших давлениях для различных язычков.

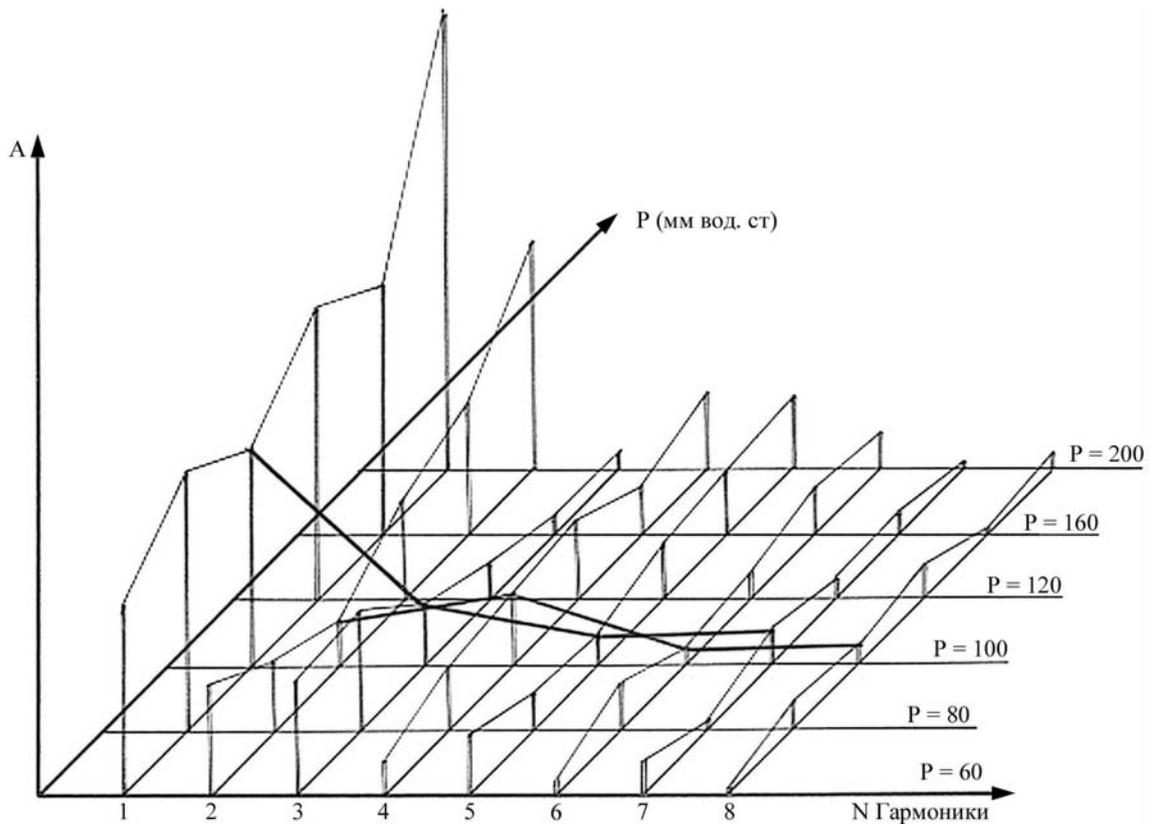


Рис. 4. Зависимость гармонического состава колебаний язычка «ЛЯ 1» «Рассодия» от давления в рабочей камере

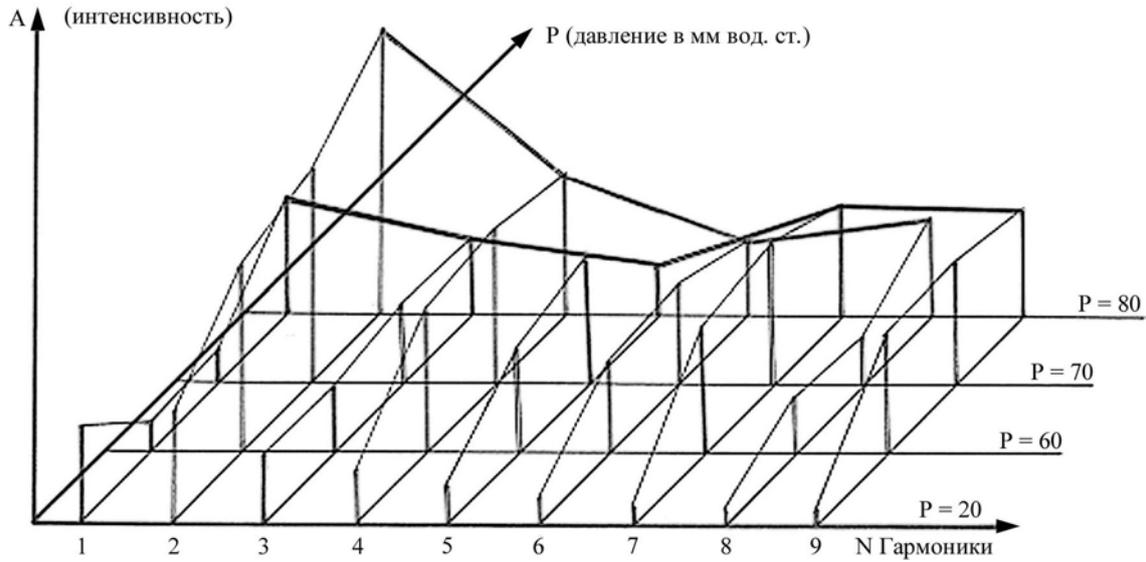


Рис. 5. Зависимость гармонического состава колебаний язычка планки № 1 чешского комплекта от давления в рабочей камере

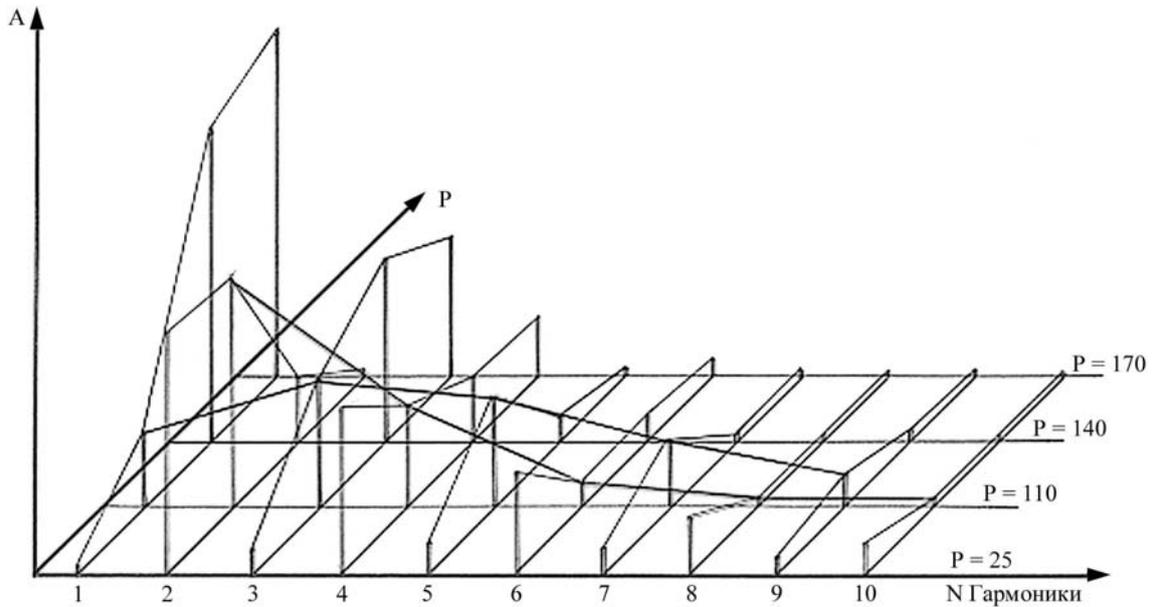


Рис. 6. Зависимость гармонического состава колебаний язычка «ЛЯ» контроктавы итальянского набора

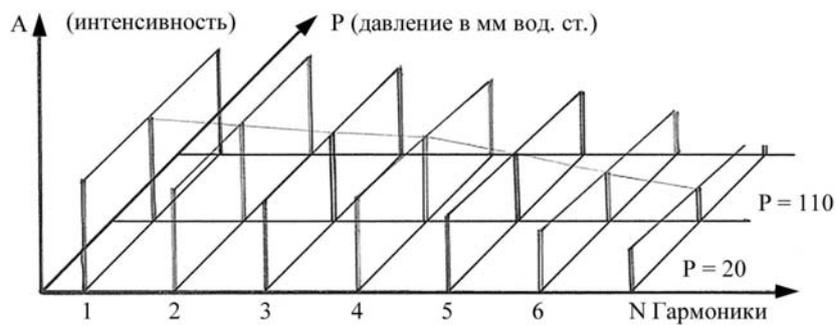
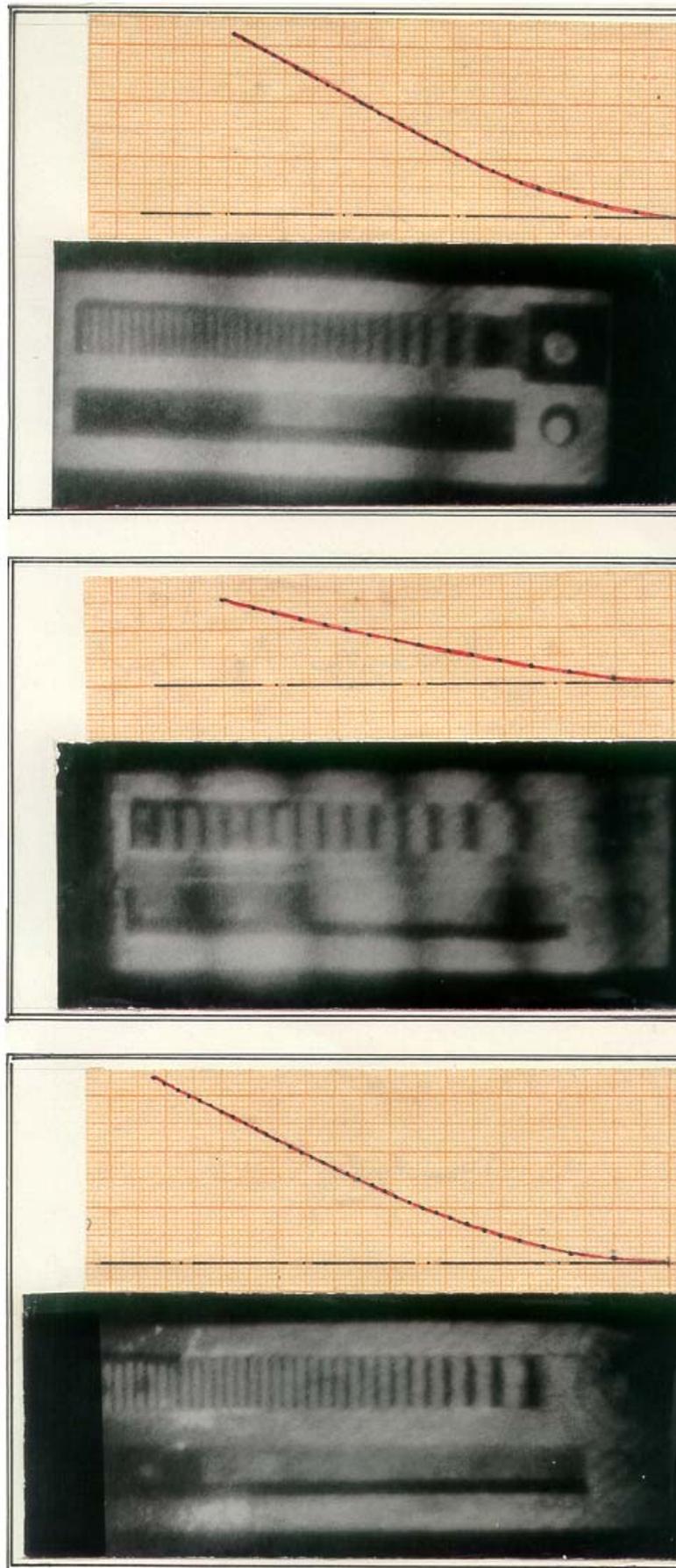


Рис. 7. Зависимость гармонического состава колебаний язычка планки № 2 чешского набора от давления в рабочей камере

Интерферограмма и вид упругой линии язычков



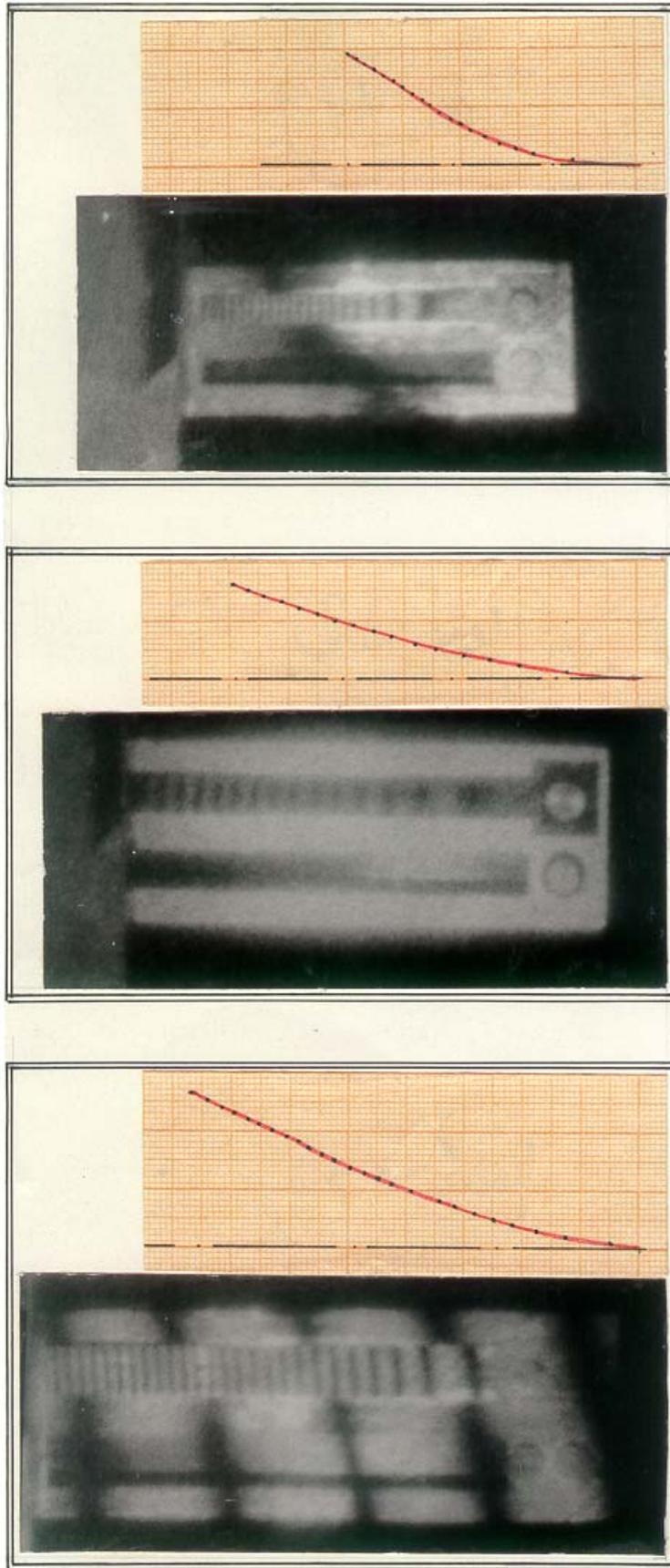
№ 1 чешский комплект

«ЛЯ 1» «Рапсодия»

«ЛЯ 2» тульского набора

Рис. 8

Интерферограмма и вид упругой линии язычков



«ЛЯ 9» тульского набора

№ 2 чешский комплект

«ЛЯ 2» «Рапсодия»

Рис. 9

На этих графиках отчетливо видно, что при малых давлениях в спектре сигнала мощная первая составляющая, а при увеличении давления вторая гармоника подавляет первую. Отсюда, в частности, можно сделать вывод о том, что одним из основных факторов, влияющих на гармонический состав звука, является величина эффективного зазора, которая, в свою очередь, зависит от жесткости самого язычка, формы проема и толщины голосовой планки.

Следует особо подчеркнуть тот факт, что экспериментально был исследован спектр не звука, а собственно колебаний язычка голосовой планки. В отличие от [1] полученные результаты позволили установить, что форма звуковых колебаний, возникающих в окружающей среде, весьма сильно отличается от синусоиды: в спектре звука явно выражены десятки гармонических обертонов. Это позволяет сделать вывод о том, что источником гармонических обертонов является сам язычок.

Исследование спектров колебаний язычков голосовых планок было проведено с использованием бесконтактного спеклдатчика. Для улучшения отражающих свойств язычка на его поверхность наносилась зеркальная полоска легкой самоклеящейся фольги (ленточный маркер), которая вследствие малого веса не вносит каких бы то ни было изменений в частотность и формы колебаний. На рис. 4–7 в виде трехмерных графиков представлены зависимости гармонического состава колебаний язычка от величины давления в рабочей камере.

В общих тенденциях на основе изучения полученных графиков можно отметить следующее: с повышением давления в рабочей камере, как правило, возрастают первая и вторая гармоники колебаний; вторая гармоника растет существенно быстрее первой; характер изменения интенсивности старших гармоник при повышении давления носит сложный и неоднозначный характер.

Большой интерес представляет график, полученный при исследовании колеба-

ний язычка планки № 2 из набора чешского производства. На графиках рис. 7 отчетливо видно, что гармонический состав практически не зависит от величины давления в рабочей камере и сохраняет свою стабильность в широком диапазоне давлений. По видимому, именно такие язычки и планки следует считать эталонными. Все полученные особенности несомненно являются следствием различия жесткости язычков, геометрических размеров планок и форм проемов. Для анализа характеристик жесткости исследуемых язычков была проведена серия статических испытаний с использованием метода голографической интерферометрии. На рис. 8, 9 представлены фотографии с восстановленных двухэкспозиционных интерферограмм, характеризующих перемещения точек плоскости голосовых язычков при равномерно распределенной статической нагрузке. Характер упругой линии язычка, построенной по результатам голографических экспериментов, аналогичен упругой линии в колеблющемся по основной форме язычке при аэродинамическом нагружении. Анализ результатов показывает, что форма упругой линии для всех исследованных язычков различна, кроме того, различна величина максимального прогиба. Наличие присоединенной массы на конце язычков (тульского, Санкт-Петербургского и чешского производства) препятствует повороту сечения язычка вокруг продольной оси; у некоторых исследованных язычков наклон интерференционных линий по отношению к линии заделки свидетельствует об имеющемся незначительном закручивании.

Необходимо отметить, что наличие таких локальных неоднородностей характеристик жесткости может привести к возникновению сложных, трудноанализируемых явлений.

Библиографический список

1. Константинов, Б.П. Гидродинамическое звукообразование и распространение звука в ограниченной среде / Б.П. Константинов. – Л.: Наука, 1974.

В этом номере журнала продолжена публикация цикла статей по различным прикладным вопросам современной дискретной математики. Авторы работ, вошедших в этот выпуск и представляющих различные коллективы, объединяет давнее творческое сотрудничество, совместное участие в научных семинарах, конференциях и разработках важнейших научно-исследовательских направлений современной прикладной математики. Сложившееся научное содружество позволяет выделить наиболее интересные и актуальные научные проблемы, наметить вероятные пути их решения и оценить уровень и значение полученных результатов.

Ниже читателю будут предложены работы, относящиеся к теории булевых и k -значных функций, комбинаторики, теории информации, а также работы в области дискретной оптимизации, включая проблематику алгоритмов направленного поиска и генетических алгоритмов. Одна из работ посвящена решению технических задач обеспечения систем открытого образования.

В большинстве статей усматривается преемственная связь (прямая или косвенная) с ранее опубликованными статьями в изданиях «Вестника Московского государственного университета леса. – Лесного вестника». (см., напр., циклы работ в журналах № 1 (26) за 2003 г. и № 1 (32), № 4 (35) за 2004 г.). Таким образом, журнал стал своего рода научным центром, консолидирующим усилия специалистов в области прикладной дискретной математики, и занял заметное положение среди отечественных журналов, освещающих актуальные и перспективные направления исследований.

Коллектив авторов благодарит редакцию журнала за предоставленную возможность познакомить широкий круг читателей журнала с последними результатами своих научных исследований.

В настоящее время установлены тесные контакты между межвузовским семинаром, организованным коллективом авторов еще в 2003 г., и научно-методическим семинаром кафедры высшей математики МГУ леса. Всех читателей, которых заинтересовали статьи представленного цикла, мы приглашаем к сотрудничеству и обмену мнениями по данной проблематике.

(С предложениями можно обращаться к заведующему кафедрой высшей математики МГУ леса профессору К.К.Рыбникову – контактные телефоны: 588-51-26, 588-55-26)

Действительный член РАЕН,
доктор технических наук В.Г. Никонов,
заведующий кафедрой высшей математики МГУ леса, профессор,
кандидат физико-математических наук К.К. Рыбников

НЕКОТОРЫЕ КЛАССЫ ФУНКЦИЙ k -ЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ БЕЗ ЗАПРЕТА

В.Г. НИКОНОВ, проф. объединения ТВП, действительный член РАЕН, д-р техн. наук,
Н.В. НИКОНОВ, научный сотрудник лаборатории ТВП

В статье продолжено исследование понятия запрета функции, связанное с анализом систем уравнений сдвигового типа, начатое в работах [1–3] для булевого случая и проводимое в статьях [4, 5] для k -значной области. В указанных работах основное внимание уделялось описанию классов k -значных функций с запретом, изучению строения запретных комбинаций и методики доказательства несовместности соответствующих систем уравнений, использующей метод разделяющих плоскостей [6–8]. В отличие от предыдущих, данная статья целиком посвящена исследованию классов k -значных функций без запрета и их конструктивному описанию [9].

Основные положения теории запретов булевых функций были изложены в статье [3] и легко распространяются на k -значный случай [4, 5], однако для логической полноты изложения представляется целесообразным напомнить читателю некоторые базовые понятия и утверждения.

Пусть $f^k(\vec{x}) = f^k(x_1, \dots, x_n)$ – k -значная функция от n переменных ($n \geq 2$), причем x_1, x_n – ее существенные аргументы, а среди x_2, \dots, x_{n-1} могут быть и фиктивные. Аргументы x_1, x_n функции $f^k(\vec{x})$ назовем крайними, x_2, \dots, x_{n-1} – внутренними.

Определение 1

Под весом k -значной функции f^k понимается вектор длины k

$$\vec{w}(f^k) = (w_0, w_1, \dots, w_{k-1}),$$

где w_α – число наборов (x_1, \dots, x_n) , на которых функция принимает значение α

$$w_\alpha = \left| (x_1, \dots, x_n) / f^k(x_1, \dots, x_n) = \alpha \right|.$$

Функция $f^k(\vec{x})$ называется равновероятной, если $w_0 = w_1 = \dots = w_{k-1} = k^{n-1}$.

Определение 2

Будем говорить, что k -значная функция $f^k(\vec{x})$ линейна по существенному аргументу x_j , если ее можно представить в виде

$$f^k(\vec{x}) = x_j + f_1^k(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n) \pmod{k},$$

где f_1^k – некоторая k -значная функция, не зависящая от аргумента x_j ; в противном случае будем говорить, что функция $f^k(\vec{x})$ нелинейна по существенному аргументу x_j .

Заметим, что функция

$$f_1^k(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$$

может и не иметь представления в виде полинома.

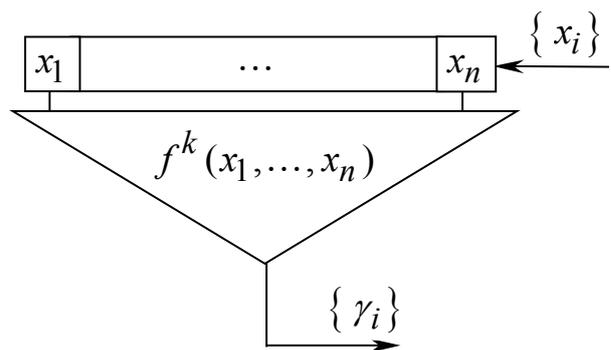


Рис. 1

Рассмотрим узел усложнения (рис. 1), состоящий из регистра сдвига длины « n » и k -значной функции f^k , перерабатывающий произвольную входную последовательность $\{x_i\}$ в выходную последовательность $\{y_i\}$.

Определение 3

Назовем функцию $f^k(\vec{x})$ сильноравновероятной, если для любого натурального N и любого набора значений $(\gamma_1, \dots, \gamma_N)$ система k -значных уравнений, порождаемая схемой, представленной на рис. 1,

$$\left\{ \begin{array}{l} f^k(x_1, \dots, x_n) = \gamma_1 \\ f^k(x_2, \dots, x_{n+1}) = \gamma_2 \\ \vdots \\ f^k(x_N, \dots, x_{n+N-1}) = \gamma_N \end{array} \right. \quad (1)$$

имеет ровно k^{n-1} решений.

Очевидно, любая сильноравновероятная функция является равновероятной (достаточно в системе (1) положить $N = 1$). Обратное, как легко показать, неверно.

Определение 4

Комбинация знаков выходной последовательности $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ называется запретом функции $f^k(\vec{x})$, если система вида (1) несовместна. Если система (1) для любого N и любой комбинации знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ совместна, то будем говорить, что $f^k(\vec{x})$ не имеет запрета.

Теорема 1

Функция $f^k(\vec{x})$ не имеет запрета тогда и только тогда, когда она сильноравновероятна.

Из теоремы вытекает очевидное следствие.

Следствие

Если функция $f^k(\vec{x})$ неравновероятна, то она имеет запрет.

Графы де Брейна дают удобную интерпретацию функций без запрета.

Определение 5

Графом де Брейна k -значной функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ называется ориентированный граф $J_n^k(f^k)$, вершинами которого являются все k^n векторов

$$\vec{\varepsilon}_j = (\varepsilon_1^{(j)}, \dots, \varepsilon_n^{(j)}),$$

$$\varepsilon_i^{(j)} \in \{0, \dots, k-1\}, \quad j = 1, k^n,$$

окрашенных цветом $f^k(\varepsilon_1^{(j)}, \dots, \varepsilon_n^{(j)})$, а ориентированной дугой соединяется вершина $\vec{\varepsilon}_{j_1}$ с вершиной $\vec{\varepsilon}_{j_2}$, если состояние $\vec{\varepsilon}_{j_1}$ преобразуется в состояние $\vec{\varepsilon}_{j_2}$ вследствие сдвига на один такт влево

$$(\varepsilon_1^{(j)}, \dots, \varepsilon_n^{(j)}) \rightarrow (\varepsilon_2^{(j)}, \dots, \varepsilon_{n+1}^{(j)}).$$

Определение 6

Граф де Брейна $J_n^k(f^k)$ k -значной функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ называется политомическим в прямую сторону, если в любую вершину графа входят дуги, исходящие из вершин, окрашенных во все разные k цветов.

Граф де Брейна $J_n^k(f^k)$ k -значной функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ называется политомическим в обратную сторону, если из любой вершины графа исходят дуги, входящие в вершины, окрашенные во все разные k цветов.

Теорема 2

Если у функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ граф де Брейна $J_n^k(f^k)$ политомический в прямую (или в обратную) сторону, то функция $f^k(x_1, \dots, x_n)$ без запрета.

Пример 1

Рассмотрим функцию $f^3(x_1, x_2)$, заданную условием

$$\left\{ \begin{array}{l} f^3(0, x_2) = x_2 \\ f^3(1, x_2) = 2x_2 \\ f^3(2, x_2) = x_2 \end{array} \right.$$

Покажем, что граф де Брейна этой функции является политомическим в обратную сторону (рис. 2).

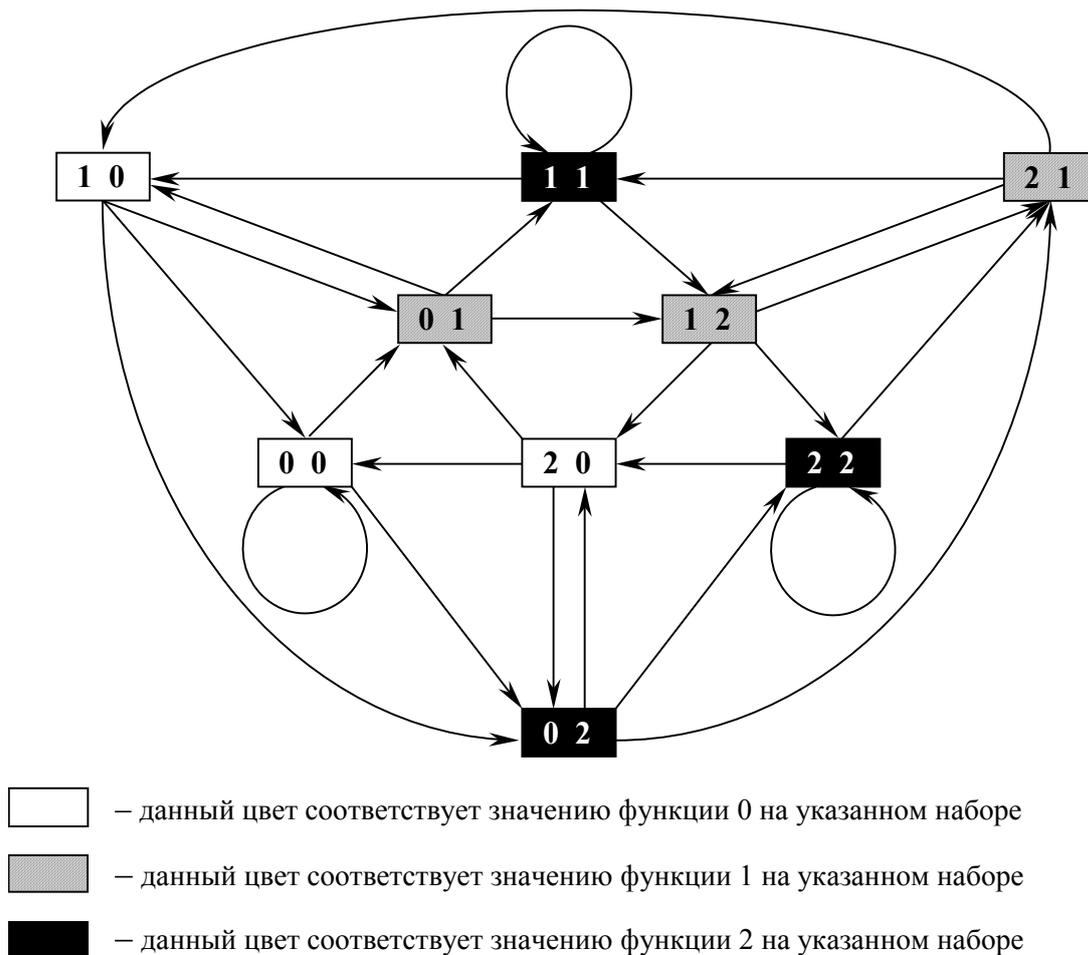


Рис. 2

В самом деле, при любой фиксации первой переменной $x_1 = \varepsilon_1$ выбором второй переменной можно добиться появления произвольного заранее заданного значения функции $f^3(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$: для $\varepsilon_1 = 0, 2$ выбор x_2 тривиален, для $\varepsilon_1 = 1$ уравнение $\gamma = 2x_2 \pmod{3}$ также обратимо, $x_2 = 2\gamma \pmod{3}$. Из установленной таким образом политомичности графа де Брейна вытекает, что функция $f^3(x_1, x_2)$ – без запрета.

Докажем, что данная функция нелинейна по своим крайним переменным.

Предположим сначала, что $f^3(x_1, x_2)$ линейна по переменной x_2 , т.е. представляется в виде

$$f^3(x_1, x_2) = g^3(x_1) + ax_2 \pmod{3}.$$

В соответствии с заданием функции $f^3(0, x_2) = g^3(0) + ax_2 = x_2 \pmod{3}$, следовательно, $a = 1$, т.е.

$$f^3(x_1, x_2) = g^3(x_1) + x_2 \pmod{3}.$$

Подставляя $x_1 = 1$, получаем

$$f^3(1, x_2) = g^3(1) + x_2 = 2x_2 \pmod{3},$$

что заключает в себе противоречие, т.к. $g^3(1)$ – константа, не зависящая от x_2 .

Остается допустить, что $f^3(x_1, x_2)$ линейна по переменной x_1 , т.е. представляется в виде

$$f^3(x_1, x_2) = bx_1 + g^3(x_2) \pmod{3}.$$

Из задания функции вытекает, что $f^3(x_1, 0) \equiv 0$ независимо от значения x_1 ,

поэтому $f^3(x_1, 0) = bx_1 + g^3(0) \equiv 0 \pmod{3}$,
 т.е. $b = 0, g^3(0) = 0$. Следовательно,
 $f^3(x_1, x_2) = g^3(x_2) \pmod{3}$ и $f^3(x_1, x_2)$ не
 зависит от x_1 , что противоречит заданию
 функции, в частности

$$f^3(0, 1) = 1; f^3(1, 1) = 2; f^3(2, 1) = 1.$$

Таким образом, доказано, что функ-
 ции $f^3(x_1, x_2)$ без запрета, но нелинейна по
 своим крайним переменным.

Рассмотренный пример соответство-
 вал случаю, когда значность логики – про-
 стое число, и любая k -значная функция имеет
 полиномиальное представление.

В то же время для составного « k »
 уже при $k = 4$ можно указать функцию без
 запрета, зависящую лишь от одной перемен-
 ной, для которой не существует полиноми-
 ального представления.

Пример 2

Т а б л и ц а

x	$f^4(x)$
0	0
1	2
2	1
3	3

Пример такой функции задан в таб-
 ллице. Функция $f^4(x)$ принимает все воз-
 возможные при $k = 4$ значения: 0, 1, 2, 3, по-
 этому запрета не имеет. Вместе с тем, на
 четных значениях $x = 0, 2$ функция $f^4(x)$
 не сохраняет отношение четности, поэтому
 она не может быть задана с помощью поли-
 нома.

Условию, при котором k -значная
 функция $y = f^k(x)$ одной переменной не
 имеет запрета, можно придать иную трак-
 товку: в этом случае, отображение
 $x \rightarrow y$ является взаимно однозначным. Осо-
 бый интерес это условие приобретает при
 $k = 2^m$, когда и переменная x , и значение
 функции y можно задать в векторном виде

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix}, y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix},$$

а отображение $x \rightarrow y$ – системой функций

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, \dots, x_m) \\ y_2 &= f_2(x_1, \dots, x_m) \\ &\vdots \\ y_m &= f_m(x_1, \dots, x_m). \end{aligned} \quad (2)$$

Система функций f_1, f_2, \dots, f_m , за-
 дающая взаимно-однозначное отображение,
 получила название регулярной. Изучению
 строения регулярных систем функций по-
 священо большое число публикаций. В ряде
 работ ([10, 11] исследовалась возможность
 задания функций регулярной системы с по-
 мощью лишь одной порождающей функции
 $f_0(x_1, \dots, x_n)$ и совокупности простых пре-
 образований σ_i , действующих на перемен-
 ные x_1, \dots, x_m , например, перестановок и ин-
 вертирования переменных

$$f_i(x_1, \dots, x_m) = f_0(\sigma_i(x_1, \dots, x_m)).$$

При $k = 2^m$ полностью решен вопрос
 о представлении полиномом над кольцом
 $\mathbb{Z}/2^m$ функции одной переменной, задаю-
 щей взаимно однозначное отображение и
 поэтому не имеющей запрета: полином од-
 ного переменного

$$F(x) = q_0 + q_1x + \dots + q_r x^r \pmod{2^m} \quad (3)$$

задает взаимно однозначное отображение
 тогда и только тогда, когда

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^r q_i &\equiv 1 \pmod{2}, \\ \sum_{i=1}^r q_{2i+1} &\equiv 0 \pmod{2}, \\ q_1 &\equiv 1 \pmod{2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Продолжим рассмотрение случая
 $k = 2^m$ для функций без запрета, но уже за-
 висящих от 2-х и более переменных.

Для функции 2-х переменных $f^k(x_1, x_2)$ рассмотрим таблицу ее значений $y = f^k(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ на рис. 3. Условие политомичности графа де Брейна для этой функции в прямую и обратную сторону эквивалентно тому, что на рис. 3 каждая строка или соответственно каждый столбец задают перестановку знаков логики $0, 1, \dots, k-1$. Таким образом, если значения k -значной функции образуют подстановку по переменной x_1 либо x_2 , то функция не будет иметь запрета.

Пример такой функции, значения которой образуют подстановку по переменной x_1 , приведен на рис. 4, поэтому граф де Брейна функции $f^k(x_1, x_2)$ – политомический в обратную сторону и данная функция не обладает запретом.

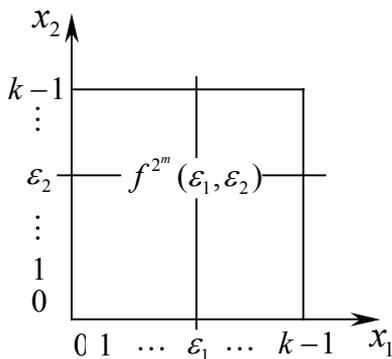


Рис. 3

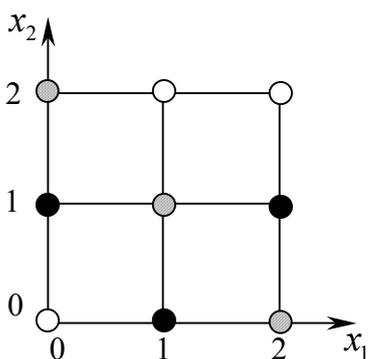


Рис. 4

Частным случаем, при котором одновременно выполняются оба условия политомичности графа де Брейна функции в прямую и обратную сторону, является латин-

ский квадрат. Обозначим класс k -значных функций двух переменных, таблица значений каждой из которых образует латинский квадрат, как $H(k)$. Сформулируем утверждение, справедливое для любого k .

Теорема 3

Если $f^k(x_1, x_2) \in H(k)$, то функция $f^k(x_1, x_2)$ без запрета.

Для того чтобы при $k = 2^m$ задаваемая полиномом функция $f^k(x_1, x_2)$ образовывала латинский квадрат, необходимо, чтобы каждая ее подфункция, получающаяся из исходной фиксацией любой переменной, как функция одной переменной, удовлетворяла условиям (4). Легко видеть, что линейные функции вида

$$l(x_1, x_2) = ax_1 + bx_2 \pmod{2^m},$$

где a, b – нечетные числа, принадлежат классу $H(2^m)$.

Среди функций $g^{2^m}(x_1, x_2)$, принадлежащих классу $H(2^m)$, имеются и нелинейные, причем некоторые из них могут быть заданы полиномами простого аналитического вида. Покажем это на примере.

Пример 3

Рассмотрим функцию 2^m -значной логики, задаваемую полиномом

$$h^{2^m}(x_1, x_2) = x_1 + x_2 + 2x_1x_2 \pmod{2^m}. \quad (5)$$

Зафиксируем одну из переменных, пусть x_1 , любым значением $\varepsilon \in \{0, \dots, k-1\}$ и рассмотрим равенство

$$\gamma = \varepsilon + x_2 + 2\varepsilon x_2 \pmod{2^m},$$

которое можно представить в виде

$$\gamma - \varepsilon = x_2(1 + 2\varepsilon) \pmod{2^m}. \quad (6)$$

Элемент $(1 + 2\varepsilon)$ для любого ε нечетный, поэтому всегда обратим в кольце $Z/2^m$, т.е. для него существует обратный элемент $\delta \in \{0, \dots, k-1\}$, такой, что

$$(1 + 2\varepsilon)\delta = 1(\text{mod } 2^m).$$

Умножим на δ обе части равенства (6)

$$(\gamma - \varepsilon)\delta = x_2(\text{mod } 2^m).$$

Последнее равенство позволяет для любого значения γ найти соответствующее ему значение x_2 и устанавливает тем самым взаимно однозначное соответствие между переменной x_2 и значениями функции γ . Аналогичная связь, очевидно, может быть установлена между переменной x_1 и значениями γ , поэтому функция (5) задает латинский квадрат.

Приведенные в рассмотренном примере рассуждения позволяют сформулировать и доказать следующее утверждение.

Теорема 4

Функция 2^m -значной логики n переменных вида

$$f^{2^m}(x_1, \dots, x_n) = x_1 + g^{2^m}(x_2, \dots, x_n) + 2x_1g^{2^m}(x_2, \dots, x_n)(\text{mod } 2^m), \quad (7)$$

где $g^{2^m}(x_2, \dots, x_n)$ – некоторая 2^m -значная функция $n - 1$ переменной, необязательно представляемая полиномом, запрета не имеет.

Для доказательства зафиксируем $(x_2, \dots, x_n) = (\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$ и рассмотрим уравнение

$$\gamma = x_1 + g^{2^m}(\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n) + 2x_1g^{2^m}(\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)(\text{mod } 2^m)$$

или

$$\gamma - g^{2^m}(\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n) = x_1(1 + 2g^{2^m}(\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n))(\text{mod } 2^m). \quad (8)$$

Ввиду обратимости элемента $(1 + 2g^{2^m}(\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n))$ в кольце $Z/2^m$ уравнение (8) позволяет для любого значения γ найти соответствующее значение x_1 , что

свидетельствует о политомичности графа де Брейна и отсутствии запрета у функции (7).

На базе k -значной функции $h^{2^m}(x_1, x_2)$ (5), задающей множеством своих значений латинский квадрат, можно строить сложные функции без запрета, зависящие от большего числа переменных.

Теорема 5

Пусть

$$h^{2^m}(u_1, u_2) \in Z(2^m) \text{ и } g^{2^m}(v_1, \dots, v_{n-1})$$

– произвольная функция 2^m -значной логики, тогда суперпозиция этих функций

$$\psi^{2^m}(x_1, x_2, \dots, x_n) = h^{2^m}(x_1, g^{2^m}(x_2, \dots, x_n))$$

– функция без запрета.

Определим еще один класс k -значных функций, расширяющий класс функций без запрета $H(2^m)$.

Определение 7

Будем говорить, что функция k -значной логики $f^k(x_1, \dots, x_s)$ принадлежит классу $H^s(k)$, если любая ее подфункция

$$f^k \left(x_1, \dots, x_s \middle/ x_{i_1} = \varepsilon_{i_1}, \dots, x_{i_{s-1}} = \varepsilon_{i_{s-1}} \right),$$

полученная фиксацией любых $s - 1$ переменных, принимает все значения $0, 1, \dots, k - 1$.

Очевидно, что $H^2(k) = H(k)$.

Иными словами, любая ее подфункция, зависящая от одной переменной x_j , реализует взаимно однозначное отображение значений x_j в значения функции. Если геометрически представить задание такой функции в виде s -мерного k -звенного куба $V^s(k)$, то его разрез по любому направлению, параллельному оси x_j (для любого j), задает перестановку знаков $0, 1, \dots, k - 1$. Ввиду этого геометрическое задание такой функции можно было бы назвать латинским гиперкубом.

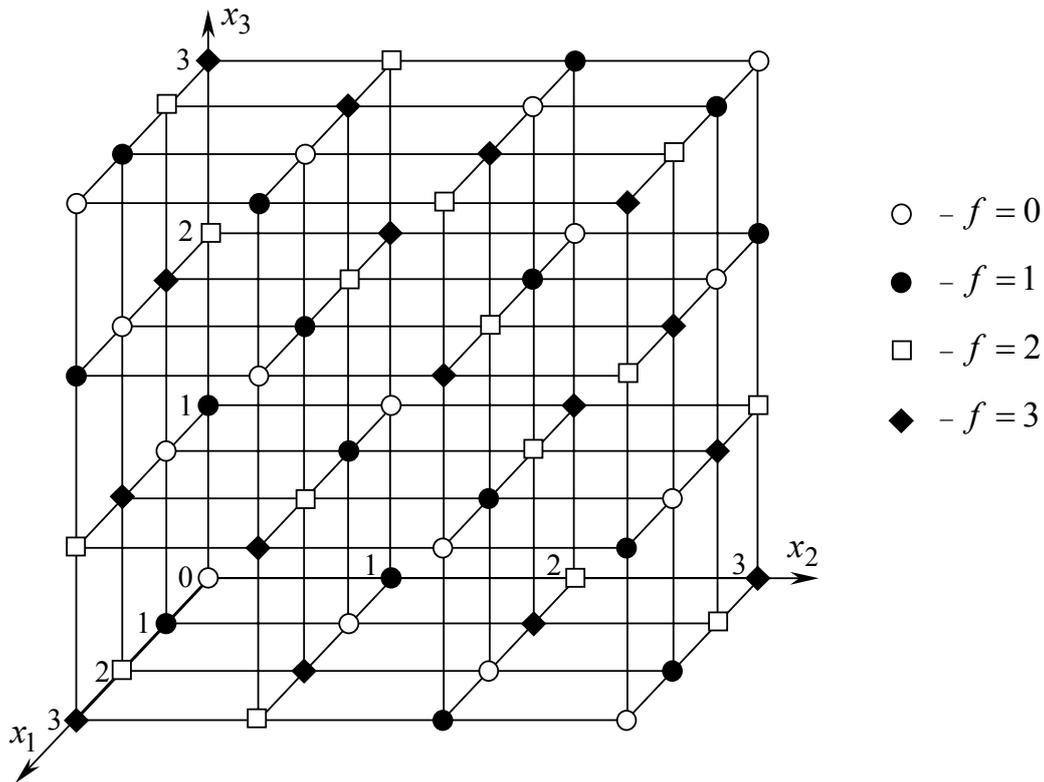


Рис. 5

Теорема 6

Если $f^k(x_1, \dots, x_s) \in H^s(k)$, то для любой подстановки $\begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & s \\ v_1 & v_2 & \dots & v_s \end{pmatrix}$ функция $f^k(x_{v_1}, x_{v_2}, \dots, x_{v_s})$ без запрета.

Теорема 6, справедливость которой следует из определения класса $H^s(k)$, позволяет конструктивно строить функции без запрета, зависящие от сколь угодно большого числа переменных.

Теорема 7

Пусть

$$h_1^k(u_1, u_2), h_2^k(v_1, v_2) \in H(k),$$

тогда $\varphi^k(u_1, v_1, v_2) = h_1^k(u_1, h_2^k(v_1, v_2))$

принадлежит классу $H^3(k)$.

Теорема 7 дает итеративную основу построения семейств функций без запрета. В частности, на базе теоремы 7 можно строить функции без запрета, зависящие от сколь

угодно большого числа переменных, задаваемые полиномом при $k = 2^m$.

Пример 4

Применим теорему 7 для функции (5) и построим функцию уже от 3-х переменных

$$\begin{aligned} \varphi^{2^m}(x_1, x_2, x_3) &= h_1^{2^m}(x_1, h_1^{2^m}(x_2, x_3)) = \\ &= x_1 + (x_2 + x_3 + 2x_2x_3) + 2x_1(x_2 + \\ &+ x_3 + 2x_2x_3) = x_1 + x_2 + x_3 + 2(x_1x_2 + \\ &+ x_1x_3 + x_2x_3) + 4x_1x_2x_3 \pmod{2^m}. \end{aligned}$$

Функция $\varphi^{2^m}(x_1, x_2, x_3)$ порождает латинский куб и не имеет запрета при любой перестановке переменных (рис. 5).

Очевидно, что рассмотренная в примере 5 суперпозиция функций может быть итеративно повторена, что приведет к построению семейства функций без запрета, порождающих своими значениями гиперкубы сколь угодно большой размерности. Например, 4-х мерный латинский куб может быть задан полиномом

$$\begin{aligned} \psi^{2^m}(x_1, x_2, x_3, x_4) &= \varphi^{2^m}(x_1, x_2, h_1^{2^m}(x_3, x_4)) = \\ &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + 2(x_1x_2 + x_1x_3 + x_1x_4 + \\ &+ x_2x_3 + x_2x_4 + x_3x_4) + 4(x_1x_2x_3 + x_1x_2x_4 + \\ &+ x_1x_3x_4 + x_2x_3x_4) + 8x_1x_2x_3x_4 \pmod{2^m}. \end{aligned}$$

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (НШ-2358.2003.9)

Библиографический список

- Смирнов, В.Г. Системы булевых уравнений рекуррентного типа / В.Г. Смирнов // Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 2. – Вып. 3. – 1995. – С. 477–482.
- Колесников, О.В. Использование запретов двоичных функций при решении систем уравнений / О.В. Колесников // Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 2. – Вып. 3. – 1995. – С. 483–493.
- Сумароков, С.Н. Запреты двоичных функций и обратимость для одного класса кодирующих устройств / С.Н. Сумароков // Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 1. – Вып. 1. – 1994. – С. 33–55.
- Никонов, В.Г. О проблемах локальной разрешимости и совместности систем k -значных уравнений сдвигового типа / В.Г. Никонов, Н.В. Никонов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2004. – № 1 (32). – С. 137–142.
- Никонов, Н.В. Применение полиэдральных методов в анализе систем сдвигового типа / Н.В. Никонов // Вестник ИКСИ. Серия «К». – М., 2003. – С. 151–172.
- Балакин, Г.В. Методы сведения булевых уравнений к системам пороговых соотношений / Г.В. Балакин, В.Г. Никонов // Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 1. – Вып. 3. – 1994. – С. 389–401.
- Никонов, В.Г. Пороговые представления булевых функций / В.Г. Никонов // Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 1. – Вып. 3. – 1994. – С. 402–457.
- Никонов, В.Г. Классификация минимальных базисных представлений всех булевых функций от четырех переменных / В.Г. Никонов // Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 1. – Вып. 3. – 1994. – С. 458–545.
- Никонов, В.Г. О строении некоторых классов k -значных функций без запретов / В.Г. Никонов, Н.В. Никонов // Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ОПИПМ. – Т. 12. – Вып. 3. – 2005. – С. 757–758.
- Саранцев, А.В. Построение регулярных систем однотипных двоичных функций с использованием регистра сдвига / А.В. Саранцев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2004. – № 1 (32). – С. 164–169.
- Саранцев, А.В. Регулярные системы однотипных функций: подходы к построению и классификации / А.В. Саранцев // Вестник ИКСИ. Серия «К». – М., 2003. – С. 172–179.

О СВЯЗЯХ И ОТЛИЧИЯХ ПОЛУЗАПРЕТОВ I, II-го РОДА И ЗАПРЕТОВ k -ЗНАЧНЫХ ФУНКЦИЙ

Н.В. НИКОНОВ, научный сотрудник лаборатории ТВП

Проблема анализа систем уравнений сдвигового типа, порождаемых схемой на рис. 1 [1],

$$\left\{ \begin{aligned} f^k(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \gamma_1 \\ f^k(x_2, x_3, \dots, x_{n+1}) &= \gamma_2 \\ &\vdots \\ f^k(x_N, x_{N+1}, \dots, x_{n+N-1}) &= \gamma_N \end{aligned} \right. , \quad (1)$$

где $f^k(\vec{x}) = f^k(x_1, \dots, x_n)$ – k -значная функция от n переменных ($n \geq 2$), причем x_1, x_n – ее существенные аргументы, а среди x_2, \dots, x_{n-1} могут быть и фиктивные, – определяет важное направление прикладной дискретной математики [2, 3].

В работе [3] С.Н. Сумароковым было сформулировано важное понятие запрета булевой функции и критерий отсутствия запрета булевой функции. Эти положения мо-

гут быть распространены и на случай функций k -значной логики.

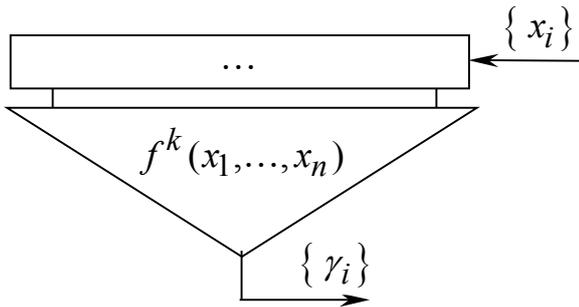


Рис. 1

Определение 1

Комбинацию знаков выходной последовательности

$$\gamma_1, \dots, \gamma_N \tag{2}$$

будем называть запретом k -значной функции $f^k(\vec{x})$, если система вида (1) несовместна. Если система (1) для любого N и любого набора знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ совместна, то будем говорить, что $f^k(\vec{x})$ не имеет запрета.

Теорема 1

Функция $f^k(\vec{x})$ не имеет запрета тогда и только тогда, когда она сильно равновероятна, т.е. для любого натурального N и любого набора значений $(\gamma_1, \dots, \gamma_N)$ система булевых уравнений (1) имеет ровно k^{n-1} решений.

Заметим, что при $N = 1$ условие сильной равновероятности сводится к традиционному определению равновероятной функции, принимающей каждое свое значение ровно на k^{n-1} входных векторах.

Из теоремы вытекает одно важное следствие, описывающее целый класс функций с запретами.

Следствие

Если функция $f^k(\vec{x})$ неравновероятна, то она имеет запрет.

Обратимся к рассмотрению графов де Брейна функций, которые в ряде случаев

помогают установить факт наличия или отсутствия запрета функций.

Определение 2

Графом де Брейна k -значной функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ назовем ориентированный граф $J_n^k(f^k)$, вершинами которого являются все k^n векторов $\vec{\varepsilon}_j = (\varepsilon_1^{(j)}, \dots, \varepsilon_n^{(j)})$, $\varepsilon_i^{(j)} \in \{0, \dots, k-1\}$, $j = 1, k^n$, окрашенных цветом $f^k(\varepsilon_1^{(j)}, \dots, \varepsilon_n^{(j)})$, а ориентированной дугой соединяется вершина $\vec{\varepsilon}_{j_1}$ с вершиной $\vec{\varepsilon}_{j_2}$, если состояние $\vec{\varepsilon}_{j_1}$ преобразуется в состояние $\vec{\varepsilon}_{j_2}$ вследствие сдвига на один такт влево

$$(\varepsilon_1^{(j)}, \dots, \varepsilon_n^{(j)}) \rightarrow (\varepsilon_2^{(j)}, \dots, \varepsilon_{n+1}^{(j)}).$$

Определение 3

Граф де Брейна $J_n^k(f^k)$ k -значной функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ назовем политомическим в прямую сторону, если в любую вершину графа входят дуги, исходящие из вершин, окрашенных во все разные k цветов.

Граф де Брейна $J_n^k(f^k)$ k -значной функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ назовем политомическим в обратную сторону, если из любой вершины графа исходят дуги, входящие в вершины, окрашенные во все разные k цветов.

Теорема 2

Если у функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ граф де Брейна $J_n^k(f^k)$ политомический в прямую (или в обратную) сторону, то функция $f^k(x_1, \dots, x_n)$ без запрета.

Нетрудно заметить, что линейная по крайней переменной функция обладает дихотомическим графом де Брейна и не имеет запрета.

Заметим, что в комбинации знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$, являющейся запретом, некоторые знаки могут оказаться несущественными, т.е. их изменение не влияет на факт несовместности системы (1). Очевидно, что данные знаки можно исключить из задания запретной комбинации, и оставшаяся после исключения несущественных знаков выходная комбинация

$$\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}, \quad (3)$$

где $1 \leq i_1 < \dots < i_M \leq n$, также будет запретом.

Определение 4

Комбинацию знаков (3), в которой все знаки являются существенными, т.е. вычеркивание любого знака повлияет на факт несовместности системы, будем называть несократимым запретом.

Определение 5

Число M в комбинации (3) будем называть длиной запрета; число N в комбинации (2) будем называть полной длиной запрета.

На практике обнаруживается, что при построении запретов их структура зависит от разностей расстояний между существенными переменными, что делает актуальным введение понятия обобщенного запрета.

Пусть дана k -значная функция $f^k(x_1, \dots, x_n)$, существенными переменными которой являются $\delta_{v_1}, \delta_{v_2}, \dots, \delta_{v_t}$, $1 = v_1 < v_2 < \dots < v_t = n$. Введем обозначения для расстояний между существенными переменными функции: $\ell_1 = v_2 - v_1$, $\ell_2 = v_3 - v_2, \dots, \ell_{t-1} = v_t - v_{t-1}$.

Определение 6

Комбинацию знаков выходной последовательности $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$, при которой выбор индексов i_1, \dots, i_M определяется параметрами $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_{t-1}$, будем называть

обобщенным (параметрическим) запретом функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$, если система

$$\begin{cases} f^k(x_{v_1}, x_{v_2}, \dots, x_{v_t}) = \gamma_{i_1} \\ f^k(x_{v_1+\theta_1}, x_{v_2+\theta_1}, \dots, x_{v_t+\theta_1}) = \gamma_{i_1+\theta_1} \\ \vdots \\ f^k(x_{v_1+\theta_{M-1}}, x_{v_2+\theta_{M-1}}, \dots, x_{v_t+\theta_{M-1}}) = \gamma_{i_1+\theta_{M-1}} \end{cases}, \quad (4)$$

где $\theta_j = \phi_j(\ell_1, \dots, \ell_{t-1})$, $j = 1, M-1$ – некоторые функции, принимающие натуральные значения, несовместна при любых $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_{t-1}$.

Таким образом, обобщенный запрет на самом деле описывает целый класс функций с запретом в зависимости от выбора расстояний $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_{t-1}$.

Предпочтительнее строить несократимые обобщенные запреты, в которых вычеркивание любого знака приведет к совместной системе. Хочется отметить, что это свойство не означает, что при любой фиксации параметров $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_{t-1}$ полученный запрет будет несократимым. Рассмотрим пример функции, графическое задание которой приводится на рис. 2.

Пример 1

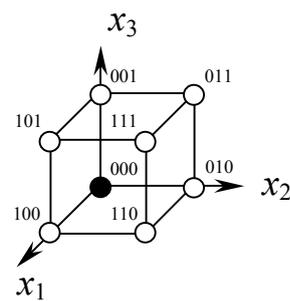


Рис. 2

Данная функция обладает несократимым обобщенным запретом

$$\underbrace{1 \quad 1}_{\ell_1} \quad \underbrace{0}_{\ell_2} \quad \underbrace{1}_{\ell_2}$$

длины 4. Вычеркивание любого знака выписанной комбинации приведет к совместной системе. При фиксации параметров l_1, l_2 значениями 1 и 1 получаем комбинацию 1101 длины 4. Но данная комбинация не является несократимым запретом, т.к. вычеркивание первого знака не меняет свойство несовместности соответствующей системы. Нетрудно показать, что комбинация 101 является несократимым запретом функции при $l_1 = l_2 = 1$.

Однако при других фиксациях параметров l_1, l_2 , например, значениями 1 и 2, получившаяся комбинация 11*0*1 наряду с комбинацией 1101 оказывается несократимым запретом длины 4.

Для некоторых классов функций построение обобщенного запрета, т.е. нахождение системы (4), удобно сопроводить наложением дополнительных ограничений, связывающих параметры l_1, l_2, \dots, l_{t-1} . Таковыми условиями могут быть: равенства и неравенства некоторых целочисленных функций от параметров, условия взаимной простоты или непрототы параметров и другие. В большинстве рассмотренных в классификации булевых функций от 3-х переменных данные ограничения имеют вид $l_1 \neq l_2$ [4].

Определение 7

Комбинацию $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ с выполнением условий (4), удовлетворяющей системе указанных ограничений, будем называть обобщенным запретом функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ с ограничениями.

Заметим, что в некоторых случаях при фиксации параметров l_1, l_2, \dots, l_{t-1} в обобщенном запрете конкретными значениями длина получившейся запретной комбинации может уменьшиться за счет непротиворечивого совпадения знаков. Поясним данное замечание на примере.

Пример 2

Рассмотрим булеву функцию от 3-х переменных, приведенную на рис. 3. Данная

функция обладает несократимым обобщенным запретом

$$\begin{matrix} \overbrace{1}^{l_1} & \overbrace{0}^{l_1} & \overbrace{1}^{l_1} & \overbrace{1}^{l_1} & \overbrace{0}^{l_1} \\ & & \underbrace{1 \ 1}_{l_2} & & \end{matrix}$$

длины 5. При фиксации параметров l_1, l_2 значениями 1 и 1 получаем комбинацию 1010, длина которой равна 4.

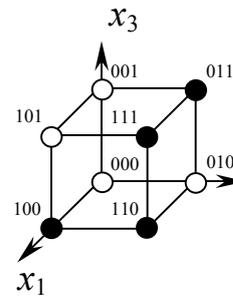


Рис. 3

Отметим, что комбинация знаков

$$\begin{matrix} \overbrace{0}^{l_1} & \overbrace{1}^{l_1} & \overbrace{0}^{l_1} & \overbrace{1}^{l_1} & \overbrace{0}^{l_1} \\ & & \underbrace{0 \ 1}_{l_2} & & \end{matrix}$$

функции является несократимым обобщенным запретом с ограничением $l_1 \neq l_2$.

В связи со сложностью решения классических задач анализа и решения систем вида (1) представляет интерес выделение и исследование структурных подсистем, позволяющих определять отдельные переменные системы (1) либо находить нетривиальные ограничения, налагаемые на отдельные переменные. Данные задачи описываются в терминах полузапретов функции, определения которых приводятся ниже [5, 6].

Определение 8

Полузапретом I-го рода k -значной функции $f^k(\vec{x})$ называется комбинация знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$, для которой в системе (1) однозначно определяется одно или несколько переменных $x_i, x_i \in \{0, \dots, k-1\}$.

Определение 9

Полузапретом II-го рода k -значной функции $f^k(\vec{x})$ называется комбинация

знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$, для которой в системе (1) на отдельные переменные x_i налагаются не тривиальные ограничения, т.е.

$$x_i \in \Omega \subset \{0, \dots, k-1\}.$$

Аналогично определению несократимого и обобщенного запрета вводится понятие несократимого и обобщенного полузапрета.

Очевидно, что полузапрет I-го рода является частным случаем полузапрета II-го рода и что в булевом случае (при $k = 2$) они совпадают. Покажем, что существуют k -значные функции, обладающие полузапретом II-го рода, но не имеющие полузапрета I-го рода.

Пример 3

Рассмотрим функцию 4-значной логики одной переменной

$$\varphi_1^4(x) = x^2 \pmod{4}.$$

Равенство $x^2 = 0$ локализует значение $x \in \{0, 2\}$, равенство $x^2 = 1$ локализует значение $x \in \{1, 3\}$, т.е. знаки $\gamma_0 = 0$ и $\gamma_1 = 1$ – полузапреты II-го рода. В то же время однозначно определить значение x из уравнения $x^2 = \gamma$ невозможно, т.е. полузапрета I-го рода у этой функции нет.

Сформулируем определения эффективности полузапретов I, II-го рода и приведем теоремы, устанавливающие связь наличия полузапрета и запрета функции [5, 6].

Определение 10

Эффективностью обобщенного полузапрета I-го рода $\gamma_1, \dots, \gamma_{i_M}$ назовем параметр

$$e_I = \frac{\nu}{M},$$

где ν – количество однозначно определенных переменных.

Эффективность полузапрета I-го рода дает оценку среднего числа неизвестных, однозначно определяемых при знании одного выходного знака полузапретной комбинации.

Определение 11

Для обобщенного полузапрета II-го рода $\gamma_1, \dots, \gamma_{i_M}$, порождающего систему из M k -значных уравнений с R неизвестными, имеющую μ решений, эффективностью e_{II} назовем отношение

$$e_{II} = \frac{R - \log_k \mu}{M}.$$

Введенное таким образом понятие эффективности для полузапрета II-го рода обусловлено тем, что в случае сведения полузапрета II-го рода к полузапрету I-го рода, однозначно определяющего ν неизвестных, число решений μ равно $\mu = k^{R-\nu}$, что при подстановке в рассматриваемую формулу приводит к уже известному определению 10

$$e_{II} = \frac{R - \log_k k^{R-\nu}}{M} = \frac{\nu}{M} = e_I.$$

Сформулируем теоремы, показывающие связь понятия эффективности и наличия запрета функции.

Теорема 3

Если у k -значной функции $f^k(\vec{x})$ есть обобщенный полузапрет I-го рода $\gamma_1, \dots, \gamma_{i_M}$ с эффективностью $e_I > 1$, то функция $f^k(\vec{y})$ имеет запрет.

Теорема 4

Если у k -значной функции $f^k(\vec{x})$ есть обобщенный полузапрет II-го рода $\gamma_1, \dots, \gamma_{i_M}$ с эффективностью $e_{II} > 1$, то функция $f^k(\vec{y})$ имеет запрет.

Доказательства данных теорем приводились в работе [6] и непосредственно вытекают из нарушения условия сильной равномерности функции при выполнении условий соответствующих теорем.

Теоремы 3 и 4 свидетельствуют об аналитической близости наличия полузапретов I-го и II-го рода с фактом наличия запрета. В то же время необходимо подчеркнуть, что между этими понятиями обнаруживают-

ся и значимые различия, что будет показано ниже [7, 8].

В булевом случае достаточным условием отсутствия полузапрета функции $f(x_1, \dots, x_n)$ является ее антисамодвойственность (или самосопряженность), а именно выполнение условия

$$f(x_1, \dots, x_n) = f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n). \quad (5)$$

Если операцию инвертирования представить в аддитивной форме, то равенство (5) примет вид

$$f(x_1, \dots, x_n) = f(x_1 \oplus 1, \dots, x_n \oplus 1). \quad (6)$$

Равенства (5) и (6) означают, что операция инвертирования всех переменных не меняет значения функции. Если такую функцию поставить в качестве выходной функции узла, построенного на базе регистра сдвига (рис. 1), то никакая выходная комбинация знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ не позволит однозначно определить ни одного входного переменного. Действительно, предположим противное: пусть при появлении на выходе комбинации знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ однозначно определяется некоторый знак $x_i = \varepsilon$. Поставим перед входом на регистр инвертор (рис. 4). В силу условия (4) значения выходной гаммы не изменяются, но при этом окажется, что $x_i = \bar{\varepsilon}$. Получаем противоречие. Следовательно, функция $f(x_1, \dots, x_n)$ полузапретов не имеет.

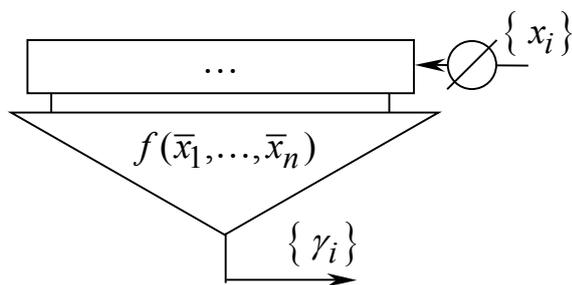


Рис. 4

Далее будем рассматривать преобразования $g \in G$ такие, что выполняется свойство

$$g \cdot f(x_1, \dots, x_n) = f(g(x_1, \dots, x_n)) = f(\hat{g}(x_1), \dots, \hat{g}(x_n)),$$

т.е. преобразование g состоит из одного преобразования \hat{g} , действующего на каждую координату n -мерного двоичного вектора.

Преобразование g инвертирования переменных функции

$$g \cdot f(x_1, \dots, x_n) = f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$$

можно рассматривать как преобразование замены знаков логики 0,1 по подстановке

$$\hat{g} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

одинаково действующей на каждую координату. В k -значном случае преобразование замены знаков логики 0, 1, ..., $k-1$ также задается подстановкой

$$\hat{\sigma} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \dots & k-1 \\ \sigma_0 & \sigma_1 & \dots & \sigma_{k-1} \end{pmatrix},$$

и множество всех таких подстановок образует симметрическую группу S_k .

Поддействуем некоторой подстановкой $\hat{\sigma}$ на все переменные k -значной функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ и положим, что

$$f^k(\hat{\sigma}(x_1), \dots, \hat{\sigma}(x_n)) = f^k(x_1, \dots, x_n). \quad (7)$$

В k -значном случае аналогом свойства антисамодвойственности в булевом случае является свойство отсутствия у преобразования $\hat{\sigma}$ неподвижных точек, что демонстрируется следующей теоремой.

Теорема 5

Если преобразование $\hat{\sigma}$, для которого выполнено равенство (7), не содержит неподвижных точек, то функция $f^k(x_1, \dots, x_n)$ не имеет полузапретов I-го рода.

Доказательство

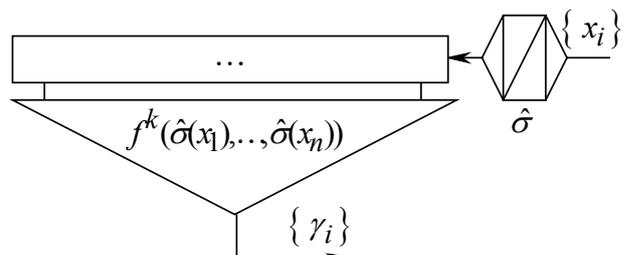


Рис. 5

Рассмотрим схему узла с функцией усложнения $f^k(x_1, \dots, x_n)$ (рис. 1) и предположим, что комбинация знаков выходной последовательности $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ образует полузапрет I-го рода, однозначно определяющий

$$x_i = \varepsilon. \tag{8}$$

Поставим перед входом на регистр сдвига коммутатор логической замены, реализующий преобразование $\hat{\sigma}$, и перейдем к схеме, представленной на рис. 5. В силу равенства (7) выходные последовательности приведенных схем совпадают. Поэтому, исходя из второй схемы, $\hat{\sigma}(x_i) = \varepsilon$, но так как подстановка $\hat{\sigma}$ не содержит неподвижных точек, то $x_i \neq \varepsilon$, что противоречит условию (8).

Приведем пример функции, удовлетворяющей условию теоремы 5 и не обладающей полузапретами I-го рода.

Пример 4

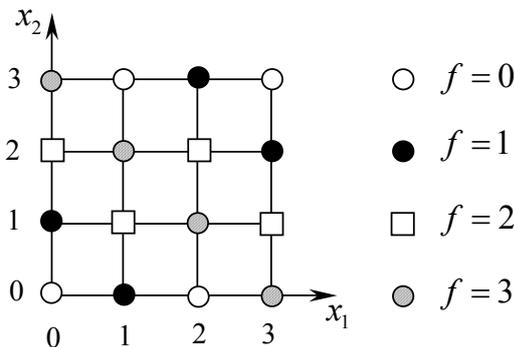


Рис. 6

Преобразование, получившее название «стрелка Лукашевича», осуществляет замену x на $(k-1) - x$. Для четных k эта подстановка не содержит неподвижных точек, в частности, при $k = 4$

$$\hat{\sigma}_{\hat{E}\hat{O}\hat{E}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Рассмотрим функцию двух переменных $\varphi_2^4(x_1, x_2)$, геометрическое задание которой приводится на рис. 6. Непосредственной проверкой устанавливаем, что

$$\varphi_2^4((k-1) - x_1, (k-1) - x_2) = \varphi_2^4(x_1, x_2),$$

следовательно, эта функция не имеет полузапрета I-го рода. Заметим, что эта функция имеет полузапрет II-го рода, а именно из равенства $\varphi_2^4(x_1, x_2) = 2$ следует, что $x_2 \in \{1, 2\}$.

Обозначим через $G(f^k)$ множество подстановок $\hat{\sigma}$, для которых справедливо равенство (7). Очевидно, что множество таких подстановок образует группу. Напомним, что стабилизатором элемента $\delta \in \{0, \dots, k-1\}$ в группе $G(f^k)$ называется множество

$$S(\delta) = \left\{ \hat{\sigma} \in G(f^k) \middle/ \hat{\sigma}(\delta) = \delta \right\}.$$

Теорема 6

Если для любого $\delta \in \{0, \dots, k-1\}$ $|S(\delta)| \neq |G(f^k)|$, то функция $f^k(x_1, \dots, x_n)$ не имеет полузапретов I-го рода.

Доказательство

Предположим, что комбинация знаков выходной последовательности $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ – полузапрет I-го рода, при котором определяется переменная $x_i = \delta$. Перейдем к схеме на рис. 5. Тогда в силу выполнения условия (7) для любой подстановки $\hat{\sigma} \in G(f^k)$ справедливо

$$\hat{\sigma}(x_i) = \delta. \tag{9}$$

Но так как $|S(\delta)| \neq |G(f^k)|$, то существует подстановка $\hat{\sigma} \in G(f^k)$, такая что $\hat{\sigma}(\delta) \neq \delta$. Получаем противоречие с условием (9).

Теорема 7

Если группа $G(f^k)$ транзитивна, то функция $f^k(x_1, \dots, x_n)$ не имеет полузапретов II-го рода, следовательно, и I-го рода.

Доказательство

Предположим, что комбинация знаков выходной последовательности $\gamma_1, \dots, \gamma_N$

– полузапрет II-го рода, локализирующий значение $x_i \in \Omega \subset \{0, 1, \dots, k-1\}$. Перейдем к схеме на рис. 5. Тогда из условия (7) для любой $\hat{\sigma} \in G(f^k)$ вытекает

$$\hat{\sigma}(x_i) \in \Omega. \quad (10)$$

Но в силу транзитивности группы $G(f^k)$ существует подстановка $\hat{\sigma} \in G(f^k)$, для которой свойство (10) выполняться не будет.

Проиллюстрируем применение теоремы 7 на примере, рассмотрев функцию $\varphi_3^4(x_1, x_2)$ 4-значной логики, заданную геометрически (рис. 7).

Пример 5

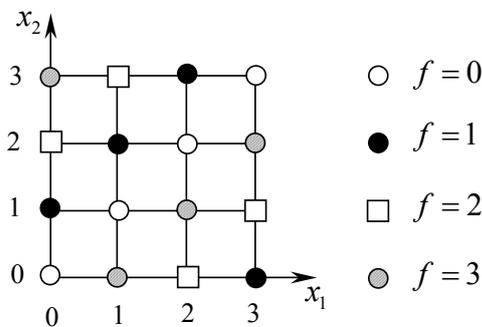


Рис. 7

Из задания функции видно, что прибавление «1» к аргументам функции по mod 4 не меняет значение функции, т.е. выполняется свойство

$$\varphi_3^4(x_1 + 1, x_2 + 1) = \varphi_3^4(x_1, x_2).$$

Следовательно, для преобразования знаков логики

$$\hat{\sigma} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 0 \end{pmatrix}$$

справедливо

$$\varphi_3^4(\hat{\sigma}(x_1), \hat{\sigma}(x_2)) = \varphi_3^4(x_1, x_2). \quad (11)$$

Равенство (11) также будет справедливо и для $\hat{\sigma}^2$, и для $\hat{\sigma}^3$, и для всех подстановок группы $G(f^4) = \langle \hat{\sigma} \rangle$, порождаемой подстановкой сдвига $\hat{\sigma}$, которая является транзитивной группой. Следовательно, по теореме 7, функция $\varphi_3^4(x_1, x_2)$ не имеет полузапретов I-го, II-го рода.

Теоретический, а также прикладной интерес представляет исследование соотношения свойств наличия или отсутствия у функции $f^k(x_1 \dots x_n)$ запретов, а также полузапретов I-го, II-го рода [8]. Изучение этого вопроса удобно сопроводить рассмотрением таблицы, предусматривающей анализ всех возможных соотношений между указанными свойствами (таблица).

Каждому варианту в таблице поставлена в соответствие функция, свидетельствующая о том, что данный класс функций не пуст. Доказательство принадлежности указанных функций выделенным классам проведем последовательно.

1. Функция $f_1^k(x_1 \dots x_n)$ (поле 1).

В работе [5] рассматривалась k -значная функция $f^k(x_1, \dots, x_n)$, удовлетворяющая условию

$$f^k(x_1, \dots, x_n) = \alpha \Rightarrow \begin{cases} x_{v_1} + x_{v_2} \geq \varepsilon, 0 < \varepsilon \leq (k-1), \\ x_{v_3} \leq \delta, 0 \leq \delta < k-1 \end{cases}$$

где $1 \leq v_1 < v_2 < v_3 \leq n$.

Было показано, что если $\varepsilon > 2\delta$, то комбинация

$$\gamma_{i_1} \gamma_{i_1+\ell_1} \gamma_{i_1+\ell_1+\ell_2} = \alpha \overbrace{\alpha}^{\ell_1} \underbrace{\alpha}_{\ell_2} \quad (12)$$

является обобщенным запретом функции $f^k(x_1 \dots x_n)$,

где $\ell_1 = v_2 - v_1$, $\ell_2 = v_3 - v_2$.

Положим $\varepsilon = 1$, $\delta = 0$. Рассмотрим комбинацию знаков (12). Согласно диаграмме, представленной на рис. 8, комбинация (12) порождает систему

$$\begin{cases} a + b \geq 1 \\ c \leq 0 \\ b + d \geq 1 \\ v \leq 0 \\ c + v \geq 1 \\ u \leq 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} c \leq 0 \\ v \leq 0 \\ c + v \geq 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} c + v \leq 0 \\ c + v \geq k \end{cases}$$

что приводит к противоречию.

Соотношение между запретами и полузапретами I-го, II-го рода k -значной функции

	Наличие полузапрета I-го рода (следовательно, и II-го рода)	Отсутствие полузапрета I-го рода, наличие полузапрета II-го рода	Отсутствие полузапретов I-го, II-го рода
Наличие запрета	$f_1^k(x_1 \dots x_n) = \alpha \Rightarrow$ $\Rightarrow \begin{cases} x_{v_1} + x_{v_2} \geq 1 \\ x_{v_3} \leq 0 \end{cases},$ $\alpha \in \{0, \dots, k-1\}$	$f_2^4(x) = x^2 \pmod{4}$	$f_3^4(x_1, x_2):$
	Поле 1	Поле 2	Поле 3
Отсутствие запрета	$f_4^k(x) = x$	$f_5^4(x_1, x_2):$ 	$f_6^4(x_1, x_2):$
	Поле 4	Поле 5	Поле 6
Обозначения: $\circ f=0$ $\bullet f=1$ $\square f=2$ $\circ f=3$			

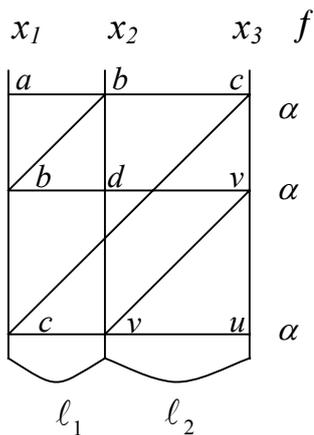


Рис. 8

Комбинация знаков, состоящая из одного знака $\gamma_{i_2} = \alpha$, является полузапретом I-го рода, при котором определяется переменная $c = 0$. Действительно, равенство

$$\gamma_{i_2} = \alpha \text{ порождает систему } \begin{cases} a + b \geq 1 \\ c \leq 0 \end{cases}, \text{ из}$$

которой следует доказываемое равенство.

Комбинация знаков

$$\gamma_{i_3} \gamma_{i_3+\ell_2} = \alpha \underbrace{\hspace{2cm}}_{\ell_2} \alpha$$

является полузапретом II-ого рода, при котором на переменную c накладываются нетривиальные ограничения. Рассмотрим систему, порождаемую комбинацией $\gamma_{i_3} \gamma_{i_3+\ell_2}$,

$$\begin{cases} b + d \geq 1 \\ v \leq 0 \\ c + v \geq 1 \\ u \leq 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v = 0 \\ c \geq 1 - v \end{cases} \Rightarrow c \geq 1,$$

т.е. $c \neq 0$, что и требовалось доказать.

2. Функция $f_2^4(x)$ (поле 2).

Данная функция рассматривалась в примере 3 ($f_2^4(x) = \varphi_2^4(x)$) и не имеет полузапретов I-го рода. Знаки $\gamma_{i_1} = 0$ и $\gamma_{i_2} = 1$ – полузапреты II-го рода функции. Комбинация знаков, состоящая из одного знака $\gamma_{i_3} = 3$, является запретом функции, т.к. равенство $x^2 = 3 \pmod{4}$ ни при каком входе x не выполняется.

3. Функция $f_3^4(x_1, x_2)$ (поле 3).

Для анализа данной функции обратимся к примеру 5. Для рассматриваемой функции из таблицы, как и для функции $\varphi_3^4(x_1, x_2)$, представленной на рис. 7, свойство (11) выполняется для любого преобразования из $G(f^4) = \langle \hat{\sigma} \rangle$,

$$\text{где } \hat{\sigma} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 0 \end{pmatrix}.$$

Таким образом, по теореме 7 исследуемая функция не обладает полузапретами. По графическому заданию функции в поле 3 нетрудно заметить, что данная функция не принимает значение 3. Следовательно, знак $\gamma_{i_3} = 3$ – запрет.

4. Функция $f_4^k(x)$ (поле 4).

Данная функция, очевидно, обладает полузапретом I-го рода. Любая фиксация значения функции $f^k(x) = \alpha$ дает полузапрет $\delta = \alpha$. Функция не имеет запрета, т.к. является линейной по своей крайней переменной и обладает политомическим в обе стороны графом де Брейна [5].

5. Функция $f_5^4(x_1, x_2)$ (поле 5).

Из графического задания функции в поле 5 нетрудно сделать вывод о том, что действие преобразования

$$\hat{\sigma} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

на переменные функции не меняет ее значение. Преобразование $\hat{\sigma}$ не обладает неподвижными точками, поэтому, по теореме 5, представленная функция полузапрета I-го рода не имеет. Что касается полузапретов II-го рода, то при появлении знаков $\gamma_{i_1} = 0$ и $\gamma_{i_2} = 1$ накладываются нетривиальные ограничения на переменную x_2 , а именно $x_2 \in \{0, 1\}$. Аналогично при $\gamma_2 = 2$ и $\gamma_{i_3} = 3$ переменная локализуется в пределах $x_2 \in \{2, 3\}$. Запретов рассматриваемая функция не имеет, исходя из того соображения, что при любой фиксации переменной $x_1 = \varepsilon$ функция реализует подстановку по x_2 . Поэтому граф де Брейна функции $f^k(x_1, x_2)$ – политомический в прямую сторону, и рассматриваемая функция запретов не имеет [5].

Отметим, что в работе [6] уже рассматривался пример другой функции, обладающей таким свойством. Графическое задание этой функции приводится на рис. 9.

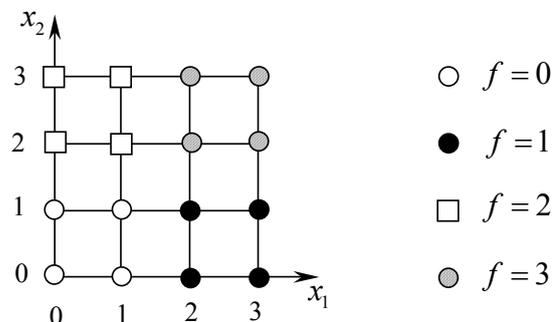


Рис. 9

6. Функция $f_6^4(x_1, x_2)$ (поле 6).

Данная функция рассматривалась в примере 5 ($f_6^4(x_1, x_2) = \varphi_3^4(x_1, x_2)$) и не имеет полузапретов I-го, II-го рода. Значения данной функции представляют собой латинский квадрат, т.е. образуют подстановку и по переменной x_1 , и по x_2 , что говорит о политомичности в обе стороны графа де Брейна функции, а следовательно, об отсутствии у функции запретов [5].

Таким образом, возможны любые соотношения между рассматриваемыми свойствами. Это обстоятельство нельзя признать изначально очевидным, тем более, что при определенных условиях, налагаемых на эффективность полузапретов, из их существования вытекает наличие запрета (см. теорему 3, 4).

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (НС-2358.2003.9)

Библиографический список

1. Смирнов, В.Г. Системы булевых уравнений рекуррентного типа / В.Г. Смирнов // Обозрение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 2. – Вып. 3. – 1995. – С. 477–482.
2. Использование запретов двоичных функций при решении систем уравнений / О.В. Колесников // Обозрение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 2. – Вып. 3. – 1995. – С. 483–493.
3. Сумароков, С.Н. Запреты двоичных функций и обратимость для одного класса кодирующих устройств / С.Н. Сумароков // Обозрение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВП. – Т. 1. – Вып. 1. – 1994. – С. 33–55.
4. Никонов, Н.В. О классификации всех булевых функций от 3-х переменных с обобщенными запретами / Н.В. Никонов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2004. – № 5 (36). – С. 177–188.
5. Никонов, В.Г. Запреты k -значных функций и их связь с проблемой разрешимости систем уравнений специального вида / В.Г. Никонов, Н.В. Никонов // Вестник РУДН. Серия прикладная и компьютерная математика. – Т. 2. – № 1. – 2003. – С. 79–93.
6. Никонов, В.Г. О проблемах локальной разрешимости и совместности систем k -значных уравнений сдвигового типа / В.Г. Никонов, Н.В. Никонов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2004. – № 1 (32). – С. 137–142.
7. Никонов, Н.В. О классах k -значных функций без полузапретов / Н.В. Никонов // Обозрение прикладной и промышленной математики. – М.: ОПИПМ. – Т. 12. – Вып. 1. – 2005. – С. 168–169.
8. Никонов, Н.В. О соотношениях между запретами и полузапретами I, II-го рода k -значных функций / Н.В. Никонов // Обозрение прикладной и промышленной математики. – М.: ОПИПМ. – Т. 12. – Вып. 3. – 2005. – С. 755–756.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УЗЛОВ НЕЙРОСИСТЕМ С ПОРОГОВЫМИ ФУНКЦИЯМИ АКТИВАЦИИ И ПОЛИЭДРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИХ АНАЛИЗА

Е.А. ВАСИЛЕВСКАЯ, доц. МГУЛ, канд. пед. наук

Н.Н. ПУДИКОВА, преподаватель филиала МАИ «Взлет», г. Ахтубинск,

К.К. РЫБНИКОВ, проф. МГУЛ, канд. физ.-мат. наук

Функционирование биологического нейрона можно описать как получение сигналов, поступающих через его отростки – дендриты – с последующим анализом совокупности этих сигналов. Итогом анализа является выработка нового сигнала, который посылается другим нейроном или непосредственно к рабочему органу.

Первая простая математическая модель биологического нейрона была предложена американскими учеными: физиологом У. Мак-Каллоком и математиком У. Питтсом [1]. В соответствии с этой моделью в качестве исходной информации для нейрона служат сигналы x_i , поступающие на i -й вход нейрона от других нейронов или с органа,

находящегося под воздействием внешней среды. Каждый i -й входной сигнал x_i умножается на некоторое число a_i (синаптический коэффициент). Далее взвешенное произведение $a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$ алгебраически складывается с сигналом начального возбуждения a_0 . Результат такого суммирования

$$g = \sum_{i=1}^n a_i x_i + a_0 \quad (1)$$

подается на блок функционального преобразования $f(g)$. Значение функции $f(g)$ определяет выходной сигнал нейрона $y = f(g)$. Схематически работа такой модели может быть проиллюстрирована следующим образом

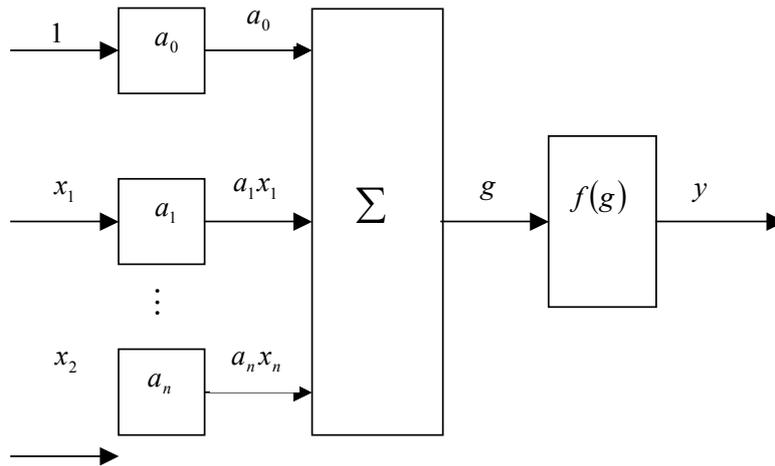


Рисунок. Модель нейрона Мак-Каллока-Питтса

В научной литературе эта модель получила название: формальный или искусственный нейрон статического типа, или просто формальный нейрон.

Функция выходного блока формального нейрона $f(g)$ называется функцией активации (иногда функцией возбуждения, или переходной функцией).

Функция активации вида (1), рассмотренная в модели Мак-Каллока-Питтса, называется классической. В то же время при рассмотрении различных подходов к анализу модификаций схемы, приведенной на рисунке, выделяют и другие типы математических моделей [2]. Среди них можно отметить нейрон с квадратичным сумматором. В этом случае блок суммирования «Σ» реализует определение значения функции

$$g = \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j + a_0, \quad (2)$$

где a_{ij} – элементы некоторой матрицы $A = \parallel a_{ij} \parallel_{n \times n}$ синаптических коэффициентов.

Другой известной моделью является так называемый паде-нейрон, в котором блок суммирования определяется двумя сумматорами, и функция g имеет вид

$$g = \frac{g_1}{g_2} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i x_i + a_0}{\sum_{i=1}^n b_i x_i + b_0}, \quad (3)$$

где b_i – синаптические коэффициенты второго сумматора;

b_0 – сигнал его начального возбуждения.

Будем полагать, что все рассматриваемые нами функции активации являются пороговыми, т.е. выходной сигнал y определяется следующим образом

$$y = \text{sign}(g) = \begin{cases} b, & \text{àñèè } g < 0; \\ c & \text{àñèè } g \geq 0. \end{cases}$$

(На практике чаще всего: $b = 0, c = 1$).

Сформулируем теперь задачу настройки формального нейрона. Предположим, что во всем множестве V_n выходных сигналов n -мерных векторов выделено два непересекающихся подмножества

$$X = \{x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}\}, \quad i = (1, 2, \dots, t_1),$$

$$X \subset V_n \text{ и } Y = \{y_1^{(j)}, y_2^{(j)}, \dots, y_n^{(j)}\},$$

$$j = (1, 2, \dots, t_1), \quad Y \subset V_n, \quad X \cap Y = 0.$$

Будем говорить, что нейрон различает эти два множества, если при подстановке всех векторов из X неравенство $g \geq 0$ выполнено, а при подстановке всех векторов из Y не выполнено, т.е.

$$\left. \begin{cases} a_1 x_1^{(i)} + a_2 x_2^{(i)} + \dots + a_n x_n^{(i)} + a_0 \geq 0, \\ i = (1, 2, \dots, t_1); \\ a_1 y_1^{(j)} + a_2 y_2^{(j)} + \dots + a_n y_n^{(j)} + a_0 < 0, \\ j = (1, 2, \dots, t_1) \end{cases} \right\}. \quad (4)$$

Если система неравенств (4), где в качестве неизвестных рассматриваются коэффициенты a_0, a_1, \dots, a_n , имеет решение, то существуют нейрон, различающий множества X и Y . При этом набор коэффициентов,

удовлетворяющих (4), называется решением задачи настройки нейрона, а задача решения системы неравенств (4) называется задачей настройки нейрона.

Коэффициенты a_0, a_1, \dots, a_n – действительные, поэтому задача определения совместности системы (4) и нахождение хотя бы одного ее решения имеют полиномиальную сложность $P(n, t_1 + t_2)$. В том же случае, если коэффициенты a_0, a_1, \dots, a_n должны быть целочисленными, сложность решения задачи настройки нейрона имеет экспоненциальный вид. Однако если множества X и Y таковы, что матрица

$$\begin{pmatrix} -x_1^{(1)} & -x_2^{(1)} & \dots & -x_n^{(1)} & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -x_1^{(t_1)} & -x_2^{(t_1)} & \dots & -x_n^{(t_1)} & -1 \\ y_1^{(1)} & y_2^{(1)} & \dots & y_n^{(1)} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_1^{(t_2)} & y_2^{(t_2)} & \dots & y_n^{(t_2)} & 1 \end{pmatrix}$$

абсолютно унимодулярна, то при условии ограниченности полиэдра (4) с условиями неотрицательности коэффициентов нейрона a_0, a_1, \dots, a_n , соответствующий многогранник является целочисленным, и задача настройки нейрона сводится к определению его вершины. Сложность решения такой задачи полиномиальна. В работе [3] приводится нижняя достижимая оценка сложности определения всех решений задачи настройки нейрона в этом случае. Она имеет вид

$$((t_1 + t_2)n + 2) \cdot P(n + 1, t_1 + t_2),$$

где $P(n + 1, t_1 + t_2)$ – полином от $n + 1, t_1 + t_2$.

В работе [4] рассмотрен случай, когда для многогранника, соответствующего условиям (4), выполняются условия целочисленности (например, условия Падберга [5]). В этом случае оценка сложности решения задачи настройки нейрона имеет вид

$$T(n, t_1, t_2) \leq t_2 \cdot L(n, t_1) \left(\log_2 \left(\Delta(\bar{X})(n + 1) \right) \right)^{t_2 - 1},$$

где $L(n, t_1)$ – полином от n, t_1 ;

$\Delta(\bar{X})$ – наибольший по абсолютной величине среди миноров максимально-

го размера матрицы \bar{X} , которая получается из матрицы X многогранника упаковок

$$M(X, e) = \{u \mid Xu \leq e, u \geq 0\},$$

где u – n -мерный вектор;

e – вектор, состоящий из t_1 единичных компонентов, а матрица X имеет вид

$$X = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_n^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_1^{(t_1)} & \dots & x_n^{(t_1)} \end{pmatrix}$$

Нижняя достижимая граница оценки сложности в этом случае также имеет вид полинома от t_1, t_2, n .

Заметим, что вышеизложенный подход может быть применен и к решению задач настройки паде-нейронов с квадратичным сумматором. В случае паде-нейрона число определяемых синаптических коэффициентов равно $2(n + 1)$, а для случая нейрона с квадратичным сумматором – $(n + 1)(n + 2)/2$.

Аналогичный подход может быть применен и к решению задач определения множества входных сигналов для различных узлов нейросистем по известным выходным сигналам. Так, в работе [6] авторы исследовали эту задачу для системы формальных нейронов с одинаковыми пороговыми значениями, сигналами начального возбуждения и выходными параметрами.

Анализ структуры многогранника упаковок $M(X, e)$ прежде всего связан с проверкой свойства абсолютной унимодулярности для матрицы X . Непосредственная проверка этого свойства представляется труднореализуемой, т.к. проверить все миноры матрицы X достаточно сложно.

Поэтому возникает вопрос: как уменьшить объем вычислений путем анализа особенностей матрицы X ?

Очевидно, что любая булева матрица $m \times n$ при $m = 2$ является абсолютно унимодулярной. Так как одним из базисных миноров будет минор вида

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

то решением системы линейных $Xa \leq e$ неравенств будет $a_1 = a_2 = 1$, т.е. для задачи малой размерности решение тривиально. Фактически эта задача определения значений коэффициентов функции активации является двойственной к задаче о разбиении, подход для уменьшения размерности которой рассмотрен в [7].

Тогда и для уменьшения размерности задачи настройки формального нейрона размерность матрицы, задающей множество входных сигналов X , можно уменьшить, используя следующие правила (символы x_i и x_j обозначают соответственно i -ую строку и j -й столбец матрицы X).

Правило 1. Если x_j есть нулевой вектор для некоторого j , то a_j может принимать произвольные значения.

Правило 2. Если x_j есть единичный вектор для некоторого j (т.е. все элементы равны единице), то следует принять $a_j = 0$ и столбец j исключить из дальнейшего рассмотрения.

Правило 3. Если x_j – (0,1)-вектор с единственной единицей в k -й строке, то $a_j = 1$ в любом решении, причем строку k вычеркиваем и вычеркиваем столбцы p , для которых $x_{kp} = 1$. В решении полагаем $a_p = 0$.

Правило 4. Если в оставшейся после применения правил 1-3 подматрице X для всех строк $x_j \geq x_p$ для некоторых j и p , то столбец x_j можно вычеркнуть.

Правило 5. Если для оставшихся после вычеркивания строк и столбцов части матрицы X выполняются условия Падберга [7, с. 74], то задача имеет целочисленное решение, которое находится симплекс-методом.

Пример 1

Пусть

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Так как третий и пятый столбцы содержат ровно по одному ненулевому элементу ($x_{33} = 1; x_{15} = 1$), то в решении системы (1) $a_3 = a_5 = 1$, что подтверждает правило 3. Все элементы первого столбца равны единице, следовательно, по правилу 2, $a_1 = 0$. По правилу 3, $a_4 = 0$, т.к. $x_{34} = 1$. Все элементы второго, шестого и седьмого столбцов больше или равны соответствующим элементам восьмого столбца. Значит, по правилу 4, $a_2 = a_6 = a_7 = 0, a_8 = 1$. Полученное решение $a_3 = a_5 = a_8 = 1, a_1 = a_2 = a_4 = a_6 = a_7 = 0$ является целочисленным и совпадает с решением, полученным симплекс-методом.

Пример 2

Пусть

$$X = \begin{pmatrix} 0 & \underline{1} & 0 & \underline{1} & 1 & \underline{0} & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & \underline{0} & 1 & \underline{1} & 0 & \underline{1} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{1} & 0 & \underline{0} & 1 & \underline{1} & 0 \end{pmatrix}.$$

Первый столбец содержит единственную единицу ($x_{31} = 1$), следовательно, по правилу 3, $a_1 = 1$. В третьей строке, кроме первого столбца, единичные элементы находятся еще в третьем, пятом и седьмом столбцах. Следовательно, по правилу 3, $a_3 = a_5 = a_7 = 0$. В оставшейся после исключения третьей строки первой, третьей, пятой и седьмого столбцов части матрицы содержится минор третьего порядка (подчеркнутые элементы исходной матрицы X), удовлетворяющей $\pi_{\beta-\kappa}$ свойству Падберга [7] для $\beta = 2, \kappa = 3$. Поэтому задача целочисленного решения не имеет (правило 5). Симплекс-методом получено решение

$$a_1 = 1; a_2 = a_4 = a_6 = 1/2; a_3 = a_5 = a_7 = 0.$$

Библиографический список

1. Гаврилкевич, М.В. Введение в нейроматематику / М.В. Гаврилкевич // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 1. – Вып. 3. – 1994. – С. 377–388.

2. Комарцова, Л.Г. Нейрокомпьютеры / Л.Г. Комарцова, А.В. Максимов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002 – 319 с.
3. Рыбников, К.К. Об оценках сложности решения задач настройки пороговых элементов / К.К. Рыбников // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 12. – Вып. 1. – 2005. – С. 181–182.
4. Рыбников, К.К. Задача настройки формального нейрона с пороговой функцией входных сигналов / К.К. Рыбников // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 12. – Вып. 3. – 2005. – С. 766–767.
5. Емеличев, В.А. Многогранники. Графы. Оптимизация / В.А. Емеличев, М.М. Ковалев, М.К. Кравцов. – М.: Наука, 1981 – 344 с.
6. Рыбников, К.К. Об определении множества входных сигналов для системы формальных нейронов с одинаковыми пороговыми значениями и выходными параметрами / К.К. Рыбников, Е.А. Василевская, Н.Н. Пудикова // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 12. – Вып. 3. – 2005. – С. 767–768.
7. Ковалев, М.М. Дискретная оптимизация (целочисленное программирование) / М.М. Ковалев. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 192 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДА СЖАТИЯ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ, ОСНОВАННОГО НА АДАПТИВНОМ КВАНТОВАНИИ ВЕКТОРОВ И РЯДА ИЗВЕСТНЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ

А.А. ДУХИН, доц. МГИЭМ, канд. физ.-мат. наук

Сжатие изображений находит широкое применение в различных областях науки и техники. Особенно большое значение приобретает сжатие изображений при передаче их по узкополосным каналам связи. Эта область использования становится широко распространенной в последние годы, когда актуальной стала проблема цифрового телевидения, передача заказных видеопрограмм по массовым телекоммуникационным каналам связи, возможность проведения видеоконференций с использованием модемной связи, вопросы сжатия видеоданных в случаях передачи статических полноцветных изображений или бинарных документов (например, банковских) через модем, поскольку стоимость передачи напрямую связана с объемом передаваемой информации.

Можно отметить также постоянное расширение использования космических средств наблюдения и мониторинга земной поверхности, что дает возможность передавать большие массивы видеоинформации по узкополосным каналам космической связи в темпе работы высокоскоростных космических видеодатчиков. Особенности данного применения являются большие объемы

передаваемой и сохраняемой информации (сотни мегабайт на один кадр) и высокий темп поступления информации.

Основным мультимедийным приложением методов компрессии изображений является создание компьютерных энциклопедий, графических баз данных (включая видеофрагменты), средств компьютерного обучения (например, дистанционное обучение, правила уличного движения, обучение спортивным играм и пр.), рекламно-презентационных лазерных дисков отдельных фирм и пр.

В настоящее время в этих случаях, как правило, применяется либо ограничение количества цветов и разрешения на экране монитора, либо методы компрессии на базе JPEG для сжатия статических изображений; Intel Indeo, Microsoft Video – для получения цифрового видео при стандартной мультимедиа-конфигурации компьютера МРС.

Получают все большее распространение локальные и глобальные компьютерные информационные сети, используемые в том числе и для управления оборонным комплексом страны. Связь между компьютерами внутри таких сетей часто осуществляется

по существующим узкополосным линиям связи, поэтому применение систем сжатия–восстановления облегчило бы передачу больших массивов видеоданных (например, картографической информации) внутри таких компьютерных сетей. Также следует отметить, что в вычислительных комплексах обработки изображений затруднительным является передача видеоданных из памяти компьютера к графическим видеотерминалам. Такая передача обычно также осуществляется по стандартным цифровым каналам связи, имеющим достаточно узкую полосу пропускания, поэтому применение эффективного сжатия и восстановления видеоданных способствовало бы в данном случае повышению эффективности обработки изображений в таких вычислительных системах.

Наконец, отдельную проблему представляет собой архивация больших массивов видеоданных, представленных в цифровой форме. Это может быть банк космических разведывательных видеоданных, банк медицинских снимков, криминалистических видеоданных и многое другое. Применение эффективного сжатия–восстановления хранимых изображений позволяет на полтора–два порядка сократить требуемые размеры ресурсов памяти таких вычислительных систем и значительно ускорить процесс воспроизведения архивированных данных.

В процессе сжатия на первое место выдвигается вопрос о точности восстановления изображений, которая находится, как правило, в обратной зависимости от степени сжатия. При этом требования к точности восстановления изображения зависят от цели его использования. В частности, если изображение воспринимается человеком, то разрабатываются методы сжатия, которые учитывают психофизиологические особенности восприятия человека. Если сжатие используется для архивации видеоданных космической разведки или медицинских изображений, то на первый план выдвигается необходимость сохранения мелких деталей изображения. А, например, в случае цифрового видео мелкие детали изображений менее важны, нежели общая комфортность

восприятия и т.д. Поэтому использование на практике того или иного метода диктуется часто конкретными требованиями решаемой задачи.

Описание эффективных методов компрессии

Существующие методы сжатия с потерями можно разделить на несколько групп, которые базируются на:

- уменьшении разрешения;
- оптимизации процесса квантования;
- статистических методах кодирования;
- кодировании с преобразованием;
- блочных методах с адаптивным квантованием векторов;
- применении нейронных сетей;
- пирамидально-иерархических представлениях изображений;
- использовании фрактальных методов и хаотических моделей или на комбинациях указанных подходов.

Наибольшее распространение в настоящее время получили три основных метода сжатия цветных и полутоновых черно-белых статических изображений:

- метод на основе использования дискретного косинусного преобразования (JPEG);
- метод на основе вейвлетного преобразования (Wavelet);
- метод на основе фрактального подхода (Fractal).

Наконец, ниже приведен метод адаптивного квантования векторов в сравнении с перечисленными выше.

На сегодняшний день JPEG как метод сжатия изображений с потерей информации является самым распространенным и наиболее глубоко разработанным. Стандарт получил свое название по имени группы разработчиков Joint Photographic Experts Group, которая образовалась в 1987 г. в результате сотрудничества двух крупнейших в мире организаций стандартов ССИТТ и ISO. Спецификация JPEG состоит из нескольких частей, включая сжатие с потерями и без. На 1992 г. было разработано два стандарта: JFIF для

серых и более сложный JТIF 6.0 для цветных изображений.

Процесс сжатия с использованием метода JPEG можно разбить на несколько этапов:

I. Получение одного или набора серых полутоновых (grayscale) изображений.

Если кодируемое исходное изображение серое, то этот пункт опускается. Если же исходное изображение цветное (записано в формате RGB или аналогичной цветовой системе типа CMYK), то для него производится следующий набор операций:

1а. Исходное RGB-изображение конвертируется в цветовое пространство YUV (известное также под названием YCrCb). Эта цветовая модель была создана разработчиками видеостандартов. В ней учитывались различные особенности восприятия человеческого глаза. Система зрения человека исключительно чувствительна к одному из этих компонентов (Y) – яркостной составляющей и менее к двум другим – цветоразностным.

1б. Из особенностей данного представления цвета следует первая возможность сжатия цветного изображения за счет отбрасывания части строк и столбцов пикселей U- и V-компонент (с дублированием недостающих при восстановлении). Эта процедура называется прореживание (subsampling). Далее все три компонента сжимаются самостоятельно.

II. ДКП – дискретное косинусное преобразование.

Изображение разбивается на блоки $N \times N$ (группа JPEG рекомендует брать $N = 8$) и каждый блок подвергается ДКП. На данном этапе не происходит потери информации.

III. Квантование.

Каждый элемент получившегося после ДКП блока делится с последующим округлением на соответствующий элемент специальной матрицы квантования. Именно на этом этапе происходит основная потеря информации.

IV. RLE – кодирование повторов, при котором полученные после квантования коэффициенты матрицы кодируются. Коэффи-

циенты каждой матрицы при этом обходятся зигзагообразно, и нулевые промежутки кодируются с помощью стандартного метода RLE. Далее информация со всех блоков формируется в единый поток.

V. Кодирование «энтропии» (в терминологии группы JPEG).

Поток, получившийся при RLE-кодировании, подвергается стандартным методам компрессии: алгоритму Хаффмена или арифметическому кодированию. Восстановление сжатых изображений протекает соответственно в обратном порядке, за исключением того, что вместо прореживания выполняется обратная процедура дублирования недостающих отсчетов (resampling).

Использование метода обеспечивает компрессию цветных изображений с коэффициентами до 40 при удовлетворительном качестве восстановления (при коэффициентах компрессии до 10 потери качества визуально незаметны) и черно-белых полутоновых изображений (типа аэрофото-) с коэффициентами до 12–16.

Сжатие восьмибитных изображений с палитрой возможно только путем предварительного преобразования его в RGB Формат. Коэффициент компрессии при этом снижается в три раза (при использовании палитры в 256 цветов). И в то же время следует отметить ряд проблемных ситуаций, для которых рассматриваемый метод либо неприменим, либо неоптимален. К ним относятся: большое время восстановления изображений; невозможность прямого доступа к сжатому изображению, а потому невозможность работы со сжатым изображением; невозможность сжатия бинарной информации и недостаточное качество при работе с графическими типами изображений, созданными на компьютерах. Жесткость алгоритма JPEG не позволяет управлять степенью сжатия и качеством восстановления.

Метод на основе вейвлетного преобразования относится к классу методов кодирования с разложением в базисах двумерных пространственно ограниченных функций специального вида. Описанное выше кодирование основано на использовании

тригонометрических функций в качестве базиса для разложения. Однако кодирование методами разложения изображений в ортогональных базисах связано с определенными недостатками. В частности, выполнение преобразования Фурье больших изображений связано с существенными вычислительными трудностями, а достичь заметных коэффициентов сжатия при этом не удастся, т.к. для большинства имеющих практическую значимость случаев спектральный состав больших изображений оказывается достаточно широким. Выход из этой ситуации может быть найден путем применения блочного кодирования, такого, например, которое используется в стандарте JPEG. Однако несогласованность низкочастотной части Фурье-спектров, вычисляемых в отдельных небольших блоках, приводит при блочном кодировании к тому, что при практически значимых размерах блоков на восстановленном изображении становятся заметны блочные границы. Этого недостатка можно избежать, используя для кодирования разложение изображений в базисах пространственно ограниченных функций. Однако для таких функций спектральная полоса теоретически имеет бесконечную ширину. Поэтому такие базисные функции теоретически ортогональными быть не могут, что препятствует получению с их помощью оптимальных «спектральных» разложений, свободных от коррелированности и избыточности. Для сведения этого недостатка к минимуму ширина спектральной полосы таких базисных функций должна быть возможно более узкой, что входит в противоречие с их локальностью в области пространственных координат. В качестве компромисса между двумя указанными ограничениями были выбраны функции, достаточно быстро затухающие (при удалении от их центра) как в спектральной, так и в пространственной области. Одним из возможных вариантов является использование в качестве базисных вейвлетных функций (Wavelets). В целом данный метод пока не получил широкого распространения.

Однако ему можно предсказать достаточно широкое распространение. В настоящее время достигнутые результаты кодирования данным методом не превосходят аналогичных результатов при использовании JPEG.

Несколько слов скажем о фрактальном подходе к сжатию изображений.

В 1987 году Барнсли и Энсон, математики Технологического института штата Джорджия (США), открыли класс теорем, дающих большие возможности для самой разнообразной обработки и сжатия изображений. Фрактальное сжатие основано на структурах, обладающих свойством самоподобия. Это означает, что фрактал является неперекрывающимся объединением копий самого себя, уменьшенных в некоторое число раз. Показано, что такие структуры можно имитировать и с помощью рекурсивных алгоритмов создавать из них изображения. Фрактальное отображение основано на утверждениях, что:

- изображения реального мира имеют аффинную избыточность,
- основные действия над объектами (вращение, расширение и т.д.) можно описать с помощью аффинных коэффициентов,
- фрактальную версию исходного изображения можно восстановить с применением его аффинных коэффициентов.

Основной подход основан на блочном разбиении изображений.

В его основе лежит предложенная М. Барнсли теорема коллажа, согласно которой, если изображение может быть отображено само в себя нетривиальным образом, то параметры этого отображения являются его исчерпывающим описанием. Причем чем точнее подобрано отображение, тем точнее будет восстановление. В этом случае фрактальное описание изображения сводится к фрактальному описанию его составных частей – блоков.

Алгоритм фрактального кодирования на основе этого подхода разработала и запатентовала компания Iterated Systems.

Процесс фрактального преобразования включает в себя:

– разделение изображения на неперекрывающиеся блоки (R-блоки), полностью перекрывающие все изображение;

– выбор набора блоков-доменов в изображении (D-блоков), превышающих по размеру R-блоки;

– Фрактальное преобразование, которое сводится к тому, что для каждого R-блока подбирается такой домен, который после аффинного преобразования наиболее точно представляет R-блок;

– параметры аффинного преобразования сжимаются методами сжатия без потерь и сохраняются.

Файл аффинного преобразования содержит информацию о расположении доменов и R-блоков и упакованную таблицу аффинных коэффициентов для каждого домена.

Восстановление изображения осуществляется по двум случайным изображениям одинакового размера А и Б, размеры которых совпадают с размерами сжатого изображения с помощью итерационной процедуры. На 1-м шаге данные из А преобразуются в изображение Б, разделенное на R-блоки аналогично тому, как это было сделано при сжатии изображения. Для каждого R-блока области Б проводится соответствующее аффинное преобразование доменов изображения А и результат помещается в Б. На 2-м шаге данные из области Б преобразуются в А, как на 1-м шаге (в обратную сторону). Далее процедура многократно повторяется до полного совпадения изображений А и Б.

Подход был реализован в программном продукте и специализированной плате сжатия, которые серийно выпускаются фирмой Iterated Systems.

При использовании фирменного спецпроцессора сжатие составляет 1–3 минуты в зависимости от задаваемого качества и коэффициента компрессии. Время программного восстановления изображений составляет единицы секунд. Фирмой поставляются драйверы, основанные на фрактальном методе сжатия, для воспроизведения видеофильма на экране компьютера при непосредственной декомпрессии с накопителя на жестком диске.

Достоинством алгоритма является то, что он допускает высокое распараллеливание (что и было использовано при разработке его аппаратной реализации). Это обстоятельство может быть решающим при рассмотрении ряда специальных задач.

Фрактальному методу сжатия–восстановления его авторы предсказывают большое будущее. По прогнозам Барнсли, в ближайшее время большая часть изображений, применяемых на компьютерах, будет храниться и использоваться с применением фрактальных методов сжатия. В перспективе – передача по телефонным линиям видеороликов. На сегодняшний день, хотя теоретический потенциал метода действительно очень велик (в отличие, скажем, от JPEG), реально достигнутое качество восстановления сжатых изображений уступает методу JPEG при аналогичных коэффициентах компрессии, однако время восстановления сжатых изображений в 2–3 раза меньше при чисто программной реализации.

Метод сжатия изображений, основанный на адаптивном квантовании векторов

В последние годы идет активный поиск новых, высокоэффективных, нетрадиционных методов сжатия–восстановления видеоинформации, который привел к появлению кодирования на нейронных сетях.

Кодирование на нейронных сетях существенно повышает эффективность традиционных алгоритмов за счет способностей сетей к самоорганизации и самообучению. Известно, например, что недостатки блочного кодирования видеоинформации с ортогональным преобразованием в некоторой степени удается преодолеть с помощью метода сжатия адаптивным квантованием векторов. При этом квантуемым вектором является набор чисел, описывающих пиксели внутри некоторых блоков, на которые поделено сжимаемое изображение. Применение адаптивного квантования обеспечивает кодирование взаимных характеристик пикселей, в связи с чем восстановленные после такого кодирования изображения сохраняют мелкие детали исходного, подвергнутого сжа-

тию изображения, а достигаемая степень сжатия оказывается достаточно большой. Однако существенным недостатком методов адаптивного квантования является то, что при кодировании они не сохраняют внутреннюю топологию сжимаемых видеоданных, т.е. близкие значения векторов пикселей исходного изображения необязательно имеют близкие по значению кодирующие векторы. В связи с этим качество восстановленных после сжатия этим методом изображений сильно страдает от шумов в канале связи.

Эта проблема успешно решается при использовании для сжатия изображений нейронных сетей Кохонена, которые фактически реализуют метод адаптивного квантования векторов, но сохраняют топологию кодируемых данных. Применение нейронных сетей Кохонена обеспечивает достаточно большие коэффициенты сжатия при сохранении мелкой структуры на восстановленных изображениях, делает процессы сжатия–восстановления малочувствительными к шумам и ошибкам в каналах связи. С сохранением топологии сжимаемых данных связаны и некоторые другие преимущества нейронных сетей Кохонена. В частности, сжатое изображение оказывается визуально схожим с исходным изображением, имея при этом более высокую контрастность и скрытые в результате кодирования мелкие детали.

Поэтому в ряде случаев возможно производить анализ и обработку не исходного, а сжатого изображения, – объем обрабатываемых данных будет значительно уменьшен. Другим преимуществом сжатия изображений нейронными сетями Кохонена является инвариантность сжимающей нейронной сети по отношению к сюжету обрабатываемого изображения.

В отличие от общего метода адаптивного квантования, который настраивается на узкий класс сжимаемых изображений, нейронная сеть Кохонена благодаря сохранению топологии кодируемых данных может быть обучена эффективно сжимать и восстанавливать без переобучения изображения дос-

точно широкого класса. Нейронные сети представляют собой ансамбли большого числа просто организованных и функционирующих достаточно самостоятельно специализированных процессоров-нейронов. В настоящее время существуют серийно выпускаемые нейронные сопроцессоры к ПЭВМ, реализующие идеологию нейронных сетей.

Мы используем другой подход.

Внутренние закономерности функционирования нейронной сети положены в основу реализации процедуры формирования кодовой библиотеки, затем этот механизм перепрограммируется в обычной форме и используется при создании кодовых книг для стандартного метода адаптивного квантования векторов. В результате сохранены основные преимущества нейронных сетей при выполнении сжатия изображений и в то же время появляется возможность реализации алгоритма на обычных компьютерах.

Процесс кодирования при использовании метода адаптивного квантования векторов имеет следующие основные этапы.

1. Строится совокупность кодовых книг (библиотек), описывающих наиболее характерные классы изображений, которые подлежат кодированию (аэрофото, портрет, бытовые изображения, рентгенограммы и пр.), и отвечающих различным ожидаемым коэффициентам компрессии. Эта процедура является довольно длительной и выполняется только при построении новой кодовой библиотеки.

2. Кодированное изображение делится на блоки $M \times M$ пикселей (в общем случае блоки могут быть и прямоугольными). Каждый блок пикселей можно интерпретировать как подлежащий кодированию вектор из $M \times M$ компонент. Для каждого блока (вектора) изображения ищется ближайший аналог в кодовой книге данного класса изображений по критерию минимума эвклидова расстояния между рассматриваемым вектором и вектором библиотеки. В результате кодирования $M \times M$ компонентный вектор заменяется однокомпонентным, соответствующим номеру в кодовой библиотеке. В

зависимости от размера библиотеки количество бит, описывающих этот номер, может изменяться. В настоящее время используются библиотеки размерами 256 и 1024 блока, т.е. номер описывается восьмью-десятью битами. Совокупность таких чисел и является, по сути, закодированным изображением.

3. Полученное кодированное изображение дополнительно сжимается одним из известных методов сжатия без потерь и записывается в выходной файл.

Остановимся несколько подробнее на каждом из указанных этапов.

Процесс построения кодовой книги осуществляется следующим образом. На основании выбранного представительного множества наиболее характерных изображений данного класса строится некое комбинированное изображение, включающее все характерные для данного класса детали. Оно используется как обучающее при построении библиотеки. Это изображение разбивается на блоки, размер которых определяет в значительной степени ожидаемый коэффициент компрессии, – используются блоки размерами 2×2 , 3×3 , 4×4 . Среди всех выделенных блоков отбираются только те, отличия между которыми не превышают заданный предел. Полученный набор блоков фактически может быть интерпретирован как совокупность точек в N -мерном пространстве ($N = 4, 9, 16$ – в зависимости от размера блока). Процедура поиска кодовой книги состоит в поиске таких точек в данном N -мерном пространстве, которые в наилучшей степени описывают все представленное множество. Другими словами, векторы библиотеки могут рассматриваться как центры некоторых кластеров, вокруг которых группируются все векторы обучающего изображения, обеспечивая при этом минимально возможное максимальное отклонение от центра кластера. Алгоритм поиска такой библиотеки, как уже отмечалось, заимствован из логики работы нейронной сети и сводится к итеративной процедуре перераспределения центров кластеров.

Идея метода адаптивного квантования векторов с использованием нейронных

сетей восходит к идее построения помехозащищенных кодов. Для построения таких кодов в n -мерном пространстве выделяются максимально удаленные друг от друга слова, называемые кодовыми. Вокруг каждого из них строится сфера, радиус которой определяет корректирующие свойства кода. Разным словам отвечают непересекающиеся сферы. При передаче по каналу связи кодовые слова искажаются аддитивными помехами. Искаженный вектор оказывается в одной из сфер, центр которой объявляется переданным кодовым словом, т.е. при декодировании используется метод максимума правдоподобия.

Процесс кодирования изображения протекает несколько differently для черно-белых полутоновых и цветных изображений. В первом случае он полностью соответствует процедуре, описанной выше в п.2. Для цветных изображений дело обстоит несколько иначе. В общем случае при представлении в компьютере цветных изображений используются два основных подхода:

- каждый пиксель изображения описывается тремя байтами, представляющими собой уровни основных цветов (RGB);

- каждый пиксель изображения описывается индексом, представляющим собой номер цвета пикселя из заранее созданной таблицы (палитры). В палитре содержатся тройки RGB, определяющие набор цветов, встречающихся в изображении. Как правило, размер палитры составляет 256 цветов, т.е. каждый пиксель изображения описывается одним байтом.

В качестве рабочего варианта используется следующий путь.

А. Исходное палитровое изображение преобразуется в формат RGB на основании приложенной к нему палитры, исходное изображение в формате RGB считывается в память без изменений.

Б. Полученное изображение (аналогично подходу, реализованному в стандарте JPEG) переводится в другое цветовое пространство YLJV, где Y-компонента описывает яркостную составляющую изображения, U(Cb), V(Cr)-компоненты – цветоразно-

стные составляющие, определяемые по формулам (при восстановлении используется обратное преобразование):

$$\begin{aligned} Y &= 0,29900 \times R + 0,58700 \times G + 0,11400 \times B \\ Cb &= -0,16874 \times R - 0,33126 \times G + 0,50000 \times B \\ Cr &= 0,50000 \times R - 0,41869 \times G - 0,08131 \times B \end{aligned}$$

Это приводит к меньшей корреляции между цветовыми составляющими и, как следствие, к меньшим уровням цветовых шумов в восстановленном изображении.

В. Поскольку цветоразностные компоненты имеют, как правило, более узкую полосу пространственного спектра, может быть выполнено их прореживание (subsampling) в 2 или 3 раза (берется каждое второе или каждое третье значение), что значительно уменьшает объем кодируемой информации без существенных потерь качества.

Г. Полученные YUV-составляющие кодируются раздельно как черно-белые полутоновые изображения с использованием стандартной процедуры квантования векторов изображения.

Особенностью метода адаптивного квантования векторов является его существенная несимметричность, т.е. значительное время кодирования изображений при достаточно быстром его декодировании. Основные затраты времени при кодировании изображений приходится на процедуру поиска ближайшего аналога данному вектору в кодовой библиотеке. Для ускорения данной процедуры был предложен следующий подход. Библиотека предварительно упорядочивается по уровням средней яркости входящих в нее блоков. При анализе очередного блока изображения высчитывается его средняя яркость, и вход в библиотеку осуществляется в соответствии с рассчитанным значением. После этого анализ осуществляется с использованием не всей библиотеки, а только ее части, пределы которой могут задаваться пользователем. Как показал предварительный анализ, достаточно осуществлять поиск в пределах «плюс-минус» 200 значений относительно точки входа в библиотеку. Таким образом достигается выигрыш во времени кодирования по крайней мере в 7 раз (для библиотеки размером 1024 блока)

по сравнению с полным перебором блоков. В дальнейшем могут быть рассмотрены более тонкие способы предварительного анализа блока изображения и принципов упорядочения библиотеки, что приведет к дальнейшему сокращению времени кодирования.

После кодирования методом векторного квантования результирующие файлы «дожимаются» одним из стандартных методов сжатия без потерь. В программе реализованы две возможности – либо использование встроенного в нее LZW-алгоритма, либо подключение внешнего архиватора типа ARJ или RAR.

Алгоритм сжатия по методу Лемпеля-Зива-Велча (Lempel-Ziv-Welch) описан в IEEE Computer vol. 17, No. 6, June 1984. Эта схема обеспечивает быстрое сжатие без потерь информации, оставаясь в то же время относительно простой. При использовании LZW-сжатия изображение часто сжимается более чем на 50 %, а иногда и на 90 %.

Разрабатываемый метод включает в себя опцию, позволяющую переводить полученное после восстановления цветное изображение в формате RGB в палитровое с палитрой 256 цветов. Для осуществления данной опции реализован двухпроходный алгоритм:

1. Формируется палитра полученного изображения одним из двух возможных способов.

Первый из них является самым простым и быстрым и позволяет формировать равномерную палитру, содержащую цвета, равномерно распределенные по осям цветового куба. Преимуществом данного способа является его быстрота и универсальность палитры, которая может быть использована для любого изображения. Однако такая палитра имеет существенный недостаток, связанный с тем, что большинство изображений содержит цвета, неравномерно распределенные по цветовому кубу. То есть часть входов в палитре оказывается не востребуемой, что обедняет результирующее изображение. Суть алгоритма состоит в разбиении осей цветового куба на равное количество градаций и выборе в качестве входов в палитру центров полученных интервалов.

Второй (адаптивный) алгоритм (алгоритм Хекберта) приводит к лучшим результатам и является оптимальным по соотношению скорости и качества. Суть данного алгоритма в следующем. Вначале оси цветового куба разбиваются равномерно на интервалы. Затем строится трехмерная таблица (гистограммный куб), показывающий частоту появления каждого из цветов RGB куба в данном изображении. Методом итеративного деления полученных интервалов пополам и объединения их достигается приблизительно равномерное представительство цветов, входящих в интервал, в преобразуемом изображении. При этом деление интервала на части осуществляется с учетом распределения цветов внутри интервала. Итеративный процесс прекращается, когда количество интервалов становится равным размеру палитры. За входы в палитру принимаются центры полученных интервалов.

2. Отображение декомпрессированного изображения на полученную палитру.

Самым простым и быстрым способом в данном случае является поиск ближайшего значения цвета в построенной палитре к цвету каждого пикселя исходного изображения и формирование выходного палитрового изображения как совокупности адресов входов в палитру. Однако такой способ часто приводит к появлению цветовых полос в тех местах, где в исходном изображении наблюдались плавные цветовые переходы. Для того чтобы избежать данного эффекта, может быть использована процедура цветозамещения (dithering). Суть его состоит в том, что данный пиксель изображения может не быть совмещен с ближайшим входом в палитру, но в среднем в некоторой области изображение будет выглядеть ближе к правильному цвету, чем при отсутствии цветозамещения. В программе реализованы два варианта цветозамещения: упорядоченный (ordered) алгоритм и алгоритм Флойда-Штейнберга (Floyd-Steinberg), основанный на методе распределения цветовой ошибки.

Отметим потенциальные возможности предлагаемого метода сжатия.

Разработанный метод реализует процедуры сжатия–восстановления цветных (в формате RGB и палитровых) изображений и черно-белых полутоновых изображений с коэффициентами компрессии до 12 раз при сжатии палитровых изображений, до 40–60 – цветных RGB-изображений, до 25 – черно-белых полутоновых изображений. Ошибка восстановления изображений по СКО, нормированной по дисперсии изображения, не превышает 4 %. Субъективно качество восстановленных изображений при малых коэффициентах компрессии уступает методу JPEG, а при предельных несколько превосходит его.

Реализован набор опций, позволяющих:

- сжимать черно-белые полутоновые, цветные палитровые и RGB-изображения ;
- использовать различные комбинации кодовых библиотек, отличающиеся размерами блоков, размерами библиотек и классами обучающих выборок;
- использовать различные цветовые пространства при выполнении операции сжатия (RGB, YUV);
- использовать различные режимы прореживания компонентов для увеличения коэффициентов компрессии;
- использовать различные варианты дополнительного сжатия изображений либо на основе встроенного LZW-алгоритма, либо за счет подключения внешних архиваторов;
- использовать при декомпрессии режим перевода RGB изображений в палитровые.

Предложенный алгоритм компрессии изображений хорошо работает на изображениях общего класса типа пейзаж, портрет и пр. и неудовлетворительно (при существующих библиотеках) на изображениях с протяженными локальными контрастами типа текст, рисованный мультфильм и пр. Для сжатия изображений подобных сюжетов предлагается использовать другие алгоритмы. При этом коэффициенты компрессии достигают восьми при идеальном качестве восстановления

Данный алгоритм может рассматриваться как предмет дальнейшей программной реализации.

Пути совершенствования разработанного алгоритма сводятся на сегодняшний день к следующему:

– подготовка более совершенных библиотек, рассчитанных на различные специализированные классы сжимаемых изображений (аэрофото-, медицинские изображения и пр.);

– использование более мощных встроенных непатентованных алгоритмов сжатия без потерь: адаптивного динамического кодирования Хаффмена, арифметического кодирования, LZSS-кодирования и их комбинаций, что позволит повысить коэффициент компрессии без потерь качества;

– использование интерполяции при выполнении процедуры дублирования (resampling) U,V-компонент при восстановлении изображений;

– использование отдельных принципов фрактального сжатия при реализации квантования векторов изображения по существующей библиотеке (использование усеченных аффинных преобразований блоков), что несколько увеличит время кодирования и незначительно понизит коэффициент компрессии, однако должно привести к существенному выигрышу в качестве восстановле-

ния кодированных изображений при том же времени декодирования;

– использование операции предварительного нормирования яркости кодированного изображения, что значительно увеличивает качество восстановленных изображений, величина снижения при этом коэффициента компрессии может быть оценена только при дальнейших исследованиях.

Библиографический список

1. L.Anson & H.Barnsly. The fractal compression of images. – PC World. 1992. N 4 pp. 52–58.
2. C.K.Chui. An Intoduction to Wavelets. Texas A&M University. 1998.
3. T.Kohonen. Self-Organization and Associative Memory. – Berlin, 1984, Springer-Verlag. – 255 p.
4. M.Nelson. The Data Compression Book. USA. M&T Publishing. 1991.
5. J.A.Storer. Data Compression: Methods and Theory. – USA: Computer Sciens Press. 1988.
6. E. Tompson. The new medium of exchange. Digital compresson technology sparks video revolution. – Photonics Spectra. February 1994. Vol. 28, N 2 pp. 22–102.
7. T.A.Welch. A Technique for High-Performance Data Compression. Computer. 1984. V. 17. N 6.
8. J.Ziv & A.Lempel. Compression of individual Sequences via Variable Rate Coding. IEEE Transactions on Information Theory. – 1978. Vol. 23, N 3.

ОБ ОДНОЙ КОМБИНАТОРНОЙ ЗАДАЧЕ В ТЕОРИИ ГРУПП

А.А. ДУХИН, доц. МГИЭМ, канд. физ.-мат. наук

Представляет интерес нахождение распределения длин слов в абелевой группе, заданной образующими элементами и определяющими соотношениями. Полученный ниже результат может быть рассмотрен как один из шагов в решении этой задачи.

Пусть $F_r = \langle x_1, \dots, x_r \rangle$ – свободная абелева группа и $G(n)$ – совокупность всевозможных последовательностей длины n , составленных из образующих элементов x_1, \dots, x_r и нуля группы F_r

$$G(n) = \left\{ \Gamma_n : \Gamma_n = (\varepsilon_1 x_1, \dots, \varepsilon_n x_n) \right\},$$

где $\varepsilon_i = 0, \pm 1$, $i_j = 1, 2, \dots, r$.

Из каждой последовательности Γ_n образуем слово $g(\Gamma_n) \in F_r$, соединяя элементы последовательности знаком групповой операции «+». Затем, используя тривиальные определяющие соотношения

$x_i + (-x_i) = 0$, $x_i + x_j = x_j + x_i$, $i, j = 1, \dots, r$,
приведем это слово к редуцированному виду

$$g(\Gamma_n) = M_1 x_1 + \dots + M_r x_r, \quad (1)$$

$$g(\Gamma_n) \in F_r, \quad M_i - \text{целые} \quad \sum_{i=1}^r |M_i| \leq n.$$

Множество всех тривиальных соотношений

$$R = \{x_i + (-x_i) = 0, x_i + x_j = x_j + x_i, i, j = 1, \dots, r\}$$

задает отношение эквивалентности на $G(n)$. Все слова, составленные из последовательностей $G(n)$, разбиваются на непересекающиеся классы нередуцированных слов. Нередуцированные слова одного класса приводятся к фиксированному редуцированному, коэффициенты M_i которого удовлетворяют ограничениям (1).

При редуцировании слова подвергаются сжатию (компрессии). Длина n исходного слова уменьшается. В некоторых случаях после сжатия может получиться нулевой элемент группы F_r , т. е. исходное слово подверглось максимальному сжатию.

Ниже находится асимптотическое число $C(M_1, \dots, M_r; n)$ нередуцированных слов, входящих в класс, определяемый редуцированным словом

$$g(\Gamma_n) = M_1 x_1 + \dots + M_r x_r.$$

Теорема

В предположении, что $\sum_{i=1}^r |M_i| \leq n$

$M_i = M > 0, M^2 = o(n), i = 1, \dots, r$, величина $C(M_1, \dots, M_r; n)$ имеет следующее асимптотическое представление

$$C(M_1, \dots, M_r; n) = \left(\frac{2r+1}{4\pi}\right)^{\frac{r}{2}} n^{-\frac{r}{2}} (2r+1)^n (1+o(1)). \quad (2)$$

Доказательство

Рассмотрим производящую функцию

$$\varphi(z_1, \dots, z_r) = F^n(z_1, \dots, z_r) = \left[\sum_{i=1}^r \left(z_i + \frac{1}{z_i} \right) + 1 \right]^n. \quad (3)$$

Нетрудно видеть, что, вычислив асимптотическое по n значение коэффициента $C(M_1, \dots, M_r; n)$, при $z_1^{M_1} \dots z_r^{M_r}$ в разложении $\varphi = F^n(z_1, \dots, z_r)$ получим требуемое.

Применяя многомерный аналог теоремы Коши для голоморфных функций нескольких комплексных переменных [1, с. 7], получим

$$C(M_1, \dots, M_r; n) = \frac{1}{(2\pi i)^r} \times \int_G \dots \int \frac{(z_1, \dots, z_r)^n F^n(z_1, \dots, z_r)}{\prod_{i=1}^r z_i^{M_i}} d_{z_1} \dots d_{z_r},$$

где G – множество точек $\bar{z} = (z_1, \dots, z_r)$, для которых $|\bar{z}| = 1$.

Для вычисления этого контурного интеграла применим многомерный метод перевала [4, с. 868].

Следуя автору [4], имеем

$$C(M_1, \dots, M_r; n) = \frac{\left[F(z_1^{(o)}, \dots, z_r^{(o)}) \right]^n}{(2\pi n)^{\frac{r}{2}} (z_1^{(o)})^{M_1} \dots (z_r^{(o)})^{M_r} \sqrt{\Delta(z_1^{(o)}, \dots, z_r^{(o)})}}, \quad (4)$$

где $(z_1^{(o)}, \dots, z_r^{(o)})$ – точка многомерного перевала, являющаяся решением системы уравнений

$$n z_j \frac{\partial}{\partial z_j} F(z_1, \dots, z_r) = M_j F(z_1, \dots, z_r), \quad (5)$$

определитель

$$\Delta = \left| K_{jk}(z_1, \dots, z_r) \right| = \left| z_j \frac{\partial}{\partial z_j} \left(z_k \frac{\partial}{\partial z_k} \ln F(z_1, \dots, z_r) \right) \right|_{j, k = 1, \dots, r}. \quad (6)$$

Заметим, что рассматриваемая функция $F(z_1, \dots, z_r)$ удовлетворяет условиям теоремы 6.3 [4, с. 868]. Для нахождения асимптотического значения $C(M_1, \dots, M_r; n)$ нужно решить систему (5) и подсчитать значение коэффициента (4) в точке $(z_1^{(o)}, \dots, z_r^{(o)})$, являющейся решением системы (5).

Для функции

$$\varphi(z_1, \dots, z_r) = \left[F(z_1, \dots, z_r) \right]^n$$

система (5) имеет вид

$$n\left(z_1 - \frac{1}{z_1}\right) = M_1 F(z_1, \dots, z_r),$$

.....

$$n\left(z_r - \frac{1}{z_r}\right) = M_r F(z_1, \dots, z_r). \quad (5')$$

При этом $Z_i > 0, i = 1, \dots, r, \sum_{i=1}^r |M_i| \leq n$.

Покажем, что в первом 2^r -анте у системы (5') существует и притом единственное решение.

Рассмотрим поверхность, определяемую уравнением

$$F(z_1, \dots, z_r) = \left[\sum_{i=1}^r \left(z_i + \frac{1}{z_i} \right) + 1 \right], \quad (7)$$

где $z_i > 0, i = 1, \dots, r$.

В точке $\bar{e} = (1, \dots, 1)$ функция $F(z_1, \dots, z_r)$ имеет минимум, равный $2r + 1$.

$$\lim_{z_i \rightarrow \infty} F(z_1, \dots, z_r) = \infty,$$

$$z_i \rightarrow \infty$$

.....

$$z_{i_k} \rightarrow \infty$$

$$\lim_{z_i \rightarrow 0+0} F(z_1, \dots, z_r) = \infty,$$

$$z_i \rightarrow 0+0$$

.....

$$z_{i_k} \rightarrow 0+0$$

для любого набора переменных $(z_{i_1}, \dots, z_{i_k}), k = 1, \dots, r$.

При этом, если $z_i \rightarrow \infty$, то $\frac{1}{z_i} \rightarrow 0$, и

наоборот. Следовательно, $F(z_1, \dots, z_r)$ стремится к бесконечности не быстрее rz .

Отметим, что функция $F(z_1, \dots, z_r)$ обладает следующими свойством. Для любых двух точек \bar{z}_1, \bar{z}_2 , расположенных на прямой, проходящей через точку $\bar{e} = (1, \dots, 1)$, лежащих в первом 2^r -анте по одну сторону от точки $\bar{e} = (1, \dots, 1)$ $F(\bar{z}_1) < F(\bar{z}_2)$, если

$$\ell_2(\bar{z}_1 - \bar{e}) < \ell_2(\bar{z}_2 - \bar{e})$$

(ℓ_2 -евклидова метрика).

Рассмотрим пространственную кривую L , полученную нормировкой левых частей уравнений системы (5')

$$L = \frac{n}{M_1} \left(z_1 - \frac{1}{z_1} \right) = \frac{n}{M_2} \left(z_2 - \frac{1}{z_2} \right) = \dots = \frac{n}{M_r} \left(z_r - \frac{1}{z_r} \right). \quad (8)$$

Кривая L обладает тем свойством, что производная

$$\left(\frac{n}{M_i} \left(z_i - \frac{1}{z_i} \right) \right)'_{z_i} = \frac{n}{M_i} \left(1 + \frac{1}{z_i^2} \right)$$

имеет знак, совпадающий со знаком M_i . Следовательно, если $M_i > 0$, то

$$\frac{n}{M_i} \left(z_i - \frac{1}{z_i} \right) \rightarrow \infty, \text{ при } z_i \rightarrow \infty,$$

$$\frac{n}{M_i} \left(z_i - \frac{1}{z_i} \right) \rightarrow -\infty, \text{ при } z_i \rightarrow 0+0$$

для любого i .

В точке $\bar{e} = (1, \dots, 1)$ кривая L пересекает координатную плоскость $(0, z_1, \dots, z_r)$. Из того, что L стремится к бесконечности быстрее, чем F , следует, что решение системы (5') существует. Из свойств F и из того, что L_{z_i} сохраняет знак для любых z_i , следует, что решение единственно.

Заметим, что если $M_i = 0 \forall i = 1, \dots, r$, то система (5') имеет единственное решение $z_1^{(0)} = \dots = z_r^{(0)} = 1$.

Если некоторые $M_i = 0$, например, $M_{s+1} = \dots = M_r = 0$, то (5') имеет вид

$$n\left(z_1 - \frac{1}{z_1}\right) = M_1 F(z_1, \dots, z_r)$$

$$\dots$$

$$n\left(z_s - \frac{1}{z_s}\right) = M_s F(z_1, \dots, z_r)$$

$$n \left(z_{s+1} - \frac{1}{z_{s+1}} \right) = 0$$

.....

$$n \left(z_r - \frac{1}{z_r} \right) = 0.$$

Из последних $r - s$ уравнений следует, что $z_{s+1}^{(o)} = \dots = z_r^{(o)} = 1$. Подставляя $z_i^{(o)}$ $i = s + 1, \dots, r$ в первые S уравнений, получаем систему, аналогичную (5'). Следовательно, достаточно привести метод решения системы (5').

Запишем систему, эквивалентную (5')

$$n \left(z_1 - \frac{1}{z_1} \right) = M_1 F(z_1, \dots, z_r)$$

$$z_1 - \frac{1}{z_1} = \frac{M_1}{M_2} z_2 - \frac{1}{z_2}$$

.....

$$z_1 - \frac{1}{z_1} = \frac{M_1}{M_r} z_r - \frac{1}{z_r}. \quad (5'')$$

Введем обозначения

$$z_i - \frac{1}{z_i} = u_i. \quad (9)$$

Заметим при этом, что

$$z_i + \frac{1}{z_i} = \sqrt{u_i^2 + 4}. \quad (10)$$

В новых обозначениях система (5'') примет вид

$$nu_1 = M_1 \sqrt{u_1^2 + 4} + \sqrt{u_2^2 + 4} + \dots + \sqrt{u_r^2 + 4} + 1$$

$$u_2 = \frac{M_2}{M_1} u_1$$

.....

$$u_r = \frac{M_r}{M_1} u_1.$$

Подставляя $(r - 1)$ уравнение вида

$$u_i = \frac{M_i}{M_1} u_1 \quad i = 2, \dots, r$$

в первое, получим иррациональное уравнение относительно u_1

$$nu_1 - M_1 = \sum_{i=1}^r \sqrt{M_i^2 u_1^2 + 4M_1^2} \quad (11)$$

Применяя возведение в степень, получаем некоторый полином от U_1 , корни которого с любой степенью точности можно определить известными методами. Используя соотношения (9) и (10), находим точку перевала ($z_1^{(o)} = \dots = z_r^{(o)}$) и тем самым асимптотику $C(M_1, \dots, M_r; n)$.

В предположении, что $M_i = M$, $u_i = u$, $z_i^{(o)} = z^{(o)}$ $i = 1, \dots, r$, можно получить явный вид координат точки перевала $\bar{z}^{(o)}$. В этих предположениях уравнение (11) принимает вид

$$(n^2 - r^2 M^2) u^2 - 2nMu + (M^2 - 4M^2 r^2) = 0.$$

$$u_{1,2} = \frac{nM \left(1 \pm 2r \sqrt{1 + \frac{M^2 - 4M^2 r^2}{4n^2}} \right)}{n^2 - r^2 M^2}.$$

Перед радикалом нужно брать знак плюс, т.к. в противном случае при $M > 0$ система (5') не будет иметь решения.

Таким образом,

$$u = z^{(o)} - \frac{1}{z^{(o)}} = \frac{M}{n} \left(1 + 2r + o\left(\frac{1}{n}\right) \right). \quad (12)$$

Отсюда получаем

$$z^{(o)} = 1 + \frac{M}{2n} (1 + 2r) + o\left(\frac{1}{n}\right);$$

$$(z^{(o)})^{-1} = 1 - \frac{M}{2n} (1 + 2r) + o\left(\frac{1}{n}\right);$$

$$z^{(o)} + \frac{1}{z^{(o)}} = 2 + o\left(\frac{1}{n}\right). \quad (13)$$

Определитель $\Delta = |K_{jk}(Z_1, \dots, Z_r)|$ для функции $\varphi(Z) = [F(Z_1, \dots, Z_r)]^n$ имеет вид

$$\Delta = \frac{\prod_{i=1}^r \left(z_i - \frac{1}{z_i} \right)^2}{F^{2r}(z_1, \dots, z_r)} |d_{ij}|,$$

где $d_{ii} = \frac{\left(z_i + \frac{1}{z_i} \right) F - \left(z_i - \frac{1}{z_i} \right)^2}{\left(z_i - \frac{1}{z_i} \right)^2}$, $d_{ij} = -1$ $i \neq j$.

После очевидных преобразований получаем

$$\Delta = \frac{(-1)^r \prod_{i=1}^r \left(z_i - \frac{1}{z_i}\right)^2}{F^{2r}(z_1, \dots, z_r)} |d_{ij}|,$$

где $d_{ii} = 1 - \frac{\left(z_i + \frac{1}{z_i}\right)F}{\left(z_i - \frac{1}{z_i}\right)^2}$, $d_{ij} = 1$ $_{i \neq j}$.

Для вычисления полученного определителя используем результат, приведенный в [2, с. 30]

$$\Delta = \frac{(-1)^r \prod_{i=1}^r \left(z_i - \frac{1}{z_i}\right)^2}{F^{2r}(z_1, \dots, z_r)} (-1)^r \times$$

$$\times F^r(z_1, \dots, z_r) \left[1 - \frac{1}{F} \sum_{i=1}^r \frac{\left(z_i - \frac{1}{z_i}\right)^2}{\left(z_i + \frac{1}{z_i}\right)} \right] \times$$

$$\times \prod_{i=1}^r \frac{\left(z_i + \frac{1}{z_i}\right)}{\left(z_i - \frac{1}{z_i}\right)^2} = \frac{\left[1 + 4 \sum_{i=1}^r \frac{1}{z_i + \frac{1}{z_i}} \right] \prod_{i=1}^r \left(z_i + \frac{1}{z_i}\right)}{F^{r+1}(z_1, \dots, z_r)}.$$

Используя предположение $z_i^{(o)} = z^{(o)}$ $i = 1, \dots, r$ и формулу (13), получаем асимптотическое по n значение определителя Δ в точке $(z_1^{(o)}, \dots, z_r^{(o)}) = (z^{(o)}, \dots, z^{(o)})$

$$\Delta(\bar{z}^{(o)}) = \frac{\left(1 + \frac{4r}{z^{(o)} + \left(z^{(o)}\right)^{-1}}\right) \left(z^{(o)} + z \frac{1}{z^{(o)}}\right)^r}{\left[r \left(z^{(o)} + \frac{1}{z^{(o)}}\right) + 1\right]^{r+1}} =$$

$$= \frac{\left(2 + o\left(\frac{1}{n}\right)\right)^r \left(1 + \frac{4r}{2 + o\left(\frac{1}{n}\right)}\right)}{1 + 2r + o\left(\frac{1}{n}\right)^{r+1}} =$$

$$= \left(\frac{2}{2r+1}\right)^r \left(1 + o\left(\frac{1}{n}\right)\right). \quad (14)$$

Принимая во внимание асимптотические формулы (12), (13), (14), получаем интересующую нас формулу (2) при условии $M_i = M$, $M^2 = o(n)$

$$C(M_1, \dots, M_r; n) =$$

$$= \frac{(F(z_1^{(o)}, \dots, z_r^{(o)}))^n}{(2\pi n)^{\frac{r}{2}} (z_1^{(o)})^M \dots (z_r^{(o)})^M \sqrt{\Delta(\bar{z}^{(o)})}} =$$

$$= \frac{\left[2r + 1 + o\left(\frac{1}{n}\right)\right]^n}{\left((2\pi n)^{\frac{r}{2}} \left(\frac{M}{2n}(1+2r) + 1 + o\left(\frac{1}{n}\right)\right)^{rM} \times \right.}$$

$$\left. \times \sqrt{\left(\frac{2}{2r+1}\right)^r \left(1 + o\left(\frac{1}{n}\right)\right)} \right)} =$$

$$= \left(\frac{2r+1}{4\pi}\right)^{\frac{r}{2}} n^{-\frac{r}{2}} (2r+1)^n (1 + o(1)).$$

Теорема доказана.

Библиографический список

1. Мальгранж, Б. Лекции по теории функций нескольких комплексных переменных / Б. Мальгранж. – М.: Мир, 1969.
2. Проскуряков, И.В. Сборник задач по линейной алгебре. 8-е изд. / И.В. Проскуряков. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.
3. Федорюк, М.В. Метод перевала / М.В. Федорюк. – М.: Наука, 1977.
4. Good, I.J. Saddle-point methods for the multinomial distributions. Ann. Math. Stat. V. 28. № 4. 1957.

О СЛОЖНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПОРОГОВЫХ ФУНКЦИЙ В ТРАДИЦИОННЫХ БАЗИСАХ

О.В. ШАБАНИН, *ст. преподаватель объединения ТВП, канд. физ.-мат. наук*

Первой работой, положившей начало развитию пороговой логики, послужила статья американских ученых Маккалока и Питтса [6], вышедшая в 1943 г. В ней была предпринята первая попытка описания функционирования нервной клетки – нейрона – с помощью логической функции, получившей название пороговой.

Пороговой функцией [1, 2, 7] называется булева функция $f: \{0, 1\}^n \rightarrow \{0, 1\}$, такая, что существуют действительные числа w_1, \dots, w_n, T , удовлетворяющие условию

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1 \Leftrightarrow w_1x_1 + \dots + w_nx_n \geq T.$$

При этом будем говорить, что функция f имеет реализацию $[w_1, \dots, w_n; T]$.

В конце 50-х гг. XX в. пороговые функции привлекли внимание исследователей простотой своей технической реализации, открывавшей возможности эффективного использования в логических схемах. 60-е гг. прошлого века относятся к периоду бурного развития пороговой логики, о которой уже говорят как о сложившейся дисциплине. К этому времени относится основное число работ. Наиболее полную библиографию можно найти в работе Муруги [7]. На русском языке достаточно полное изложение пороговой логики приведено в монографиях М. Дертоузоса [2] и Е.А. Бутакова [1].

В настоящее время интерес к данной проблематике поддерживается рядом теоретических и прикладных проблем. Например, одной из наиболее известных NP – полных задач является задача о ранце:

$$\text{максимизировать } \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

$$\text{при условии } \sum_{i=1}^n a_i x_i \leq b,$$

где x_i – булевы;

c_i, a_i, b – неотрицательные действительные числа.

Данные условия являются типичными в задачах линейного программирования. Ее решение является основой в прикладных экономических проблемах. Областью допустимых значений здесь является множество нулей монотонной пороговой функции, и изучение его строения может дать ответ на проблему алгоритмической сложности решения подобных задач. Открытие принципов обучения и самообучения порогового элемента [9] привело к зарождению и бурному развитию нового направления в вычислительной технике – нейрокомпьютерным технологиям [10]. В настоящее время нейронные сети из пороговых элементов имеют широкое применение в самых различных областях. Оценка взвешенной суммы является основой широкого класса прикладных задач, таких, как распознавание образов, анализ обстановки и принятие решений. Последние результаты по пороговой логике достаточно подробно изложены в обзоре Ю.А. Зуева [3].

Необходимые сведения из пороговой логики

Будем считать, что два вектора (x_1, \dots, x_n) и (y_1, \dots, y_n) , $x_i, y_i \in \{0, 1\}$, $i = 1, 2, \dots, n$ связаны соотношением $(x_1, \dots, x_n) \leq (y_1, \dots, y_n)$, если $x_i \leq y_i$ для всех $i = 1, 2, \dots, n$; $(x_1, \dots, x_n) < (y_1, \dots, y_n)$, $x_i, y_i \in \{0, 1\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, если $(x_1, \dots, x_n) \leq (y_1, \dots, y_n)$, но $(x_1, \dots, x_n) \neq (y_1, \dots, y_n)$.

Функция $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ называется монотонной, если из условия

$$(x_1, \dots, x_n) \leq (y_1, \dots, y_n)$$

следует $f(x_1, \dots, x_n) \leq f(y_1, \dots, y_n)$.

Нижней единицей монотонной функции $f(x_1, \dots, x_n)$ называется вектор (a_1, \dots, a_n) , такой, что $f(a_1, \dots, a_n) = 1$ и $f(b_1, \dots, b_n) = 0$ для любого $(b_1, b_2, \dots, b_n) < (a_1, \dots, a_n)$.

Две функции называются однотипными, если одна может быть получена из

другой перестановкой координат и заменой некоторых переменных на их отрицания.

Функция $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ называется обобщенно-монотонной, если существует монотонная функция $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$, однотипная с функцией $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Известно, что любая пороговая функция является обобщенно-монотонной.

Для монотонной функции f обозначим через $Lv(f)$ количество нижних единиц функции f . Для обобщенно-монотонной функции g положим $Lv(g)$ – количество нижних единиц монотонной функции, однотипной с функцией g . Корректность такого определения следует из предыдущего замечания.

Из определений нетрудно видеть, что любая пороговая функция является обобщенно-монотонной. Учитывая тот факт, что для монотонной функции нижние единицы и только они соответствуют простым импликантам в записи дизъюнктивной нормальной формы (д.н.ф.) [10], легко показать, что сложность д.н.ф. пороговой функции равна $Lv(f)$.

Для двоичной функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ введем обозначение

$$f^{-1}(1) = \{(a_1, a_2, \dots, a_n) \in \{0, 1\}^n : f(a_1, a_2, \dots, a_n) = 1\}.$$

Целочисленный вектор

$$(\Delta_0(f), \Delta_1(f), \dots, \Delta_n(f))$$

называется характеристическим вектором (вектором Чоу) функции f [1, 2, 6], если

$$\begin{aligned} \Delta_0(f) &= 2^{n-1} - |f^{-1}(1)|, \\ (\Delta_1(f), \dots, \Delta_n(f)) &= \Sigma(a_1, a_2, \dots, a_n), \\ (a_1, a_2, \dots, a_n) &\in f^{-1}. \end{aligned} \quad (1)$$

Суммирование векторов ведется в действительной области.

Основное свойство, определяющее исключительное внимание к изучению характеристического вектора в пороговой логике, состоит в следующем [1, 2, 7]:

если $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – пороговая функция, то для любой функции

$$\begin{aligned} g(x_1, x_2, \dots, x_n) : g \neq f \text{ верно} \\ (\Delta_0(g), \Delta_1(g), \dots, \Delta_n(g)) \neq \\ \neq (\Delta_0(f), \Delta_1(f), \dots, \Delta_n(f)). \end{aligned}$$

О сложности д.н.ф. пороговой функции в «типичном» случае

Под сложностью представления произвольной булевой функции в виде дизъюнктивной нормальной формы (д.н.ф.), или просто под сложностью д.н.ф. будем понимать число простых импликант, входящих в запись минимальной д.н.ф. [10]. Достаточно полный обзор результатов по теории сложности представления булевых функций в различных базисах из функциональных элементов можно найти в работе Р.Г. Нигматуллина «Сложность булевых функций» [8]. Оценка сложности представления пороговых функций с помощью д.н.ф. представляет теоретический и практический интерес. Хорошо известен факт, что наибольшую сложность д.н.ф., равную $\binom{n}{[n/2]}$, в

классе пороговых функций от n переменных имеет мажоритарная функция [6]. Большая сложность д.н.ф. пороговых функций служит аргументом для использования в ряде случаев пороговых представлений булевых функций вместо представлений в виде д.н.ф. [7]. С другой стороны, как отмечалось выше, исследование сложности д.н.ф. пороговых функций тесно связано с проблемой алгоритмической сложности NP – полных задач. Поэтому отдельной задачей является оценка сложности д.н.ф. в типичном случае. Задача оценки сложности д.н.ф. типичной пороговой функции предложена Ю.А. Зуевым. Ее постановку можно найти, например, в работе [3]. Наилучшая известная нижняя оценка получена в работе Ю.А. Зуева и Л.И. Липкина [4], где доказано, что почти у всех пороговых функций сложность д.н.ф. не меньше $n^2 / \log_2 n$. Для улучшения этой оценки автором доказана теорема, связывающая сложность д.н.ф. $Lv(f)$ пороговой функции f с параметрами Чоу.

Теорема 1

Пусть $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ пороговая функция с реализацией $[w_1, \dots, w_n; T]$,
 $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n \geq 0$.

Тогда для числа нижних единиц функции f выполняется неравенство

$$Lv(f) \geq \Delta_i(f) / 2^{n-i}$$

при всех $i = 1, 2, \dots, n$.

Обозначим через $P(n)$ число двоичных пороговых функций от n переменных.

В работе [5] показано, что при $n \rightarrow \infty$ $\log_2 P(n) > n^2 - n \log_2 n + O(n)$.

С использованием этой оценки и теоремы 1 доказан основной результат.

Теорема 2

При $n \rightarrow \infty$ для почти всех пороговых функций сложность д.н.ф. $Lv(f)$ удовлетворяет неравенству

$$\log_2 Lv(f) > n - 2\sqrt{2n \log_2 n (1 + \delta(n))},$$

где $\delta(n)$ любая функция с условиями $\delta(n) = o(1)$ и $n\delta(n) \rightarrow +\infty$ при $n \rightarrow \infty$.

Из того, что отрицание пороговой функции является пороговой функцией, следует, что для сложности представления в виде конъюнктивной нормальной формы (к.н.ф.) будет справедлива оценка теоремы 2.

Оценка степени нелинейности многочлена Жегалкина пороговой функции

Многочленом Жегалкина булевой функции f называется ее представление формулой вида

$$f(x_1, \dots, x_n) = c_0 \oplus c_1 x_1 \oplus \dots \oplus c_n x_n \oplus \oplus c_{1,2} x_1 x_2 \oplus \dots \oplus c_{i_1, i_2, \dots, i_k} x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_k} \oplus \dots \oplus c_{1,2, \dots, n} x_1 x_2 \dots x_n,$$

где коэффициенты $c_{i_1, i_2, \dots, i_k} \in \{0, 1\}$.

Наибольшая из длин конъюнкций, входящих в его запись многочлена Жегалкина функции f , называется его степенью $\deg f$. Очевидно, что степени многочленов Жегалкина однотипных функций совпадают.

Введенные выше определения можно найти в книге С.В. Яблонского «Введение в дискретную математику».

Теорема 3

Пусть $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – произвольная пороговая функция, существенно зависящая от всех переменных.

$$\text{Тогда } \deg f \geq \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil.$$

При этом равенство достигается, например, при $n = 3$ и пороговой функции

$$f(x_1, x_2, x_3) = 1 \Leftrightarrow x_1 + x_2 + x_3 \geq 2.$$

Многочлен Жегалкина такой функции имеет вид: $x_1 x_2 \oplus x_1 x_3 \oplus x_2 x_3$.

Оценки расстояний между классами пороговых и линейных функций

Изучению свойств классов двоичных функций посвящено большое количество работ. Задачи оценки расстояний между функциями из различных классов имеют как теоретический, так и практический интерес, связанный с потребностями теории кодирования и прикладными вопросами идентификации функций.

Пусть $f_1(x_1, \dots, x_n)$ и $f_2(x_1, \dots, x_n)$ – двоичные функции от n переменных. Обозначим

$$d(f_1, f_2) = \left| \alpha \in \{0, 1\}^n / f_1(\alpha) \neq f_2(\alpha) \right|$$

расстояние между функциями f_1 и f_2 (расстояние Хемминга между векторами значений функций).

Для удобства расчетов введем обозначение

$$\Delta_{i_1, i_2, \dots, i_k}(f) = d(f, x_{i_1} \oplus x_{i_2} \oplus \dots \oplus x_{i_k}) - 2^{n-1},$$

$$\Delta_0(f) = \|f\| - 2^{n-1},$$

где $\|f\|$ – число двоичных наборов, на которых функция f принимает значение «1».

Числа $\Delta_{i_1, i_2, \dots, i_k}(f)$ естественно образом связаны с достаточно хорошо изученными коэффициентами Радамахера – Уолша [6, 7], определяемыми как

$$d_{\bar{\alpha}}(f) = \frac{1}{2^n} \sum_{\bar{x}} (2f(\bar{x}) - 1) \cdot [\bar{\alpha}, \bar{x}],$$

где $[\bar{\alpha}, \bar{x}] = \prod_{i=1}^n (2x_i - 1)^{\alpha_i}$,

$$\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_n), \bar{x} = (x_1, \dots, x_n).$$

Тогда при условии

$$\{i_1, \dots, i_k\} = \{i / \alpha_i = 1\}$$

верно равенство

$$\Delta_{i_1, i_2, \dots, i_k}(f) = 2^{n-1} d_{\bar{\alpha}}(f).$$

Обозначим

$$f_i^0 = f(x_1, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n),$$

$$f_i^1 = f(x_1, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n)$$

– подфункции функции f , зависящие от $(n - 1)$ переменных.

Покажем, что у обобщенно-монотонной функции существует простая связь между ее подфункциями и расстояниями до линейной функции от одной переменной.

Теорема 4

Булева функция $f(x_1, \dots, x_n)$ является обобщенно-монотонной тогда и только тогда, когда $d(f_i^0, f_i^1) = |\Delta_i(f)|$.

Теорема 5

Пусть $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – обобщенно-монотонной функция. Тогда для любых $i_1, i_2, \dots, i_k : 1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq n$, для любого $a \in \{0, 1\}$ верны неравенства

при $k = 2s$

$$2^{n-1} - 2^{n-2s} \binom{2s}{s} < d(f, x_{i_1} \oplus x_{i_2} \oplus \dots \oplus x_{i_{2s}} \oplus a) <$$

$$< 2^{n-1} + 2^{n-2s} \binom{2s}{s},$$

при $k = 2s - 1$

$$2^{n-1} - 2^{n-2s+1} \binom{2s-2}{s-1} < d(f, x_{i_1} \oplus x_{i_2} \oplus \dots \oplus x_{i_{2s-1}} \oplus a) <$$

$$< 2^{n-1} + 2^{n-2s+1} \binom{2s-2}{s-1}.$$

Следующая теорема дает представления о связи расстояния от данной обобщенно-монотонной функции до линейной функции от одной и от нескольких переменных.

Теорема 6

Пусть $f(x_1, \dots, x_n)$ – обобщенно-монотонная функция.

Тогда для любых

$$i_1, \dots, i_s : 1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_s \leq n$$

выполняется неравенство

$$|\Delta_{i_1, \dots, i_s}(f)| \leq \min_{j=1, 2, \dots, s} |\Delta_{i_j}(f)|.$$

Теорема 7

Для любой пороговой функции $g(x_1, \dots, x_n)$ выполняется неравенство

$$|\Delta_0(g)| + |\Delta_1(g)| + \dots + |\Delta_n(g)| \geq 2^{n-1}$$

При этом равенство достигается лишь в случае, когда

$$g(x_1, \dots, x_n) = x_i, \text{ либо } g(x_1, \dots, x_n) = \text{const.}$$

Большинство из приведенных выше результатов прошло апробацию на различных научных конференциях [12, 13], а также опубликовано в виде статей [14].

Библиографический список

1. Бутаков, Е.А. Методы синтеза релейных устройств из пороговых элементов / Е.А. Бутаков. – М.: Энергия, 1970.
2. Дертоузос, М. Пороговая логика / М. Дертоузос. – М.: Мир, 1967.
3. Зуев, Ю.А. Пороговые функции и пороговые представления булевых функций / Ю.А. Зуев // Математические вопросы кибернетики. – Вып. 5. – 1994. – С. 5–61.
4. Зуев, Ю.А. Регулярные булевы функции с заданной сложностью дизъюнктивных нормальных форм / Ю.А. Зуев, Л.И. Липкин // Методы дискретного анализа в изучении булевых функций и графов. – Вып. 48. – Новосибирск: ИМ СО АН СССР, 1989. – С. 17–22.
5. Зуев, Ю.А. Комбинаторно-вероятностные и геометрические методы в пороговой логике / Ю.А. Зуев // Дискретная математика. – Т. 3. – Вып. 2. – 1991. – С. 47–57.
6. McCulloch, W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // Bulletin of Math. Biophysics. – 1943. – V. 5. – P. 115–133. [Рус. пер. Маккалок У.С., Питтс У. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности // Автоматы. – М.: ИЛ, 1956. – С. 362–384].
7. Muroga, S. Threshold logic and its applications. – New York : Wiley, 1971. – 478 p.
8. Нигматуллин, Р.Г. Сложность булевых функций / Р.Г. Нигматуллин. – М.: Наука, 1990.
9. Piers, W.H. Failure – Tolerant computer design. – New York and London: Academic Press, 1965. [Рус. пер.: Пирс У. Построение надежных вычислительных машин. – М.: Мир, 1968].
10. Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика / Ф. Уоссермен. – М.: Мир, 1992.
11. Яблонский, С.В. Введение в дискретную математику / С.В. Яблонский. – М.: Наука. – 1979.
12. Шабанин, О.В. О сложности дизъюнктивной нормальной формы пороговых функций / О.В. Шабанин // Обзорение прикладной и промышленной математики. VI Всероссийская конференции по стохастическим методам. Тезисы докладов. – М.: ТВП. – Т. 6. – Вып. 1. – 1999. – С. 213–214.
13. Шабанин, О.В. О сложности представления пороговых функций в традиционных базисах / О.В. Шабанин // VI Всероссийская конференция «Нейрокомпьютеры и их применение»: тезисы докладов. – М.: Изд. «Радиотехника», 2000. – С. 454–455.
14. Шабанин, О.В. О сложности дизъюнктивной нормальной формы пороговых функций / О.В. Шабанин // Дискретная математика. – Т. 12. – Вып. 2. – 2000. – С. 85–92.

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ УЧЕБНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

С.М. КОЛОБАШКИН, *проф. объединения ТВП, канд. техн. наук,*
К.В. БЕЛЯЕВ, *нучный сотрудник лаборатории ТВП*

Применение современных автоматизированных информационных технологий в сфере профессионального обучения позволило решить большое количество проблем, связанных с повышением доступности образования. Тем не менее зачастую качество обучения, проводимого с использованием средств автоматизации обучения (в частности, систем дистанционного обучения), не соответствует современным требованиям, предъявляемым к качеству профессиональной подготовки. Это связано с тем, что существующие средства автоматизации ориентированы прежде всего на самостоятельную работу обучаемого и его личную заинтересованность в результатах обучения. Практика применения таких средств показывает, что в случае отсутствия заинтересованности результаты обучения и контроля знаний оказываются недостоверными из-за поверхностного изучения студентами теоретических материалов и интенсивного обмена информацией о контрольных заданиях между ними.

Качество знаний, получаемых в результате обучения, можно существенно повысить, используя элементы контроля на этапе изучения теоретических материалов (в частности, работы с лекционными занятиями). Применение такого подхода позволит строить индивидуальную последовательность изложения учебного материала и реализовать адаптивное управление познавательной деятельностью обучаемого.

Следует отметить, что средства контроля при изучении теоретических материалов не должны быть навязчивыми и требовать излишнего внимания обучаемого, но в то же время должны позволять оценить зна-

ния и принять решение о направлении его дальнейших действий. Настоящая статья посвящена рассмотрению метода контроля знаний обучаемого, соответствующего введенным требованиям.

1. Общие положения

В дистанционном обучении наибольший интерес представляют программные продукты, обеспечивающие автоматизацию основных стадий учебного процесса: демонстрация электронного пособия обучаемому, контроль усвоения им предъявленного материала и коррекция в зависимости от результатов контроля и поставленных задач информационного воздействия на обучаемого. В основном исследования в этой области направлены на разработку методов и систем проверки знаний учащихся, причем основным и фактически единственным способом проверки является тестирование. Для контроля знаний применяется несколько хорошо изученных типов педагогических тестов, обладающих необходимыми характеристиками – надежностью и валидностью [1].

Между тем не менее важным для адекватной коррекции последовательности операций учебного процесса представляется этап восприятия учебного материала (под учебным материалом будем понимать сведения, представленные в учебном пособии по данному курсу). Традиционно на этом этапе используются так называемые лекционные занятия – пользователю предлагаются сравнительно большие объемы информации для изучения и усвоения. Поскольку современные разработки предполагают использование с этой целью концепции гипертекста, обучаемому необходимо самостоятельно

оценивать, насколько хорошо он понял материал того или иного раздела. От пользователя требуется не только устойчивое внимание, но и адекватная самооценка, которая зачастую у него отсутствует.

В процессе изучения материала учащемуся необходимо выделять в тексте пособия и фиксировать наиболее существенную, с его точки зрения, информацию. Эффективное изучение нового материала происходит в том случае, когда учащийся выделяет действительно наиболее важные и полезные сведения, содержащиеся в пособии. Это действие следует доводить до состояния навыка, т.е. выполнение его должно, с одной стороны, занимать минимальное время, а с другой стороны, приводить к появлению наименьшего числа ошибок. Умение выделять основную информацию в тексте полезно не только при изучении нового материала, но и в практической деятельности.

Исследованию данного вопроса посвящено множество работ, содержащих подробные методические рекомендации по составлению учебных пособий, и сравнительно немного работ, описывающих способы контроля познавательной деятельности учащихся. Другими словами, рассматриваются только процессы подготовки учебного материала и оценки знаний, полученных обучаемым в результате работы с этим материалом. При этом очень редко рассматривается возможность оценить качество работы обучаемого с пособием и использовать результаты этой оценки для управления предъявляемой информацией, например, изменяя последовательность и детальность изложения материала.

Коррекция последовательности занятий может осуществляться, например, следующим способом, подробно описанным в [6]. Пусть учебный материал объединен в логически обособленные фрагменты, называемые занятиями. Каждое занятие содержит несколько вариантов изложения материала, различающихся степенью детализации объяснения (набор вариантов одной степени детализации для разных занятий называют уровнем сложности), и, кроме того, сопровож-

дается кратким тестом для проверки понимания содержащейся в нем информации. Во время работы система должна предъявлять обучаемому наименее подробный вариант первого занятия (высший уровень сложности) и после его изучения проверять, достаточно ли хорошо информация была воспринята. Если учащийся хорошо усвоил содержание первого занятия, то происходит переход на второе с сохранением уровня сложности; в противном случае ему будет предъявлен более подробный вариант первого занятия (понижен уровень сложности), а после следующей проверки – либо произведен переход ко второму занятию на втором уровне детализации, либо повторено первое занятие с очередным понижением уровня сложности и т. д. Если после изучения некоторого занятия пользователь показывает высокие результаты при проверке знаний, уровень сложности изложения будет повышен, и так до завершения курса.

В литературе и на практике обычно не рассматривается возможность подобного регулирования познавательной деятельностью учащегося системой автоматизации обучения. Как правило, учебный материал оформляется в виде гипертекста с внедренными в него графическими и мультимедийными объектами, оснащенного иерархической системой поиска определенной информации по различным основаниям. В этом случае учащийся должен сам определять, какие страницы ему необходимо прочитать. В результате самостоятельного изучения курса (такое изучение часто бывает поверхностным) пользователь перед проверкой знаний не имеет никаких предварительных оценок своей подготовки. Поскольку эта проверка обычно является ответственным мероприятием, а разработка с этой целью, к примеру, хорошего теста – занятие сложное и дорогостоящее, требуется, как минимум, предупредить обучаемого в случае недостаточной усвоенности им учебного материала или невыполнения некоторых необходимых действий.

Приведенными соображениями обоснована необходимость разработки специального метода оценки качества работы обу-

чаемого с теоретическими учебными материалами. Такой метод был разработан и реализован в виде простого программного комплекса. В соответствии с ним оценка качества работы с текстом выполняется за два шага. На первом шаге происходит проверка правильного понимания обучаемым содержащейся в тексте информации, для чего от него требуется выделить в нем наиболее важные фрагменты и занести их в конспект. Если такие фрагменты выделены некачественно, проводится процедура уточнения конспекта: пользователю предлагается добавить в него недостающую важную информацию (в форме подсказок – какие важные сведения им не учтены) или, наоборот, удалить из конспекта лишний материал. На втором шаге проверяется качество усвоения информации обучаемым, для чего ему задаются заранее предусмотренные преподавателем вопросы по изученному материалу, ответами на которые являются определенные фрагменты текста. Выделяя эти фрагменты, пользователь не только проходит своего рода тест, но и показывает, насколько хорошо (быстро) он ориентируется в учебных материалах.

Таким образом, прикладную задачу, решению которой посвящена настоящая работа, можно уточнить следующим образом: требуется разработать метод оценки качества работы пользователя с теоретическими учебными материалами, основанный на концепции выделения его наиболее важных фрагментов, и способ использования результатов такой оценки в процессе изучения пользователем материала курса.

2. Теоретическое решение задачи

2.1. Предварительные обозначения

Сформулированная выше прикладная задача требует для успешного решения более строго описать объекты предметной области и их параметры. Рассмотрим математическую модель, применяемую при решении данной задачи.

Будем считать, что пользователь может работать с электронным пособием в

двух режимах: чтение и изучение. В первом случае происходит самостоятельное ознакомление обучаемого с предоставленной ему информацией. Второй режим, предшествующий в учебном процессе первому, предусматривает выполнение пользователем некоторых оцениваемых действий и изменение, в зависимости от их результатов, последовательности этапов процесса обучения.

Далее, введем некоторые упрощения в структуру электронного учебника. Такие упрощения не являются принципиальными, но существенно облегчают описание алгоритма оценки; более того, почти для всех них можно предложить эвристики, снимающие эти ограничения. Будем считать, что пособие представлено в виде гипертекста Ω , разделенного на N блоков: $\Omega = \{B_1, B_2, \dots, B_N\}$. В свою очередь, блок B_i , $1 \leq i \leq N$ разделен на n_i страниц: $B_i = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{in_i}\}$. Каждый блок содержит одно занятие (лекцию, параграф учебника) и может быть изучен не более одного раза. Это означает, что в пределах занятия возможны произвольные переходы по гиперссылкам и принудительные переходы; переход к следующему блоку возможен единственным образом (только по одной гиперссылке), а после выхода в любой другой блок возврат к этому занятию будет возможен только для чтения, но не для повторного изучения.

Каждая страница S_{ij} представляет собой конечную последовательность

$$S_{ij} = \{s_k \mid k = 1, 2, \dots, K_{ij}\}$$

элементов гипертекста (слов, изображений, мультимедийных вставок и др.). Количество K_{ij} элементов на странице S_{ij} будем называть размером страницы.

Фрагментом страницы S_{ij} будем называть непустой набор элементов страницы

$$\{s_p, s_{p+1}, \dots, s_{p+q} \mid 1 \leq p \leq p + q \leq K_{ij}\} \subset \{s_k \mid k = 1, 2, \dots, K_{ij}\} = S_{ij},$$

т. е. непрерывный отрезок элементов – слово, словосочетание, фразу, абзац и т. д. В дальнейшем будем называть его просто фрагментом.

2.2. Оценка понимания пользователем учебного материала

Определим объекты, необходимые для оценки понимания обучаемым учебного материала. При помощи эксперта (преподавателя) выделим на странице S_{ij} M_{ij} фрагментов, содержащих наиболее важную информацию, которую обучаемый обязан найти и включить в конспект. Каждый такой фрагмент $F_{ij}^{(k)}$, $k = 1, 2, \dots, M_{ij}$ опишем характеристической функцией $X_{ij}^{(k)}: S_{ij} \rightarrow \{0, 1\}$ следующим образом

$$X_{ij}^{(k)}(s) = \begin{cases} 1, & \text{если } s \in F_{ij}^{(k)}, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Наложим на выбранные фрагменты условие непересечения: для всяких k, l таких, что $1 \leq k \leq M_{ij}, 1 \leq l \leq M_{ij}, k \neq l$,

$$\sum_{s \in S_{ij}} X_{ij}^{(k)}(s) X_{ij}^{(l)}(s) = 0.$$

Кроме того, для каждого фрагмента $F_{ij}^{(k)}$ при помощи эксперта определим вопрос (подсказку) $W_{ij}^{(k)}$, который нужно будет задать пользователю в случае, если этот фрагмент не будет им занесен в конспект. В данном случае естественно потребовать от эксперта так формулировать вопрос, чтобы ответ на него точно совпадал с фрагментом $F_{ij}^{(k)}$ и больше возможных ответов на странице не встречалось. Это необходимо для того, чтобы обучаемый, получив вопрос, безошибочно нашел на странице ответ и не тратил время на рассмотрение различных вариантов.

При подготовке учебного материала к конспектированию следует учесть такие параметры, как минимальный и максимальный объем конспекта для страницы. Это необходимо для того, чтобы заставить пользователя внимательно работать с текстом, а не использовать другие методы составления конспекта, основанные на подсказках системы. С этой целью экспертом должны быть для страницы S_{ij} установлены значения ν_{ij} и λ_{ij} как минимальный и максимальный объем конспекта этой страницы соответственно. Эти значения выбираются преподавателем

на основе анализа содержания страницы с соблюдением условий

$$0 \leq \nu_{ij} \leq \sum_{k=1}^{M_{ij}} \sum_{s \in S_{ij}} X_{ij}^{(k)}(s) \leq \lambda_{ij} \leq K_{ij},$$

которые означают, что объем материала, выделенного самим преподавателем как необходимого для конспектирования, не меньше минимального объема конспекта и не больше максимального, который в свою очередь не превосходит размера страницы.

Будем считать, что в процессе работы пользователь, копируя в конспект фрагменты учебного материала страницы S_{ij} , определяет этим отображение $R_{ij}: S_{ij} \rightarrow \{0, 1\}$ по правилу

$$R_{ij}(s) = \begin{cases} 1, & \text{если } s \in F_{ij}^{(k)}, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Определим объем конспекта D_{ij} страницы S_{ij} как число элементов страницы, занесенных в конспект

$$D_{ij} = \sum_{s \in S_{ij}} R_{ij}(s).$$

При добавлении нового фрагмента в конспект будем проверять, не нарушено ли предусмотренное ограничение на максимальный объем конспекта $D_{ij} \leq \lambda_{ij}$, и в случае нарушения запрещать добавление; при переходе к оценке качества конспекта проверим, удовлетворяет ли он ограничению на минимальный размер $D_{ij} \geq \nu_{ij}$ и в противном случае заставим обучаемого вернуться к редактированию конспекта с целью его дополнения.

Для оценки качества составленного в процессе обучения конспекта страницы S_{ij} учебного курса будем использовать усредненные по всем фрагментам конспекта $F_{ij}^{(k)}$, $k = 1, 2, \dots, M_{ij}$ коэффициенты полноты и точности, вычисленные на основании вышеприведенных функций (верхний индекс K указывает, что коэффициент рассматривается для задачи оценки конспекта)

$$K_{I,ij}^{(K)} = \frac{1}{M_{ij}} \sum_{k=1}^{M_{ij}} \frac{\sum_{s \in S_{ij}} X_{ij}^{(k)}(s) R_{ij}^{(k)}(s)}{\sum_{s \in S_{ij}} X_{ij}^{(k)}(s)},$$

$$K_{T,ij}^{(K)} = \frac{1}{M_{ij}} \sum_{k=1}^{M_{ij}} \frac{\sum_{s \in S_{ij}} X_{ij}^{(k)}(s) R_{ij}^{(k)}(s)}{\sum_{s \in S_{ij}} R_{ij}^{(k)}(s)}.$$

Введем $Q_{ij}^{(K)}$ – мультипликативный показатель качества выполнения конспекта страницы S_{ij} следующим образом

$$Q_{ij}^{(K)} = K_{I,ij}^{(K)} K_{T,ij}^{(K)}.$$

Обоснуем выбор такого показателя качества. Во-первых, при таком его определении сравнительно небольшие изменения коэффициентов полноты и точности конспектирования в окружении единицы будут приводить к заметному изменению значения показателя. Во-вторых, в некоторых контрольных точках такой показатель принимает осмысленные значения (например, при абсолютно правильном конспекте значение его равно 1, при абсолютно неверном $Q_{ij}^{(K)}$ принимает значение 0, а при конспектировании ровно половины каждого фрагмента основного материала – $1/2$) [2].

После постраничной оценки результатов конспектирования получим набор числовых значений

$$Q_{ij}^{(K)}, 0 \leq Q_{ij}^{(K)} \leq 1, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, n_i,$$

с которыми будем выполнять дальнейшие действия. Заметим, что в общем случае набор $Q_{ij}^{(K)}$ даже для одного блока B_i не является выборкой, т.к. различны количественные и качественные характеристики учебного материала для разных страниц. Оценки качества конспектирования разных страниц приведены к одной числовой шкале от 0 до 1, поэтому имеет смысл вычисление для каждого блока учебного материала B_i следующих величин

$$\bar{Q}_i^{(K)} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Q_{ij}^{(K)},$$

$$Q_i^{2(K)} = \frac{1}{2(n_i - 1)} \sum_{j=1}^{n_i} (Q_{ij}^{(K)} - \bar{Q}_i^{(K)})^2.$$

Таким образом, понимание пользователем учебного материала по теме, представленной блоком B_i , можно оценить качеством составленного им конспекта страниц этого блока $\bar{Q}_i^{(K)}$, представленным в число-

вой шкале $[0, 1]$ с разбросом в пределах блока $Q_i^{2(K)}$. Используя некоторые априорно заданные константы $\varepsilon^{(K)}$ и $\sigma^{(K)}$, проверим выполнение условий

$$\bar{Q}_i^{(K)} > \varepsilon^{(K)} \text{ и } Q_i^{2(K)} < \sigma^{(K)}. \quad (1)$$

Если значение показателя качества конспектирования удовлетворяет введенным требованиям, осуществим переход к следующему блоку либо, если блок последний, завершим изучение курса; в противном случае будем проводить процедуру уточнения конспекта. Эта процедура заключается в выполнении для всех страниц S_{ij} , входящих в блок B_i , следующих действий: исходя из некоторых ограничений (например, коэффициент полноты или точности конспектирования фрагмента учебного материала меньше некоторой пороговой величины) выберем фрагменты $F_{ij}^{(k)}$, выделение которых пользователем следует уточнить (ограничения должны обеспечивать обязательный выбор ненулевого числа фрагментов при невыполнении условий (1)), и, задавая ему соответствующие вопросы $W_{ij}^{(k)}$, получим в качестве ответов новые занесенные им в конспект фрагменты. Кроме того, дадим пользователю возможность удалить из конспекта неправильно занесенные в него фрагменты самостоятельно или после дополнительной подсказки. Переопределив нужным образом функцию R_i , вычислим новые значения $\bar{Q}_i^{(K)}$ и $Q_i^{2(K)}$ и вернемся к проверке условий (1).

Отметим, что в данном методе как промежуточные, так и окончательные (удовлетворяющие условиям (1)) значения $\bar{Q}_i^{(K)}$ и $Q_i^{2(K)}$ используются только для определения необходимости повторного изучения темы, представляемой блоком B_i . Возможность использования этих данных при оценке качества обучения авторами не рассматривалась.

2.3. Оценка усвоения пользователем учебного материала

Опишем теперь процедуру, применяемую для оценки усвоения обучаемым содержания занятия.

Будем считать, что количество страниц во всех блоках одинаково: $n_1 = n_2 = \dots = n_N = n$. Это необходимо для того, чтобы корректно провести статистические исследования результатов тестирования и обосновать метод получения оценок усвоения материала курса; на практике это условие, очевидно, не является труднопреодолимым препятствием.

Определим следующие объекты. Используя, как и ранее, знания эксперта, определим L вопросов по материалу каждой страницы S_{ij} , а для каждого вопроса $V_{ij}^{(q)}$, $q = 1, 2, \dots, L$, в свою очередь, выделим фрагмент страницы, который содержит ответ на этот вопрос. Фрагмент, обладающий таким свойством, должен быть уникальным в пределах всей страницы. (Заметим, что авторами рассматривался и более общий случай – наличие в тексте страницы S_{ij} нескольких ответов на вопрос $V_{ij}^{(q)}$ с указанием их ценности (правильности) в некоторой числовой шкале, но такой подход резко повышает трудозатраты преподавателя по проектированию занятия и сильно усложняет процедуру оценки, поэтому его применение представляется затруднительным). Ответ на вопрос $V_{ij}^{(q)}$, $q = 1, 2, \dots, L$, содержащийся на странице S_{ij} , опишем характеристической функцией $Y_{ij}^{(q)}: S_{ij} \rightarrow \{0, 1\}$ следующим образом

$$Y_{ij}^{(q)}(s) = \begin{cases} 1, & \text{если } s \text{ содержит ответ на } V_{ij}^{(q)}, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

После того как вопрос будет задан пользователю, последний должен самостоятельно найти в тексте ответ на него и выделить содержащий этот ответ фрагмент страницы. Будем описывать ответ пользователя на вопрос $V_{ij}^{(q)}$, $q = 1, 2, \dots, L$ характеристической функцией $A_{ij}^{(q)}: S_{ij} \rightarrow \{0, 1\}$ по правилу

$$A_{ij}^{(q)}(s) = \begin{cases} 1, & \text{если } s \text{ содержит ответ на } V_{ij}^{(q)}, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

В этом случае для оценки качества ответа на вопрос $V_{ij}^{(q)}$ используем коэффици-

циенты полноты и точности, вычисленные на основании этих функций (верхний индекс U указывает, что коэффициент рассматривается для задачи проверки качества усвоения учебного материала)

$$K_{I,ij,q}^{(U)} = \frac{\sum_{s \in S_{ij}} Y_{ij}^{(q)}(s) A_{ij}^{(q)}(s)}{\sum_{s \in S_{ij}} Y_{ij}^{(q)}(s)},$$

$$K_{T,ij,q}^{(U)} = \frac{\sum_{s \in S_{ij}} Y_{ij}^{(q)}(s) A_{ij}^{(q)}(s)}{\sum_{s \in S_{ij}} A_{ij}^{(q)}(s)}.$$

Введенные коэффициенты суть реализации некоторых случайных величин, принимающих значения на отрезке $[0, 1]$. Легко показать, что $K_{I,ij,q}^{(U)}$ и $K_{T,ij,q}^{(U)}$ для одного ответа не являются независимыми, но имеют ограниченную дисперсию. Проведем дальнейшую обработку полученных данных на примере коэффициентов полноты ответов.

Допустив, подобно тому, как это принято в теории педагогического тестирования [2], что коэффициенты полноты ответов на разные вопросы являются независимыми одинаково распределенными случайными величинами, и, используя утверждение центральной предельной теоремы для их нормированной суммы, получим новую случайную величину

$$Z_i^{(U)} = \frac{1}{nL} \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^L K_{I,ij,q}^{(U)},$$

которая представляет собой коэффициент полноты ответов пользователя на все вопросы по учебному материалу блока B_i и при этом имеет асимптотически нормальное распределение (при $nL \rightarrow \infty$) [3]. Поэтому, считая nL достаточно большим и исходя по-прежнему из предположения об одинаковом распределении коэффициентов полноты ответов на разные вопросы (на этот раз из различных блоков), будем рассматривать набор $Z_i^{(U)}$, $i = 1, 2, \dots, N$ как выборку из нормального распределения $N(\mu, \theta^2)$ с неизвестными, индивидуальными для каждого обучаемого параметрами. В дальнейшем будем при проверке усвоения обучаемым материала курса

использовать значение μ . Оценим его с помощью статистики

$$\mu^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i^{(\hat{o})},$$

которая, как известно, является несмещенной, состоятельной и асимптотически нормальной [3]. Для построения соответствующего доверительного интервала используем величину

$$t_{N-1} = \frac{(\mu^* - \mu)\sqrt{N-1}}{\theta^*},$$

где
$$\theta^{*2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_i - \mu^*)^2.$$

Статистика t_N имеет t -распределение Стьюдента с N степенями свободы. Следовательно, несложно определить доверительный интервал $(\mu^* - \varepsilon, \mu^* + \varepsilon)$, покрывающий неизвестное значение μ с заданной доверительной вероятностью γ , из соотношения

$$\begin{aligned} \gamma &= P_r(\mu^* - \varepsilon < \mu < \mu^* + \varepsilon) = P_r(-\varepsilon < \mu^* - \mu < \varepsilon) = \\ &= P_r\left(-\frac{\varepsilon\sqrt{N-1}}{\theta^*} < \frac{(\mu^* - \mu)\sqrt{N-1}}{\theta^*} < \frac{\varepsilon\sqrt{N-1}}{\theta^*}\right) = \\ &= P_r\left(\left|\frac{(\mu^* - \mu)\sqrt{N-1}}{\theta^*}\right| < \frac{\varepsilon\sqrt{N-1}}{\theta^*}\right) = \\ &= P_r\left(|t_N| < \frac{\varepsilon\sqrt{N-1}}{\theta^*}\right) = 2\Psi\left(\frac{\varepsilon\sqrt{N-1}}{\theta^*}\right) - 1, \end{aligned}$$

где $P_r(A)$ – вероятность события A ;

$\Psi(x)$ – функция распределения для t -распределения Стьюдента.

Кроме того, в силу асимптотической нормальности t -распределения Стьюдента уже при $N > 20$ для определения доверительного интервала можно использовать соотношение

$$\gamma = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon\sqrt{N-1}}{\theta^*}\right) - 1,$$

где $\Phi(x)$ – функция распределения стандартного нормального распределения [3].

Аналогичным образом при похожих допущениях можно построить оценку и доверительный интервал для коэффициента точности ответов на все вопросы по материалу курса. В результате будут получены оценки и

доверительные интервалы этих оценок для средних коэффициентов полноты и точности ответов на вопросы по курсу, которые в дальнейшем следует использовать как параметры для управления учебным процессом. На ход учебного процесса может влиять решение эксперта (преподавателя) или управляющего модуля АОС, и в зависимости от этого влияния должен быть сделан вывод о переходе к следующему курсу, началу комплексной проверки знаний или необходимости повторного изучения материала. Алгоритм, в соответствии с которым принимается решение, может быть реализован различными способами. Например, проводя масштабные эмпирические исследования, можно построить и обучить нейронную сеть для классификации результатов проверки усвоения учебного материала (усвоен – не усвоен).

3. Алгоритмическое описание метода

В заключение, суммируя вышесказанное, приведем окончательное описание предлагаемого метода. Сформулируем его в виде алгоритма; при этом в скобках при необходимости будем указывать возможные варианты его шагов. Пусть пользователю предоставлено для самостоятельного изучения электронное учебное пособие, удовлетворяющее определенным выше условиям (материал пособия разделен на блоки, соответствующие занятиям курса; на каждой странице отмечен материал, обязательный для конспектирования, причем для всех его фрагментов определены подсказки, с помощью которых можно однозначно найти эти фрагменты в тексте страницы; для каждой страницы определены вопросы, ответы на которые содержатся в ее тексте, и эти ответы помечены; обучаемому неизвестно, какие фрагменты и с какой целью выделены в тексте. (Здесь под текстом подразумевается также и гипертекст). Тогда:

А. Для всех блоков-занятий, включенных в курс, нужно выполнить следующие действия:

1. Предоставить пользователю материал очередного блока для изучения. В процессе изучения пользователь выделяет

важные, по его мнению, фрагменты материала и копирует их в конспект; объем конспекта D_{ij} для страницы S_{ij} ограничен сверху значением λ_{ij} , поэтому, чтобы внести в конспект фрагменты после достижения этого ограничения, нужно удалить из него менее важные.

2. При попытке перехода к следующему занятию (такую попытку несложно выявить, т.к., по условию такой переход возможен единственным образом) проверить, удовлетворяет ли конспект ограничению на минимальный размер $D_{ij} \geq v_{ij}$, и, если удовлетворяет, рассчитать значение показателя качества конспектирования $\bar{Q}_i^{(k)}$ для этого занятия и его разброс $Q_i^{2(k)}$. В противном случае вернуться к шагу 1 для дополнения конспекта.

3. Руководствуясь априорно заданными константами $\varepsilon^{(k)}$ и $\sigma^{(k)}$, проверим выполнение условий (1). Произведем переход в следующий блок и вернемся к шагу 1, если результат проверки положительный.

4. Сообщим пользователю, какие фрагменты материала в пределах каких страниц следовало занести в конспект, перечислив сформулированные преподавателем подсказки $W_{ij}^{(k)}$, $1 \leq k \leq M_{ij}$ (все или только к занесенным фрагментам), и вернемся к шагу 1, не переходя к следующему занятию.

Б. Для оценки усвоения материала курса после изучения пользователем всех блоков описанным в пункте А способом нужно выполнить следующие действия:

1. Задать пользователю все предусмотренные преподавателем вопросы по курсу $V_{ij}^{(q)}$, $1 \leq i \leq N$, $1 \leq j \leq n$, $1 \leq q \leq L$ и получить его ответы на них.

2. Вычислить значения $K_{П,ij,q}^{(V)}$ и $K_{Т,ij,q}^{(V)}$ для ответов на все вопросы, а также значения соответствующих нормированных сумм; составить из значений сумм выборки описанным выше методом.

3. Используя аппарат математической статистики, в том числе табличные значения для функций распределения t -распределения Стьюдента или стандартного нормального распределения, рассчитать на основе этих

выборок оценки индивидуальных (для пользователя) параметров соответствующих распределений.

4. Применяя эвристические или построенные на основе эмпирических данных алгоритмы (например, нейронные сети, взвешенные суммы, различные способы агрегирования), вычислить значение окончательного показателя качества усвоения информации и в зависимости от него потребовать повторной работы с материалом или перейти к изучению следующего курса или к проверке знаний. Возможны и другие варианты дальнейших действий, по характеру которых и выбирается алгоритм расчета упомянутой окончательной оценки и способ обработки ее значений.

На основании полученных данных можно сделать выводы о качестве работы обучаемого с учебными материалами, в частности, о его готовности к проверке знаний. Отметим, что при таком методе оценки усвоения информации не используются сведения о времени, затрачиваемом пользователем на выполнение заданий (обычно такие сведения учитываются с помощью штрафных баллов в зависимости от затраченного времени). Кроме того, описанный метод пригоден для оценки восприятия пользователем учебного материала, но сам по себе не позволяет оценить знания, полученные им в результате обучения, т.к. нет критерия, позволяющего проверить, почему испытуемый неверно ответил на вопрос (не знал ответа или не нашел в тексте его адекватного выражения). По этой причине в настоящей работе не исследуются вопросы надежности и валидности предложенного теста, применимые только к педагогическим тестам для проверки знаний.

Заключение

В 2002–2004 гг. было разработано программное обеспечение, реализующее рассмотренный метод оценки качества работы с теоретическими учебными материалами. Его практическое исследование показало, что предложенный метод позволяет адекватно оценивать работу пользователя с

учебным материалом при правильном подборе конкретных условий (констант $\varepsilon^{(K)}$ и $\sigma^{(K)}$ для проверки понимания материала и процедуры из шага 6.4 алгоритма – для проверки его усвоения). Установлено, что такие условия должны подбираться экспериментально в соответствии с особенностями конкретных учебных курсов. Кроме того, открытым остается вопрос о проверке синонимии фрагментов текста, выделенных по-разному преподавателем и обучаемым (в рамках приведенного метода ответ обучаемого будет признан неверным – полностью или частично).

В результате проведенных исследований был сделан вывод о необходимости разработки такого метода контроля работы обучаемого, который в большей степени опирался бы на использование семантики учебного материала и, кроме того, допускал бы реализацию некоторых дополнительных

способов тестирования, основанных на семантическом анализе текста.

Библиографический список

1. Аванесов, В.С. Научные проблемы тестового контроля знаний / В.С. Аванесов. – М.: Учебный центр при исследовательском центре проблем качества подготовки специалистов, 1994. – 136 с.
2. Гласс, Дж. Статистические методы в педагогике и психологии / Гласс Дж., Стэнли Дж. – М.: Прогресс, 1976. – 495 с.
3. Ивченко, Г.И. Математическая статистика / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. – М.: Высшая школа, 1984. – 248 с.
4. Полат, Е.С. Дистанционное обучение: каким ему быть / Е.С. Полат, А.Е. Петров // Педагогика, 1999. – № 7. – С. 29–34.
5. Роберт, И.В. Современные информационные технологии в образовании: дидактические проблемы, перспективы использования / И.В. Роберт. – М.: Школа-Пресс, 1994.
6. Стрикелева, Л.В. Организация учебного процесса с помощью АОС. Педагогические основы / Л.В. Стрикелева, М.У. Пискунов, И.И. Тихонов. – Минск: Университетское, 1986. – 94 с.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ТЕСТОВ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ

М.А. ГАВРИЛОВА, доц. каф. теории и методики обучения математике Пензенского ГПУ им. В.Г. Белинского, канд. пед. наук.

Исследование вопроса, в какой степени овладели обучаемые требуемыми знаниями, умениями и навыками, является важной составляющей любого процесса обучения. В неявной форме это происходит во время объяснения нового материала, когда преподаватель опирается, апеллирует к ранее изученному. В явном виде – через различные виды контрольных работ, устные ответы, самостоятельную деятельность и т.п. И все большее распространение получают тесты. Они достаточно популярны среди учащихся как высших, так и средних учебных заведений. К тестам с интересом относятся преподаватели вузов и учителя. Опираясь на анализ психолого-педагогической и методической литературы и собственный опыт по составлению тестов и организации

тестирования как в вузе, так и в школе, можно выделить положительные характеристики этого процесса: объективность; экономичность по времени выполнения и проверки; технологичность и оперативность проверки; возможность проверить большой объем изученного материала, провести более глубокий контроль, выявить «потолок» знаний; возможность оперативно диагностировать уровень овладения материалом большим количеством учащихся; возможность увеличить интенсивность работы каждого ученика.

Необходимо отметить, что такими качествами обладает лишь грамотно составленный тест, т.е. такой, где скрупулезно выверена инструкция, содержание заданий, их последовательность, процедура проверки,

отлажены организационные моменты, подготовлены бланки вопросов и ответов для тестируемых и «ключи», эталоны для проверяющих, разработаны четкие критерии оценки. На последнем замечании хочется остановиться особо. При регулярных тестированиях можно выделить шкалу успехов, где, например, будут указываться не общепринятая оценка, а процент всех выполненных заданий для каждого испытуемого, возможно, получение рейтинговой оценки по результатам тестирования за какой-то промежуток времени.

Работа с тестами благотворно влияет на развитие логического мышления, интуиции. Прежде чем искать ответ обычным способом (решать задачу), многие тестируемые действуют методом исключения. Разработчики тестов пытаются «защититься» от таких способов «решения», но, на наш взгляд, небольшое количество заданий такого рода, где не надо непосредственно решать, а можно проанализировать предложенные ответы, должно присутствовать в тестах. Это способствует развитию вариативного мышления.

Даже тогда, когда основная функция теста диагностическая, он выполняет и функцию обучения. Именно поэтому среди вариантов ответа надо помещать правильный.

В этом случае тестируемый стремится получить хотя бы один из предложенных вариантов ответа и, по крайней мере, видит правильный.

Если основная функция контролирующая, то возможна формулировка «результат не указан» или «укажите свой ответ».

И, наконец, самое важное. Тест легко поддается компьютерной обработке, возможно накопление статистических данных (время выполнения теста или каждого задания), использование уровневой дифференциации, выход на рейтинговую оценку и другие сервисные возможности, которые может предоставить нам компьютер. Если преподаватель видит целостную картину усвоения материала студентами, подкрепленную различными статистическими данными,

ему самому будет более понятно, как идет процесс обучения именно сейчас, а не на заключительном этапе. И еще один немаловажный факт: результат тестирования можно получить сразу по окончании работы.

Однако не надо идеализировать возможности тестов. Главным существенным недостатком, ограничивающим сферу применения тестов, является то, что невозможно проверить «ход решения», получить информацию о направлении размышления обучающихся. Кроме того, некоторые аспекты подготовки по математике в принципе не поддаются тестовому контролю. И, конечно, тест ставит в невыгодное положение медлительных студентов, которым надо больше, чем другим, времени на раздумья.

Поэтому тесты призваны дополнить существующую систему контроля в тех случаях, когда «работают» названные выше преимущества, и, кроме того, проверяемые компоненты подготовки в должной мере подходят для тестовой проверки. Такая ситуация возможна только при наличии достаточного количества правильно сконструированных тестов.

Хотелось бы обратить внимание еще на одну опасность: частое использование тестов снижает точность и объективность оценки по мере привыкания студентов к указанной форме контроля. Математическая интуиция может получить такое развитие, что некоторые из них станут специалистами по угадыванию правильных ответов. Отчасти еще и поэтому тесты должны быть разнообразны по форме.

В том случае, если преподаватель решил сам подготовить систему тестов, необходимо понимать, что это является непростым делом и потребует не только больших затрат времени, сил и средств, но и знакомства со всем многообразием проблем конструирования математических тестов. Среди них можно выделить следующие:

- получение разнообразной информации о видах тестирования;
- выбор формы тестовых заданий в соответствии с содержанием и особенностями испытуемых;

– фиксация деятельности, ожидаемой от испытуемых при выполнении тестовых заданий: распознавание, установление соответствия или закономерности, действия по алгоритму и др:

– выработка критериев оценки;
– разработка рекомендаций по результатам тестирования для каждой из групп;

– составление инструкции по организации теста, правилам ответа (например, заполнение бланков) и обработки результатов.

Слово «тест» в переводе с английского означает «проверка, испытание». «Тренинг» – «обучение, тренировка». Тест-тренинг – дословно «обучающее тестирование».

Особенностью теста-тренинга является соединение двух сторон дидактического процесса: обучение и контроль идут параллельно. Тест-тренинг – методика уровневого контроля и управления учебным процессом, которая обеспечивает необходимую для заданного уровня практику решения элементарных базовых задач. Получить оперативный результат об уровне усвоения базовых знаний особенно важно при обучении математике.

Тест-тренинг позволяет проводить контроль динамики обучения автономно: обучаемый к этой процедуре прибегает самостоятельно. Если при этом он умеет работать с книгой, то результат будет хороший.

Обучающий тест – прекрасная форма домашнего задания. Он обеспечивает больший объем целенаправленной тренировки. Как показали наши опросы, обучаемые, как студенты, так и школьники, с большим желанием выполняют домашнее задание в виде теста-тренинга, поскольку видят результаты своего труда и их динамику.

Кроме того, тест-тренинг развивает необходимые при подготовке к экзаменам качества, такие, как гибкость мышления, переключаемость, быстрый и точный выбор оптимальной стратегии, способность к обобщению и анализу, математическую грамотность.

Из вышесказанного следует, что грамотно составленный тест – это весьма удоб-

ный аппарат для осуществления контроля, самоконтроля, диагностики и мониторинга. Хотелось бы обратить внимание еще на один аспект процесса обучения – развитие творческих способностей, склонности к самостоятельной деятельности. Наше экспериментальное исследование показало, что как школьники, так и студенты не только положительно относятся к тестированию, но и с интересом сами составляют тесты. Желание составить интересный тест «подталкивает» их к самостоятельному изучению дополнительной литературы по вопросам тестирования и дополнительных сведений по изучаемому материалу.

Наиболее продуктивны тесты по математике, если ввести балльную пооперационную систему оценивания. Пусть:

a – число выполненных учеником операций;

p – общее число операций теста;

k – коэффициент усвоения знаний на данном уровне

$$k = \frac{a}{p}.$$

При $k \geq 0,7$ процесс обучения на данном уровне завершен, и дальше учащийся способен совершенствовать свои знания.

При $k < 0,7$ учащийся не усвоил знания данного уровня, и обучение на данном уровне нельзя считать законченным.

Обработка результатов теста включает в себя:

1. Вычисление табуляграммы (процент выполнения).

$$A = \frac{b}{c} \cdot 100\%,$$

где b – число учащихся справившихся с тестами;

c – число всех учащихся.

2. Вычисление мер центральной тенденции (среднее арифметическое)

$$Y = \frac{X}{c},$$

где Y – средняя оценка по классу;

X – сумма всех индивидуальных оценок;

x_i – индивидуальная оценка.

$$X = \sum_{i=1}^c x_i .$$

3. Вычисление мер изменчивости (среднее квадратичное отклонение или разброс оценок вокруг средней оценки)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^c (Y - x_i)^2}{c}} ,$$

где σ – разброс оценок.

4. Вычисление достоверности полученных статистик (Y и σ):

Y считается достоверным, если $Y \geq 3 \cdot m_y$, m_y – средняя ошибка измерений или стандартная ошибка.

$$m_y = \frac{\sigma}{\sqrt{c}} ,$$

σ – считается достоверной, если $\sigma \geq 3 \cdot m_\sigma$,

где m_σ – стандартная ошибка,

$$m_\sigma = \frac{\sigma}{2c} .$$

Как показывает опыт, для полученных нами результатов характерна достоверность высокой степени. Это свидетельствует о том, что содержание и методика тестирования соответствуют поставленным целям. Такие расчеты необходимы только на I-м этапе экспериментального исследования, когда происходит апробация составленных тестов. На последующих этапах статистическая обработка результатов тестирования не является обязательной. Полезнее вести статистику личных достижений студентов.

Экспериментальная работа по использованию тестов с целью контроля и диагностики проводилась в Пензенском государственном педагогическом университете им. В.Г. Белинского. Преподавателями Н.Н. Яремко и М.А. Гавриловой были составлены тесты по курсу математического анализа для вузов и по курсу математики средней школы. Тесты прошли апробацию в гимназии ПГПУ, лицее № 230 города Заречного Пензенской области, на физико-

математическом и экономическом факультетах ПГПУ. В настоящее время идет экспериментальная работа на различных факультетах Пензенского государственного технического университета и Академии архитектуры и строительства.

На первом этапе экспериментальной работы в вузе тестам отводилась в большей мере контролирующая функция. Результатом тестирования была общепринятая оценка, которая засчитывалась за экзаменационную. Студенты имели право выбора: сдать экзамен в форме тестирования или в традиционной устно-письменной форме.

На втором этапе тесты использовались с целью диагностики уровня подготовки к экзамену, т.е. студент мог выполнять тест несколько раз в течение определенного времени. Результаты тестирования в первую очередь предназначались студенту. Тестирование проводилось на добровольной основе и не являлось обязательной процедурой.

Третий этап – модификация второго с той разницей, что тестирование стало обязательным, т.к. составляло основу рейтинга работы в семестре.

На четвертом этапе анализировались и сопоставлялись все накопленные экспериментальные результаты.

На каждом из этапов эксперимента проводилось анкетирование студентов, которым предлагалось ответить на ряд вопросов и оценить содержание, техническую и организационную стороны тестирования, высказать личное отношение к этому процессу.

На материале основных разделов математического анализа было апробировано шесть тестов: пять тестов по конкретным темам математического анализа; содержание шестого теста составляют основные понятия из всех разделов.

Тест 1. «Производная».

Тест 2. «Определенный интеграл».

Тест 3. «Дифференциальные уравнения».

Тест 4. «Функции многих переменных».

Тест 5. «Двойной интеграл».

Тест 6. «Соотношения между объектами».

Приведем примеры отдельных заданий из тестов 3 и 5.

Основной целью тестов 1,2 и 3 является контроль. На выполнение каждого отводится 120 минут. Каждый тест содержит 20 заданий.

Пример: тест 3. «Дифференциальные уравнения».

1. Указать все те функции, которые являются решением данного дифференциального уравнения

$$y'' - 4y' + 4y = 0$$

a) $y = xe^{2x}$; b) $y = e^{2x}$; c) $y = x$; d) $y = \ln x$.

Ответ: а), с).

2. Укажите все те из предложенных выражений, которые можно поставить вместо знака ... в данное уравнение, чтобы получить дифференциальное уравнение I порядка

$$\dots \cdot \frac{dy}{dx} + xy = \cos x;$$

a) y^2 ; b) $\frac{dy}{dx}$; c) $x + 1$; d) $\frac{dy^2}{dx^2}$.

Ответ: а), b), с).

3. Для задач 1, 2, 3, 4 указать соответствующее дифференциальное уравнение из перечисленных в пунктах а)–е):

а) $x' = kx$; б) $x' = kt$;

в) $x' = kx - \gamma x^2$; г) $x' = \frac{k}{x} k > 0, \gamma > 0$;

д) $x' = -kt k, \gamma - \text{const}$; е) $x' = -kt x = x(t)$.

Задача 1. Скорость роста объема производства компьютеров пропорциональна достигнутому уровню производства $x = x(t)$. Каким дифференциальным уравнением описывается процесс производства?

Ответ: а).

Задача 2. На рынке действуют 19 крупных и средних фирм, производящих компьютеры. Каким дифференциальным уравнением описывается процесс производства?

Ответ: в).

Задача 3. Фирма-монополист производит некоторый продукт. Каким дифференциальным уравнением описывается процесс производства?

Ответ: а).

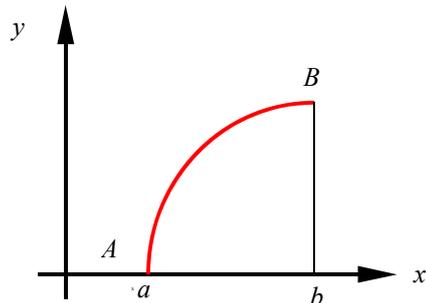
Задача 4 (о текучести рабочей силы). На основе изучения данных статистики установлено, что скорость уменьшения числа рабочих с изменением времени t пропорциональна их числу. Каким дифференциальным уравнением описывается процесс изменения численности рабочих на предприятии?

Ответ: д).

Тесты 4 и 5 – контролирующе-обучающие. На выполнение каждого отводится 40 минут. Студентам предъявляется бланк, разделенный на две части. Левая сторона бланка заполнена. Тестируемому предлагается на основе использования аналогии заполнить правую часть.

Пример: тест 5 «Двойной интеграл».

Определенный интеграл $y = f(x)$ – непрерывна на $[a, b]$.



$$f(x) \geq 0, x \in [a, b]$$

$$\int_a^b f(x) dx = S$$

$$1. \int_a^b dx = (b - a);$$

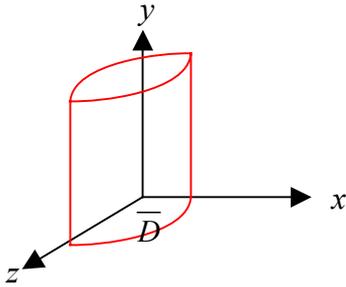
$$2. \int_a^b (f_1(x) + f_2(x)) dx = \int_a^b f_1(x) dx + \int_a^b f_2(x) dx;$$

$$3. \int_a^b kf(x) dx = k \int_a^b f(x) dx;$$

$$4. \int_a^b f(x) dx = \int_a^c f(x) dx + \int_c^b f(x) dx.$$

Двойной интеграл

$z = f(x, y)$ – непрерывна в области \bar{D}



$$f(x, y) \geq 0, (x, y) \in \bar{D}$$

$$\iint_D f(x, y) dx dy = V$$

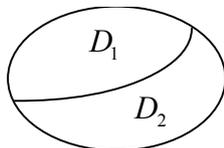
$$1. \iint_D dx dy = S_D;$$

$$2. \iint_D (f_1(x, y) + f_2(x, y)) dx dy = \iint_D f_1(x, y) dx dy + \iint_D f_2(x, y) dx dy;$$

$$3. \iint_D kf(x, y) dx dy = k \iint_D f(x, y) dx dy;$$

$$4. \iint_D f(x, y) dx dy = \iint_{D_1} f(x, y) dx dy + \iint_{D_2} f(x, y) dx dy.$$

$D = D_1 \cup D_2$ $D = D_1 \cap D_2$ – не имеет внутренних точек.



Основная цель шестого теста – проверить усвоение обобщенных знаний на уровне содержания и объема понятий всего курса математического анализа и интеллектуальных умений сравнивать и соотносить объекты между собой, устанавливать характер взаимосвязей. На выполнение этого теста отводится 30 минут. Тест приводится целиком.

Тест 6 «Соотношения между объектами».

Виды соотношений между объектами

1. Точка на числовой прямой – промежутки.
2. Функция – соответствие.
3. Натуральные числа – целые числа.
4. Умножение – деление.

5. Дифференцируемость функции в точке – непрерывность функции в точке.

$$6. \left(\begin{matrix} f(x) = const \\ \forall(x \in (a, b)) \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} f'(x) = 0 \\ \forall(x \in (a, b)) \end{matrix} \right).$$

Указать номер аналогичной зависимости между понятиями.

1. Сходимость последовательности – фундаментальность последовательности (6).

2. Сходимость последовательности – ограниченность последовательности (5).

3. Периодическая десятичная дробь – множество рациональных чисел (1).

4. Цифра – действительное число (1).

5. Дифференцирование – интегрирование (4).

6. Нахождение производной – дифференцирование (6).

7. Точка непрерывности функции – точка разрыва функции (4).

8. Производная – математическое понятие (2).

9. Дифференцирование – математическая операция (2).

10. Производная функции $f(x)$ больше нуля в промежутке X – функция $f(x)$ возрастает в промежутке X (5).

11. Возрастание функции в промежутке – убывание функции в промежутке (4).

12. Наименьшее значение функции – инфимум функции (3).

13. Интервал – открытое множество на прямой (1).

14. Дифференцируемость функции в точке – существование конечной производной функции в точке (6).

15. Максимум и минимум – экстремум (6).

16. Возрастание функции в промежутке X – монотонность функции в промежутке X (2).

Библиографический список

1. Беспалько, В.П. Слагаемые педагогической технологии / В.П. Беспалько. – М.: Педагогика, 1989.
2. Гаврилова, М.А. Тестирование как проблема теоретического и прикладного исследования / М.А. Гаврилова, Н.Н. Яремко. – Пенза: Изд-во ПГПУ, 2001.

ВЫБОР АДЕКВАТНОГО ОПЕРАТОРА АГРЕГИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ КЛАССА ФУНКЦИЙ k -ЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ

И.А. ПОЛЕЩУК, *асп. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ*

Успешное функционирование объектов различных сфер деятельности человека (техника, экология, образование и т. д.) напрямую зависит от решения задач, состоящих в обработке данных мониторинга состояний этих объектов, построении прогнозов их развития и выработке управляющих рекомендаций. Для агрегирования информации, полученной в результате мониторинга, используются известные операторы, многочисленность которых затрудняет процесс поиска подходящего, позволяющего получить адекватный реальности конечный результат. В настоящее время этот поиск чаще опирается на интуицию, чем на формальные методы, а поэтому требует совершенствования.

Рассмотрим характеристики $X_j, j = \overline{1, m}$ объекта, каждой из которых поставлено в соответствие некоторое множество значений $X_{lj}, l = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}$, характеризующих их состояние. Будем считать эти характеристики подчиненными характеристике Y с множеством значений $Y_l, l = \overline{1, k}$, если Y приписан некоторый оператор агрегирования информации, позволяющий на основе значений характеристик $X_j, j = \overline{1, m}$ вычислять значения Y .

Оператор агрегирования информации (ОАИ) O_Y есть функция, определенная на множестве всех возможных значений $X_j, j = \overline{1, m}$ и принимающая значения на множестве $Y_l, l = \overline{1, k}$. Обозначим множество операторов агрегирования информации для Y через $M[O_Y]$ и рассмотрим задачу выбора конкретного оператора $O_Y \in M[O_Y]$, который базируется на некоторой информации I_Y об его «идеальном» поведении. Эта информация представляет собой два множества

$$I_Y = I_Y^{(1)} \cup I_Y^{(2)},$$

где $I_Y^{(1)}$ – множество высказываний экспертов о «правильном поведении» O_Y ;

$I_Y^{(2)}$ – множество результатов работы выбранного ОАИ.

В начале работы с объектами имеется только теоретическая информация первого типа $I_Y^{(1)}$. По мере практической работы с объектами появляется информация второго типа $I_Y^{(2)}$. После этого проводится сравнительный анализ теоретической и практической информации до момента появления противоречия. В этом случае процедура выбора адекватного ОАИ повторяется, но на основе дополненной и, быть может, уточненной с экспертом информации $I_Y^{(1)}$ или $I_Y^{(2)}$. Если такое противоречие не возникает, то делается вывод, что оператор O_Y выбран удачно и является адекватным ОАИ.

Если имеется k -значений характеристики Y , то мы можем представить оператор агрегирования информации как некоторую функцию k -значной логики. Если количество подчиненных характеристик X_j равно m , то в качестве оператора агрегирования может быть использована одна из функций k -значной логики от m переменных. Обозначим множество всех таких функций через P_m^k , а через S множество нечетких условий на их поведение. Согласно [1] нечеткие условия S представляются в виде некоторого нечеткого отношения \tilde{S} . Данное отношение \tilde{S} определяется на декартовом квадрате области определения функции и описывает поведение функции, ему удовлетворяющей, на соседних значениях области определения. Как известно [2], степень нечеткости нечеткого отношения \tilde{S} равна

$$\xi(\tilde{S}) = \frac{2}{n \cdot m} \sum_{i,j} |\mu_{\tilde{S}}(x_i, y_j) - \tilde{r}_{ij}|,$$

где
$$\tilde{r}_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } \mu_{\tilde{S}}(x_i, y_j) \leq 0.5 \\ 1, & \text{если } \mu_{\tilde{S}}(x_i, y_j) > 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

Пусть у нас есть одно нечеткое условие на поведение функции f от одной переменной. Нечеткое отношение \tilde{S} , соответствующее нечеткому условию S , описывает принадлежность функции к данному классу на основе значений функции в точках i и $i + 1, 0 \leq i \leq k - 1$.

Значение $\mu_{\tilde{S}}(p, q)$ есть степень принадлежности функции к данному классу при условии, что $f(i) = p, f(i + 1) = q, 0 \leq p, q \leq k - 1$. Таким образом, матрица нечеткого отношения \tilde{S} , соответствующего нечеткому условию S , имеет вид

$$\tilde{S} = (\mu_{\tilde{S}}(p, q)).$$

Функция удовлетворяет нечеткому условию, если она удовлетворяет ему для всех значений $i, 1 \leq i \leq k - 1$. Таким образом, по матрице нечеткого отношения \tilde{S} степень принадлежности любой функции $f \in P_1^k$ этому условию вычисляется однозначно. Она будет равна некоторой t -норме соответствующих степеней принадлежности из матрицы $\tilde{S} = (\mu_{\tilde{S}}(p, q))$

$$\mu_S(f) = \prod_{i=1}^{k-1} \mu_{\tilde{S}}(f(i), f(i + 1)). \quad (2)$$

Степень нечеткости класса функций, определяемого отношением \tilde{S} , вычисляется по следующей формуле [1]

$$\xi(F_S) = \frac{1}{|F_S|} \sum_{f \in S} (1 - 2 |\mu_S(f) - 0.5|). \quad (3)$$

Связь степени нечеткости отношения и степени нечеткости класса функций, определяемого этим отношением, устанавливает следующее утверждение.

Утверждение 1

Если $\xi(\tilde{S}) = 0$, то и $\xi(F_S) = 0$.

Доказательство

Очевидно, что для $\forall f \mu_S(f(i), f(i + 1)) = 0$ или 1 . Тогда из свойств t -нормы мы будем иметь:

$$\mu_S(f) = \begin{cases} 0 & \text{для } \forall f. \\ 1 \end{cases}$$

В нашем четком случае, как не трудно видеть из этой формулы, все слагаемые под знаком Σ в (3) будут равны 0, и, следовательно, степень нечеткости всего класса $\xi(F_S) = 0$. Утверждение доказано.

Пусть у нас имеются 2 нечетких условия S_1 и S_2 , выраженные нечеткими отношениями и имеющие разную степень нечеткости. Для определенности $\xi(\tilde{S}_1) < \xi(\tilde{S}_2)$. Можно ли в этом случае утверждать, что $\xi(F_{S_1}) < \xi(F_{S_2})$? Из формулы (3) видно, что для этого надо установить, будет ли справедливо следующее

$$\begin{cases} \mu_{S_1}(f) \leq \mu_{S_2}(f) \text{ и } \mu_{S_2}(f) < 0,5 \\ \mu_{S_1}(f) \geq \mu_{S_2}(f) \text{ и } \mu_{S_1}(f) > 0,5 \end{cases} \quad (4)$$

Как оказалось [3], в общем случае это выполняться не будет. Поэтому рассмотрим специальный тип нечетких отношений, который можно охарактеризовать как «слегка-возрастание» функции.

Для нечетких условий такого типа автором статьи доказана следующая теорема.

Теорема 1

Пусть имеются два нечетких отношения \tilde{S}_a и \tilde{S}_b , где $a > 0, b < 1$ и $\xi(\tilde{S}_a) \leq \xi(\tilde{S}_b)$. Тогда степень нечеткости класса, порожденного отношением \tilde{S}_a , будет не больше, чем степень нечеткости класса, порожденного отношением \tilde{S}_b , т.е.

$$\xi(\tilde{S}_a) \leq \xi(\tilde{S}_b) \Rightarrow \xi(F_{S_a}) \leq \xi(F_{S_b}).$$

Доказательство

Для удобства доказательства и наглядности в (2) качестве t -нормы возьмем \min . В формуле (3) нас в первую очередь интересует величина $|\mu_S(f) - 0.5|$. Чем она

больше, тем меньше степень нечеткости интересующего нас класса. Поэтому имеет смысл рассмотреть 3 случая:

1) $a > 0,5, b > 0,5$. Так как у нас по условию $\xi(\tilde{S}_a) \leq \xi(\tilde{S}_b)$, то в данном случае $a > b$ и, т.к. $T = \min$, то

$$\mu_{S_a}(f) = \prod_{i=1}^{k-1} \mu_{\tilde{S}_a}(f(i), f(i+1)) = a$$

для всех функций f , кроме строго возрастающих и тех, степени принадлежности которых равны 0.

$$\mu_{S_b}(f) = \prod_{i=1}^{k-1} \mu_{\tilde{S}_b}(f(i), f(i+1)) = b$$

для всех функций f , кроме строго возрастающих и тех, степени принадлежности которых равны 0.

Таким образом, $|\mu_{S_a}(f) - 0,5| \geq |\mu_{S_b}(f) - 0,5| \forall f \Rightarrow \xi(F_{S_a}) \leq \xi(F_{S_b})$.

2) $a < 0,5, b < 0,5$. В этом случае $a < b$, и все рассуждения аналогичны первому случаю, и мы опять имеем $\xi(F_{S_a}) \leq \xi(F_{S_b})$.

3) $a > 0,5, b < 0,5$. Так как $\xi(\tilde{S}_a) \leq \xi(\tilde{S}_b)$, то $1 - a < b$. Или, что то же самое,

$|a - 0,5| > |b - 0,5|$. Применяв рассуждения, аналогичные тем, что в случае 1, мы получим требуемое нам соотношение: $\xi(F_{S_a}) \leq \xi(F_{S_b})$. Таким образом, все возможные случаи рассмотрены, и теорема полностью доказана.

Аналогично доказывается теорема для функций, обладающих свойством «слегка-убывание». Хочется отметить, что рассмотрение нечетких условий именно такого вида было неслучайным, поскольку количество функций, принадлежащих к данным отношениям с ненулевой степенью, очень мало по отношению к их общему количеству [1].

Метод выбора адекватного ОАИ из класса функций k -значной логики

1. Формализация одного нечеткого условия, налагаемого на поведение функций k -значной логики от одной переменной.

Рассмотрим одно нечеткое условие на поведение функции f от одной переменной. Нечеткое отношение \tilde{S} , соответствующее нечеткому условию S , описывает принадлежность функции к данному классу на основе значений функции в точках i и $i+1, 0 \leq i \leq k-1$. Значение $\mu_{\tilde{S}}(p, q)$ есть степень принадлежности функции к данному классу при условии, что

$$f(i) = p, f(i+1) = q, 0 \leq p, q \leq k-1.$$

2. Формализация нескольких нечетких условий, налагаемых на поведение функций k -значной логики от одной переменной.

Пусть на поведение функций наложено несколько нечетких условий – $S^r, r = \overline{1, s}$. Каждому из этих условий соответствует матрица нечеткого отношения $\tilde{S}^r, r = \overline{1, s}$. Матрица, которая обобщает все условия, получается следующим образом [1]

$$\tilde{S}^s = \prod_{r=1}^s \tilde{S}^r. \quad (6)$$

На основе свойств матрицы отношения матрица \tilde{S}^s в [1] утверждается, что если эта матрица имеет хотя бы одну нулевую строку, то множество условий $\{S^r\}_{r=1}^s$ является противоречивым, т.к. любая функция f удовлетворяет им с нулевой степенью (в силу свойства ограниченности t -нормы). Более того, используя матрицу отношения \tilde{S}^s , мы, аналогично случаю с одним нечетким условием, сможем описать все функции, удовлетворяющие нечетким условиям $\{S^r\}_{r=1}^s$. Если система условий $\{S^r\}_{r=1}^s$ является противоречивой, то предлагается выделить непротиворечивые подсистемы согласно следующему алгоритму.

На противоречивость проверяются все пары нечетких условий системы. Найденные противоречивые пары удаляются из рассмотрения. Далее на противоречивость проверяются все тройки нечетких условий (естественно, в которые не входят противоречивые пары).

речивые пары). Найденные противоречивые тройки удаляются из рассмотрения. Эта операция повторяется, пока на шаге $l, 1 \leq l \leq s$ не окажется, что все подсистемы, состоящие из $l+1$ нечетких условий, противоречивы. Тогда непротиворечивыми подсистемами окажутся подсистемы, выписанные на шаге $l-1$ и состоящие из l нечетких условий.

Таким образом, любое количество нечетких условий по одной переменной формально легко сводится к одному нечеткому условию по этой переменной.

3. Формализация нескольких нечетких условий, налагаемых на поведение функций k -значной логики от нескольких переменных.

Рассмотрим класс функций P_m^k и множество нечетких условий S . Для простоты изложения положим $m=2$ и $|S|=2$. Пусть первое нечеткое условие определено по первой переменной, второе условие – по второй переменной.

Согласно (6) строятся матрицы отношений \tilde{S}_1 и \tilde{S}_2 . Удовлетворение условиям S означает одновременное удовлетворение условий S_1 и S_2 . Это, в свою очередь, означает, что на наборе (i_1, i_2) значений переменных x_1 и x_2 ($i_1, i_2 \in \{0, 1, \dots, k-1\}$) мы в качестве значения строки матрицы отношения \tilde{S} должны взять t -норму (i_1+1) строки матрицы отношения \tilde{S}_1 и (i_2+1) строки \tilde{S}_2 . Полученная таким образом матрица размером $(k^2 \times k)$ и будет искомой.

Данная матрица обладает всеми свойствами матриц отношений для одной переменной.

4. Формализация одного нечеткого и одного начального условий, налагаемых на поведение функций k -значной логики.

Будем предполагать, что на поведение ОАИ накладывается нечеткое условие S и дополнительно некоторое начальное условие (например, $f(0)=0$). Класс функций, удовлетворяющих нечеткому и начальному

условиям, обозначим через $P_{1,1}^k$. Нечеткое отношение \tilde{S} , формализующее нечеткое условие S , берется за основу для построения нечеткого отношения $\tilde{\tilde{S}}$, формализующего оба условия на поведение ОАИ. Согласно [1]

$$\mu_{\tilde{\tilde{S}}}(l, j) = \bigwedge_{i=1}^k \mu_{\tilde{S}}(l-1, i) \times \mu_{\tilde{S}}(i, j),$$

$$(1 \leq j \leq k, 2 \leq l \leq k) \quad (7)$$

при начальном условии $f(0)=0$. Первой строкой матрицы нечеткого отношения $\tilde{\tilde{S}}$, соответствующего значению аргумента 0, является строка $(1, 0, \dots, 0)$ как выражение начального условия.

Формулу (7) можно интерпретировать как своеобразное умножение предыдущей строки матрицы отношения $\tilde{\tilde{S}}$ на столбцы матрицы отношения \tilde{S} , где вместо операции сложения используется операция взятия t -нормы.

Предположим, что начальное условие сформулировано не для $f(0)$, а для $f(k-1)$. Пусть для определенности это будет условие $f(k-1)=q$, $1 \leq q \leq k-1$. Это условие аналогично рассмотренному выше случаю определяет k строку матрицы отношения $\tilde{\tilde{S}}$ – строка содержит одни нули за исключением 1 в q столбце. Для остальных строк матрицы $\tilde{\tilde{S}}$

$$\mu_{\tilde{\tilde{S}}}(l, j) = \bigwedge_{i=1}^k \mu_{\tilde{S}}(l+1, i) \times \mu_{\tilde{S}}(j, i),$$

$$(1 \leq j \leq k, 2 \leq l \leq k-2). \quad (8)$$

Предположим, что начальное условие сформулировано для некоторого промежуточного значения $f(l^*)$, $(1 < l^* < k-1)$. Пусть для определенности это будет условие $f(l^*)=q$, $(1 < q < k-1)$. Это условие аналогично рассмотренным выше случаям определяет l – строку матрицы отношения, $\tilde{\tilde{S}}$ – строка содержит одни нули за исключением 1 в q столбце. Общий метод построения матрицы отношения $\tilde{\tilde{S}}$ определяется следующей формулой [1]

$$\mu_{\tilde{S}}(l, j) = \begin{cases} \prod_{i=1}^k \mu_{\tilde{S}}(l+1, i) \times \mu_{\tilde{S}}(j, i) & \text{ï ðè } 1 \leq l < l^* \\ \prod_{i=1}^k \mu_{\tilde{S}}(l-1, i) \times \mu_{\tilde{S}}(i, j) & \text{ï ðè } l^* < l \leq k \\ (1 \leq l, j \leq k). \end{cases} \quad (9)$$

5. Формализация одного нечеткого и t начальных условий, налагаемых на поведение функций k -значной логики.

Пусть для функции одной переменной задано одно нечеткое условие и t начальных условий. Класс функций, удовлетворяющий наложенным условиям, обозначим через $P_{1,t}^k, t > 1$. Это означает требование для функции выполнения всех начальных условий. В рамках теории нечетких множеств данное требование означает взятие некоторой t -нормы. Таким образом, если начальных условий несколько, то матрица \tilde{S}_i строится для каждого i – условия в отдельности ($1 < i \leq t$), а итоговая матрица \tilde{S}^1 согласно [1] получается следующим образом

$$\tilde{S}^1 = \prod_{i=1}^t \tilde{S}_i. \quad (10)$$

Если используются условия «слегка–возрастание» или «слегка–убывание», то на основе доказанной в статье теоремы осуществляется контроль за степенью размытости класса функций, которая определяет степень неопределенности полученных в результате применения этих функций выводов.

В результате формализации всех условий, налагаемых на поведение функций k -значной логики, получается матрица нечеткого отношения, которая определяет некоторый класс таких функций. Функции, определяемые построенным нечетким отношением, применяются в реальной задаче.

Полученная практическая информация о результатах работы каждой функции сравнивается с теоретической информацией о результатах работы ОАИ, полученной от экспертов. Отбрасываются те функции, для которых сравнительный анализ привел к противоречию. Оставшиеся функции есть адекватные ОАИ. Если таких функций нет, то с экспертами уточняем налагаемые на поведение ОАИ условия и повторяем всю процедуру выбора.

Выводы

В статье рассмотрен логический подход к нахождению оператора агрегирования информации, полученной при мониторинге функционирования объектов с качественными характеристиками. Согласно этому подходу в качестве оператора агрегирования информации используются функции k -значной логики. Выделен специальный класс функций k -значной логики от t переменных, обладающих нечетким свойством «слегка–возрастание» или «слегка–убывание». Выбор этого класса связан с тем, что количество функций, принадлежащих этому классу с ненулевой степенью принадлежности, достаточно ограничено. Для рассматриваемого класса функций доказана теорема о связи степени нечеткости порождаемого этими функциями нечетких отношений и степени нечеткости самого класса, что позволяет заранее предсказывать, насколько четким и, соответственно, уменьшающим неопределенность вывода будет выбор оператора агрегирования информации, что важно для практических приложений. Доказано утверждение, что четкое условие, накладываемое на поведение функций k -значной логики, определяет класс функций с нулевой степенью нечеткости. Разработан метод выбора адекватного оператора агрегирования информации при мониторинге функционирования объектов с качественными характеристиками на основе функций k -значной логики.

Библиографический список

1. Рогожин, С.В. О нечетко заданных классах функций k -значной логики / С.В. Рогожин, А.П. Рыжов // Сб. докладов V Всероссийской конференции «Нейрокомпьютеры и их применение». – М., 1999. – С. 460–463.
2. Рыжов, А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости / А.П. Рыжов. – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 116 с.
3. Полещук, И.А. О связи между нечеткостью условий, накладываемых на оператор агрегирования информации, и нечеткостью класса функций k -значной логики, определяемых этими условиями / И.А. Полещук // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т.12. – Вып. 3. – 2005. – С. 174–175.

МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ЭТАПЕ ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Е.Г. КОМАРОВ, доц. кафедры ИТ МГУЛ,

Н.Г. ПОЯРКОВ, ст. преподаватель кафедры ИТ МГУЛ

Многие годы в Московском государственном университете леса проводятся контрольные мероприятия, которые по форме проведения и содержанию предлагаемых материалов приближены к вступительным экзаменам. Цель проведения этих мероприятий двояка.

С одной стороны, будущие абитуриенты имеют возможность пополнить свои знания в рамках основных разделов школьных курсов математики, русского языка, физики и английского языка. Опытные преподаватели во время занятий делают четкие акценты на специфике заданий экзаменационных работ и знакомят с предъявляемыми требованиями. Абитуриенты имеют возможность, используя задания прошлых лет, проанализировать ошибки и за оставшееся до экзаменов время повысить уровень своих знаний.

С другой стороны, предметные и технические комиссии получают представление о структуре состава будущих абитуриентов (регионы проживания, семейное положение, тип учебного заведения, законченность или незаконченность среднего образования), об уровне их знаний, о конкурсе на различные факультеты и специальности и т. д.

Информация, которая поступает в период проведения контрольных мероприятий, максимально приближенных к реальным вступительным экзаменам, разнородна и динамична. Динамичность этой информации отчасти связана с тем, что в последние годы внедряются как новые формы проведения экзаменов, так и шкалы для оценивания знаний.

С целью совершенствования приема в вузы и создания равных условий при оценке знаний в большинстве российских регионов традиционно проводятся единые государственные экзамены. Эти мероприятия являются частью российской образовательной

реформы и направлены на получение объективной и независимой информации об уровне знаний абитуриентов. В связи с особой ролью проводимых мероприятий и ежегодным ростом охваченной этими мероприятиями аудиторией, особенно актуальна задача перевода набранных тестируемыми баллов в привычные оценки «2», «3», «4», «5», или «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». В настоящей работе не будут рассматриваться недостатки использования вышеперечисленных баллов или соответствующих им уровней для оценки знаний обучающихся. Отметим только, что многие учебные заведения для внутреннего контроля давно используют свои, более чувствительные шкалы.

Методы, применяемые для перевода набранных тестируемыми баллов в привычные оценки, как правило, опираются на аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Мы предлагаем новую модель перевода баллов из одной шкалы в другую, которая опирается на методы теории нечетких множеств и при этом учитывает всю доступную статистическую (априорную и апостериорную) информацию.

Построенная модель позволяет переводить результаты тестирования, выраженные в 100-балльной шкале, в привычные оценки «2», «3», «4», «5».

Будем предполагать, что экзаменационный билет состоит из N заданий, за каждое из которых выставляется определенное количество баллов. Максимальное количество баллов, которое может набрать экзаменуемый, равно 100. Следует отметить, что процедура накопления баллов путем их сложения является не совсем корректной. Но поскольку именно эта процедура применяется чаще всего, то

на эту некорректность можно не обращать внимание только при условии, что предложенные в тесте задания составлены таким образом, что проверяют знания по независимым разделам соответствующего предмета.

Модель перевода 100-балльной шкалы в привычные оценки «2», «3», «4», «5»

Опираясь на информацию, полученную в результате проведения предыдущих контрольных мероприятий, заменяем оценки «2», «3», «4», «5» на нечеткие множества [1], имеющие соответственно функции принадлежности $\mu_2(x), \mu_3(x), \mu_4(x), \mu_5(x)$.

Функции строятся таким образом, что площади треугольников или трапеций, ограниченных графиками этих функций, равны относительным частотам появления соответствующих оценок «2», «3», «4», «5».

Пронормируем полученные n -ым экзаменуемым баллы – $k_n \in [0;100]$, в результате чего получим число $l_n = \frac{k_n}{100}$, принадлежащее отрезку $[0;1]$. Найдем степени принадлежности числа l_n к каждому из нечетких множеств с функциями принадлежности $\mu_2(x), \mu_3(x), \mu_4(x), \mu_5(x)$ и обозначим их соответственно через $\eta_n^2, \eta_n^3, \eta_n^4, \eta_n^5$.

Если, например,

$$\eta_n^4 = \max (\eta_n^2, \eta_n^3, \eta_n^4, \eta_n^5),$$

то k_n баллов соответствует оценке «4».

Полученные апостериорные данные присоединяются к априорным данным и строятся уточненные функции принадлежности нечетких множеств, которые соответствуют оценкам «2», «3», «4», «5».

Множества уровня 0,5 этих множеств, как известно, не пересекаются и разбивают отрезок $[0;1]$ на непересекающиеся интервалы. После умножения этих интервалов на 100 получаем шкалу перевода 100-балльной шкалы в привычные оценки «2», «3», «4», «5».

Описанная модель может применяться к тестовым заданиям по любому предмету.

Очевидно, что диапазоны баллов, соответствующих одной и той же оценке для разных предметов будут разными, а сама процедура требует сопровождения и обновления.

Модель изучения связей между различными характеристиками.

Разработка модели, которая позволяет изучать связи между различными характеристиками экзаменуемых и показателями их знаний, играет существенную роль для принятия ряда управляющих решений. Решение этой задачи позволяет выявлять дублирующие друг друга курсы, устанавливать временную последовательность ознакомления с дисциплинами, входящими в программу обучения, строить оптимальный в плане этих связей процесс обучения. Кроме этого, изучение связей между различными дисциплинами (на основании показателей знаний), позволяет сделать вывод о структуре экзаменационного материала по этим дисциплинам.

Пусть X_1, X_2, \dots, X_n – входные показатели,

где $X_i = (x_{i1}/\mu_{i1}, x_{i2}/\mu_{i2}, \dots, x_{ik}/\mu_{ik})$, $i = \overline{1, n}$, $\mu_{ij} \in [0, 1]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, k}$ – степень принадлежности x_{ij} к X_i ;

$Y = (y_1/\eta_1, y_2/\eta_2, \dots, y_k/\eta_k)$ – выходной показатель;

$\eta_l \in [0, 1]$, $l = \overline{1, k}$ – степень принадлежности y_l к Y .

Будем называть систему X_1, X_2, \dots, X_n, Y системой нулевого уровня. Вычислим псевдо частоты для системы нулевого уровня и пронормируем их максимальной псевдо частотой. Пусть i -му состоянию системы нулевого уровня $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ni}, y_i)$, $i = \overline{1, p}$ после этой процедуры соответствует число $\mu_i^0, i = \overline{1, p}$. Определим нечеткое множество \tilde{A}_0 с названием «состояние системы нулевого уровня» и элементами

$$\tilde{A}_0 = \left\{ (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ni}, y_i) / \mu_i^0, i = \overline{1, p} \right\}.$$

Рассмотрим системы первого уровня, которые получаются исключением влияния одного из показателей X_1, X_2, \dots, X_n . В каждой из этих систем вычислим псевдочастоты и пронормируем их максимальной псевдочастотой в рамках конкретной системы.

Пусть $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}, y_i), i = \overline{1, p_{1j}}$ i -е состояние системы первого уровня с исключенным показателем X_j . После нормировки этому состоянию поставим в соответствие число μ_i^j . Построим нечеткое множество \tilde{A}_j с названием «состояние системы первого уровня без влияния X_j » и элементами

$$\tilde{A}_j = \left\{ (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}, y_i) / \mu_i^j, i = \overline{1, p_{1j}} \right\}.$$

Определим расстояние между нечеткими множествами \tilde{A}_0 и \tilde{A}_j : $\rho_j = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z |\mu_i^0 - \mu_i^j|$, Z – мощность множества данных. Задав число $\rho < 1$, найдем $\min_j \{ \rho_j : \rho_j \leq \rho \} = \rho_l$.

Рассмотрим систему с исключенным влиянием X_l и исключим влияние поочередно по одному из показателей $X_i, i \neq l, i = \overline{1, n}$. Полученные системы назовем системами второго уровня. Прделаем с этими системами те же процедуры, что и с системами первого уровня.

Пусть ρ_{lj} – расстояние между нечеткими множествами \tilde{A}_0 и \tilde{A}_{lj} = «состояние

системы с исключенным влиянием показателей X_l и X_j » и $\min_j \{ \rho_{lj} : \rho_{lj} \leq \rho \} = \rho_{lk}$.

Если $\rho_{lk} \leq \rho$, то продолжаем исследование системы с исключенным влиянием показателей X_l и X_k , последовательно исключая влияние остальных показателей.

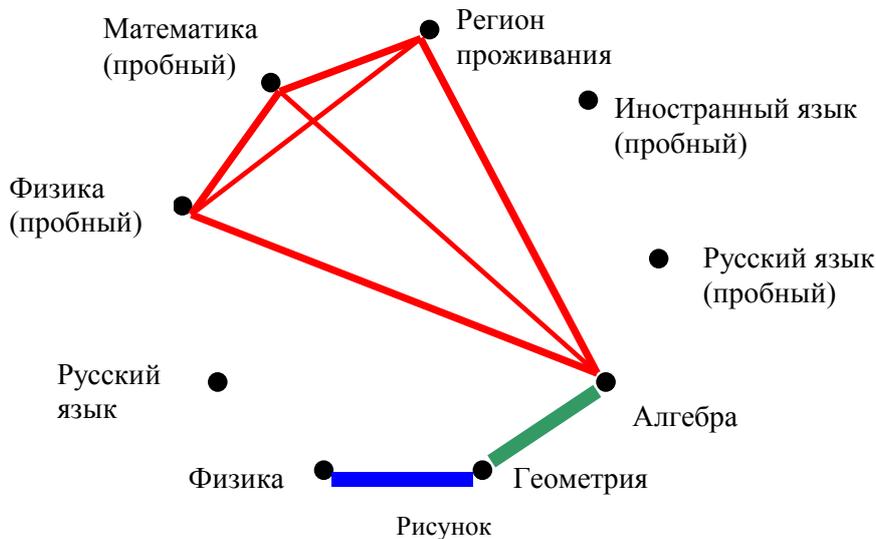
Если $\rho_{lk} > \rho$, то исследование заканчивается и делается вывод, что показатели X_l и X_k не оказывают влияния на выходной показатель Y [2].

В настоящей работе в качестве исходного материала была использована статистическая информация о текущих школьных оценках обучающихся, принимавших участие в пробных экзаменационных мероприятиях, о регионе их проживания и об оценках, полученных ими на пробных экзаменах.

Продолжительность расчетов была ограничена информационным расстоянием, не превышающим 0,08.

Для более наглядного и понятного восприятия результаты обработки информации представлены в графическом виде на рис. 1. Информационное расстояние равно 0,07637. Наличие ребра означает наличие связи между экзаменами, отсутствие ребра означает отсутствие связи между экзаменами.

Как видно из рисунка, существует жесткая взаимосвязь результатов двух пробных экзаменов по математике и физике с регионом проживания и со школьной алгеброй.



Данный метод выявления существенных взаимосвязей между переменными можно успешно применять и для других, более крупных и сложных систем. Оптимальность применения механизма выявления существенных показателей обусловлена прежде всего тем, что он значительно упрощает систему исходных данных, поскольку выявляет только те из них, которые наиболее сильно воздействуют на исследуемые показатели и которые в дальнейшем будут применены для описания математической модели.

Модель рационального распределения обучающихся по учебным группам

Третья модель, построенная в работе, предназначена для рационального распределения абитуриентов по учебным группам с целью создания оптимальных условий для реализации их потенциальных возможностей.

Пусть $A_j, j = \overline{1, n}$ – психофизиологические, характерологические или интеллектуальные признаки, наличие которых с помощью тестирования определяется у прошедших по конкурсу в вуз абитуриентов.

Исследуемыми показателями, например, могут быть: логичность мышления, точность восприятия, грамотность, пространственное воображение, эмоциональная устойчивость, ответственность, реалистичность, рационалистичность, организованность, индуктивность мышления, естественность мышления, логичность мышления, внимание, память.

Поскольку качественные признаки нельзя измерить количественно, то предлагается каждому из признаков поставить в соответствие лингвистическую переменную с подходящим по смыслу числом термов [1].

Пусть $\mu_{ji}(x), i = \overline{1, K}$ – функции принадлежности терм-множества признака $A_j, j = \overline{1, n}$, K – выбранное число термов признака A_j , а $\mu_{jk}^m(x), \mu_{jl}^p(x)$ – функции принадлежности k -го и l -го терма признака $A_j, j = \overline{1, n}$, которые по результатам тестирования присвоены соответственно m -му и p -му абитуриентам. Определим расстояние

между интенсивностями проявления признака $A_j, j = \overline{1, n}$ у m -го и p -го абитуриентов следующим образом

$$\rho_j^{mp} = \int_0^1 |\mu_{jk}^m(x) - \mu_{jl}^p(x)| dx.$$

Составим матрицу отношения сходства [3] между интенсивностями проявления признака $A_j, j = \overline{1, n}$ у N тестируемых абитуриентов

$$a_j^{mp} = (1 - \rho_j^{mp}), m = \overline{1, N}, p = \overline{1, N}.$$

Пусть $A_j = (a_j^{mp}), j = \overline{1, n}, m = \overline{1, N}, p = \overline{1, N}$ – отношение сходства, тогда [4]

$$A_j = \max_{\alpha} \alpha \times A_{j\alpha}, \alpha \in [0, 1], A_{j\alpha} - \text{отношение}$$

эквивалентности в смысле обычной теории множеств. Таким образом, декомпозируя A_j на отношения эквивалентности $A_{j\alpha} \alpha \in [0, 1]$, получаем систему вложенных классов, соответствующих отношению сходства A_j . Опираясь на этот предложенный метод, можно выявить группы (кластеры) абитуриентов по психофизическим, характерологическим или интеллектуальным показателям. Выявление этих кластеров позволяет решать задачу рационального распределения обучающихся по учебным группам с целью создания оптимальных условий для всестороннего развития личности в процессе обучения.

Библиографический список

1. Полещук, О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности термножеств полных ортогональных семантических пространств / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2002. – № 5 (25). – С. 198–216.
2. Клир, Дж. Системология / Дж. Клир. – М., Радио и связь, 1990. – 544 с.
3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун и др. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1986. – 312 с.
4. Домрачев, В.Г. Формирование предметных комиссий по приему экзаменов на основе нечеткого кластерного анализа / В.Г. Домрачев, Е.Г. Комаров, О.М. Полещук, Н.Г. Поярков // Телематика. – 2005. Труды Всероссийской научно-методической конференции. – СПб., 2005. – Т. 1. – С. 277–279.

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В МОСКОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ЛЕСА: НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ

В.С. ШАЛАЕВ, *проректор МГУЛ по международным связям*

Московский государственный университет леса (МГУЛ), развивая международные связи, продолжает интегрироваться в мировое научное и образовательное пространство, международный рынок научно-образовательных услуг, несмотря на существующие в нашей стране объективные трудности, которые испытывает высшая школа. При этом в качестве приоритетных выделены следующие направления развития международных связей:

- расширение международных академических обменов, интеграция МГУЛ в международное образовательное сообщество;
- разработка и осуществление инновационных программ, направленных на дальнейшее развитие международного сотрудничества в области науки и образования;
- инициирование и реализация международных программ и проектов с участием ученых МГУЛ, привлечение грантов, распространение позитивных результатов;
- создание условий, способствующих расширению контингента обучающихся иностранных граждан на контрактной основе;
- повышение эффективности и качества обучения иностранных граждан;
- поддержку изучения и преподавания русского языка иностранным гражданам, совершенствование методики его преподавания;
- формирование системы содействия изучению иностранных языков, включая поездки студентов и аспирантов, специалистов и преподавателей за рубеж;
- развитие сотрудничества с международными организациями, в первую очередь с Международным союзом лесных исследовательских организаций (IUFRO), Ев-

ропейским лесным институтом (EFI), Международной академией наук о древесине (IAWS), ЮНЕСКО, Советом Европы и др.;

– совершенствование механизма международных обменов, участия в конференциях, семинарах, ярмарках-выставках образовательных услуг, студенческих олимпиадах.

В целом в настоящее время Московский государственный университет леса в той или иной мере взаимодействует с более чем 150 зарубежными вузами, учреждениями и организациями из 70 стран мира.

Участие в международных форумах, конференциях, семинарах, выставках

Важным направлением международной деятельности, в конечном итоге влияющим на ее результативность, является участие профессорско-преподавательского состава, сотрудников, аспирантов и студентов МГУЛ в международных форумах, конференциях, семинарах, ярмарках-выставках. Этот показатель отражает вовлеченность и востребованность нашего потенциала в сфере международного научно-образовательного пространства, и этому направлению международной деятельности в университете уделяется достаточное внимание, регулярно выделяются определенные средства. Например, за последние пять лет преподаватели, сотрудники, аспиранты и студенты МГУЛ приняли участие более чем в 50 международных форумах, конференциях, съездах, симпозиумах, совещаниях.

Наиболее значимыми среди них были:

Май 2001 г. – Международная конференция «Зеленое пространство города в XXI веке – Озеленение городов как инструмент развития», Санкт-Петербург, Россия (в рабо-

те конференции принимали участие представители 19 стран, в том числе Дании, Голландии, США, Новой Зеландии, Великобритании, Финляндии, Испании, Германии, Швеции, Швейцарии и др. стран).

Август 2002 г. – региональная европейская конференция Международного союза лесных исследовательских организаций, проведенная в сотрудничестве с Европейским лесным институтом «Лесное хозяйство в урбанизированном обществе», Копенгаген, Дания.

Август 2003 г. – Международная конференция «Пересекающие границы лесные исследования», посвященная 10-летию юбилею Европейского лесного института. Финляндия–Россия (в работе конференции принимали участие представители 34 стран).

Сентябрь 2003 г. – XII Мировой лесной конгресс, Канада, Квебек (в работе конгресса участвовало более 4000 участников из более чем 140 стран).

Октябрь 2003 г. – симпозиум, проведенный под председательством А.А. Фурсенко Российским фондом фундаментальных исследований и Нидерландской организацией по научным исследованиям (NWO) в ознаменование 10-летней деятельности NWO в России (г. Гаага, Нидерланды).

Ноябрь 2003 г. – Выставка-конференция образовательных услуг российской высшей школы «Российские университеты в XXI веке» в Республике Чили. Работа по подготовке и участию в выставке-конференции, презентации Московского государственного университета леса и учебно-методического объединения по образованию в области лесного дела была отмечена соответствующими откликами в чилийской прессе и благодарностью руководства Министерства образования Российской Федерации.

Февраль 2004 г. – Международная конференция «Дни Финляндии в МГУЛ» с привлечением представителей крупных зарубежных фирм, Министерства окружающей среды Финляндии, Посольства Финляндии в России, крупнейших вузов Финляндии.

Май 2004 г. – организация на базе Интернет-центра МГУЛ Международной Интернет-конференции «Проблемы изучения и преподавания русского языка и литературы», в которой приняли участие ученые и преподаватели из 13 стран.

Сентябрь 2004 г. – IV Международная ирано-российская конференция «Сельскохозяйственные и природные ресурсы», проведенная в Иране. В ее работе участвовало 300 ученых из 19 стран.

Сентябрь 2004 г. – международный симпозиум по древесиноведению, организованный во Франции IAWS – IAWA при поддержке IUFRO. На симпозиуме приняли участие более 200 ученых из 35 стран мира.

Октябрь 2004 г. – IV Международный симпозиум «Строение, свойства и качество древесины – 2004», где было представлено 220 докладов ученых из 25 стран.

Октябрь 2004 г. – II Российско-финский САММИТ-2004 по развитию сотрудничества в лесном комплексе, проведенный в Финляндии на уровне премьер-министров стран.

Апрель 2005 г. – конференция «Лесное образование: Между наукой и практикой» в рамках функционирования сети европейского лесного образования SILVANETWORK, проведенная в Нидерландах. В подобных, ежегодно проводимых конференциях на постоянной основе принимают участие 25 стран. Доклад Московского государственного университета леса был особо отмечен, и президент SILVANETWORK предложил организовать один из семинаров в России.

Апрель 2005 г. – международная конференция, посвященная 80-летию высшего лесохозяйственного образования в Болгарии (г. София). В работе конференции принимали участие ученые Австрии, Болгарии, Македонии, России, Сербии, Франции, Чехии, Швейцарии.

Июнь 2005 г. – девятая сессия Генеральной Ассамблеи Восточнопалеарктической секции Международной организации по биологической борьбе с вредными животными и растениями, Венгрия, г. Будапешт (уча-

ствовали ученые из Болгарии, Венгрии, Польши, России, Сербии, Украины).

Июль 2005 г. – конференция «Межкультурные коммуникации в мире глобализации», проведенная Международной организацией «Общество международного образования, обучения и научных исследований» SIETAR, одной из самых значительных и крупнейших сетей междисциплинарных исследований в Великобритании.

Август 2005 г. – XXII Всемирный конгресс Международного союза лесных исследовательских организаций «Леса в равновесии: связь традиций и технологий», г. Брисбен, Австралия (в работе Конгресса участвовало более 2000 участников из 90 стран). Россия была представлена делегацией из Московского государственного университета леса.

Вуз ежегодно организует международные конференции молодых ученых. Например, в рамках проведенной на Украине и в Польше в 2004 г. IV Международной конференции молодых ученых «Леса Европы – Восточные Карпаты» принимало участие до 100 молодых ученых из 7 стран. Не ниже уровень представительства был и на V Международной конференции молодых ученых «Леса Евразии – Уральские горы», которая была проведена в сентябре 2005 г. При этом весьма радостным является молодежный статус этой постоянно организуемой конференции, подчеркнутая перспективность и преемственность лесной науки.

Участие в работе международных организаций, международные дипломы, поощрения, медали и звания

Университет, его ученые являются членами более чем 20 международных организаций, среди которых всем известные IUFRO, Общество американских лесоводов, Шведская академия сельского и лесного хозяйства, Финская академия наук и письменности, Международная академия наук о древесине, Европейский лесной институт, Международная организация по биологической борьбе с вредными животными и растениями и ряд др.

Профессорско-преподавательский состав университета, сотрудники, аспиранты, студенты своей деятельностью постоянно развивают данное направление. Например:

В 2001 г. профессору кафедры селекции, генетики и дендрологии Е.И. Ефимцеву по итогам командирования в КНР присвоено звание почетного профессора Северо-Восточного университета лесного хозяйства (Харбин).

Студент факультета электроники и системотехники А.В. Певнев по итогам командирования в Венгрию на семинар по сетевым компьютерным технологиям и результатам тестирования получил диплом 7th CEENet Network Technology Workshop.

Московский государственный университет леса стал членом Европейского лесного института (EFI).

В декабре 2001 г. в Министерстве образования Российской Федерации состоялось вручение наград юбилейного 50-го Всемирного салона инноваций, научных разработок и новых технологий «Брюссель – Эврика 2001». За разработку «Волоконно-оптический автогенератор» ученые кафедры проектирования и технологии производства приборов награждены дипломом с отличием и золотой медалью, за разработку «Автогенераторные микрорезонаторные волоконно-оптические датчики физических величин» – дипломом и серебряной медалью.

В 2002 г. наш вуз принят в качестве коллективного члена Международной академии наук о древесине (IAWS).

С октября 2002 г. по январь 2003 г. заведующая кафедрой ботаники, профессор О.В. Чернышенко по итогам конкурса, организованного Посольством Франции в России, и благодаря полученной стипендии французского правительства проходила стажировку во Французском институте лесного хозяйства, сельского хозяйства и экологических технологий (ENGREF).

В январе 2003 г. в Голландии на базе университета в г. Вагенинген впервые для ученых нашего вуза состоялась успешная защита диссертационной работы на соиска-

ние ученой степени доктора наук доцента кафедры почвоведения О.В. Кормилицыной. Работа на тему «Технологические и экологические аспекты исследования почв в одинокных посадках г. Москвы» создавалась в течение ряда лет на базе МГУЛ в России и Университета г. Вагенинген в Голландии. Защита явилась закономерным итогом плодотворной научно-исследовательской работы российских и голландских ученых, подтверждающим эффективность и внедрение потенциала ученых МГУЛ в мировое научное пространство.

В апреле 2003 г. студент лесного факультета Е.А. Лепешкин награжден грантом Международной академии наук высшей школы и ООО ФИЛИП МОРРИС за победу в конкурсе студентов вузов России, активно участвующих в выполнении актуальных научных исследований.

В 2004 г. доцент кафедры почвоведения Д.Г. Щепашенко выиграл грант и на этапе завершения докторской диссертации прошел годичную стажировку в Австрии в Международном институте прикладного системного анализа (IASSA).

Под руководством заведующего кафедрой профессора Вилена Григорьевича Домрачева создан и начал свою деятельность в России Американский благотворительный фонд поддержки информатизации образования и науки; в 2005 г. фонд обеспечил создание в МГУЛ лаборатории виртуальных технологий.

В апреле 2005 г. приказом Федерального агентства по образованию объявлено, что аспирантка Ольга Пентелькина по итогам участия в 12-м Всероссийском открытом конкурсе на стипендию Президента РФ для обучения за рубежом направлена для прохождения десятимесячной научной стажировки в период 2005–2006 уч. г. в Университет г. Вагенинген (Голландия).

В июне 2005 г. МГУЛ совместно с Российской академией наук и голландским институтом Альтерра выступил учредителем Научно-исследовательской автономной некоммерческой организации «Международный институт леса».

В августе 2005 г. студентка гуманитарного факультета Ю.В. Иванова по итогам участия в 33-м Международном студенческом лесном симпозиуме избрана членом лингвистической комиссии Международной студенческой лесной ассоциации. Впервые российская делегация принимала участие в подобном мероприятии; результативность участия подчеркивает авторитет МГУЛ и нашу активность.

В 2005 г. по итогам прохождения годового курса магистерских программ по «Развитию устойчивого лесного хозяйства в южнобалтийском регионе» студентами лесного факультета Е.А. Лепешкиным, Н.М. Сидорко, О.В. Тарусовым и А.С. Трифоновой успешно защищены выпускные квалификационные работы и получены международные сертификаты Шведского сельскохозяйственного университета (г. Алнарпа). Аналогичный сертификат получен в 2004 г. студенткой лесного факультета Натальей Арабаджи.

Наиболее перспективным для международного сотрудничества в МГУЛ считается участие ученых вуза в деятельности Международного союза лесных исследовательских организаций (IUFRO), авторитетнейшего международного научного объединения, существующего с 1898 г.:

– ученые МГУЛ участвовали в работе практически всех последних конгрессов Союза; выпускники МГУЛ (В.В. Страхов, В.К. Тепляков) активно участвовали и участвуют в деятельности различных структур IUFRO;

– в 1986 г. заведующий кафедрой лесоводства, академик ВАСХНИЛ И.С. Мелехов удостоен самой высокой награды этой организации – «Почетный член IUFRO»; за всю историю IUFRO подобной награды удостоен лишь один ученый нашей страны;

– в 1989 г. Московский лесотехнический институт, ныне Московский государственный университет леса, вступил в состав IUFRO;

– в 2001 г. МГУЛ было поручено взять на себя обязанности по координации и

объединению деятельности российских организаций в IUFRO; созданию, обновлению и поддержанию Интернет-сайта «IUFRO in RUSSIA» (<http://www.iufro.ru>); организации работы по привлечению в IUFRO новых членов; тогда же на базе МГУЛ была создана Ассоциация российских организаций-членов IUFRO;

– в 2001 г. ученый совет МГУЛ единогласно проголосовал за присвоение звания «Почетный доктор Московского государственного университета леса» Президенту IUFRO, профессору Ристо Юхани Сеппала; в сентябре 2002 г. в вузе в торжественной обстановке была проведена церемония вручения медали, мантии и диплома Почетного доктора МГУЛ Президенту IUFRO, профессору Ристо Юхани Сеппала;

– в 2003 г. по инициативе и при активном участии МГУЛ в России впервые в ее истории проведено заседание Руководящего комитета Международного союза лесных исследовательских организаций;

– в 2004 г. одной из высших наград IUFRO «За выдающиеся достижения» был удостоен заведующий кафедрой экономики и организации лесного хозяйства и лесной промышленности академик РАСХН Н.А. Моисеев; за всю историю IUFRO подобной награды удостоен лишь один российский ученый;

– в 2005 г. на XII Мировом конгрессе IUFRO в Австралии, наряду с рядом докладов ученых Московского государственного университета леса, в том числе на уровне межпленарного заседания, состоялась презентация новой рабочей группы IUFRO «Межкультурные коммуникации в лесном сообществе», созданной на базе разработок МГУЛ.

Публикации в зарубежных изданиях

Мировое научное сообщество весьма требовательно оценивает потенциал ученых, в особенности рассматривая и оценивая публикации в зарубежных изданиях. Ученые МГУЛ регулярно публикуют монографии, научные статьи и тезисы докладов в зарубежных изданиях. Среди наиболее крупных

публикаций наших ученых за последнее время можно отметить следующие:

Teplyakov Victor K., Eugene P. Kuzmichev, David M. Baumgartner and Richard L. Everett (1998). A History of Russian Forestry and Its Leaders. Published by Washington State University. Pullman, WA. – 77 p.

Deutz, A., Cantin, D., Laletin, A., Teplyakov, V., Moshkalo, V. (eds.) (1999). The Future of Forest Conservation in Russia. Programme Development Workshop Reports. IUCN Temperate and Boreal Forest Programme, Montreal, Canada and Moscow, Russia. – 72 p.

Max Krott, Ilpo Tikkanen, Anatoy Petrov, Yuri Tunisya, Boris Zheliba, Volker Sasse, Irina Rykounina, Taras Tunytsya (2000). Policies for Sustainable Forestry in Belarus, Russia and Ukraine, European Forest Institute Research Report 9. – Leiden; Boston; Koln; Brill. – 174 p.

A. Shvidenko, S. Nilsson, P. Lakida, D. Schepaschenko (2000). Models for aggregated estimations of forest ecosystems phytomass of the Northern Eurasia. IR, IIASA, Laxenburg, Austria. – 32 p.

Evgeny P. Kuz'michev, Ella S. Sokolova, Elena G. Kulikova (2001). Common Fungal Diseases of Russian Forests. Published by USDA Forest Service. – 137 p.

Stan Cejchan, Jobst-Michael Schroeder, Andrei N. Filiptschuk (2002) Russlands Forstwirtschaft an der Schwelle des 21. Jahrhunderts. Allgemeine Forstzeitschrift – Der Wald. N 14/2002, s. 716–721.

O.V. Makarova(2003). Soil technological and other ecological aspects of state of trees in Moscow. – Wageningen. – 140 p.

N.A. Burdin, A.P. Petrov, V.M. Shlykov, V.V. Korobov (2003). Geneva Timber and Forest Discussion Paper 27. Russian Federation Forest Sector Outlook Study. ECE/TIM/DP/27. – United Nations Publications, Geneva. – 59 p.

Stan Cejchan, Andrei N. Filiptschyk, Sergei A. Rodin, Jobst-Michael Schroeder (2004): Entwicklungskonzept 2004-2010: Russland und seine Forstwirtschaft. Allgem. Forstz. Wald, München 59(20.12.2004), 24, s. 1299–1303.

Категория представителей МГУЛ, командированных в зарубежные страны	2001	2002	2003	2004	2005 (плановый показатель)
Преподаватели и сотрудники	18	54	62	57	65
Студенты и аспиранты	3	43	49	55	60
Всего	21	97	111	112	125

Достаточно широко представлены результаты ученых Московского государственного университета в сборниках, трудах регулярно проводимых лесных конгрессов, конгрессов IUFRO, в частности, и в последних: XII Мирового лесного конгресса (2003 г., Канада), XXII Всемирного конгресса IUFRO (2005 г., Австралия).

Международная академическая мобильность

Последние годы наблюдается достаточно устойчивая тенденция в увеличении количества командировок преподавателей и сотрудников, аспирантов и студентов Московского государственного университета леса за рубеж. В целом динамику международных научных, академических и студенческих связей МГУЛ отражают нижеприведенные показатели (табл. 1). При этом если количество командированных преподавателей и сотрудников вуза выросло в 3,6 раза за сравниваемые годы, то число направляемых за рубеж студентов и аспирантов увеличилось в 20 раз.

При этом увеличилось не только число кратковременных поездок на ознакомительные и производственные практики, конференции, олимпиады, но и, что не менее важно, количество командированных на длительный срок: включенное обучение, выполнение научной работы и др.

Например, если в 2003–2004 уч. г. в рамках включенного обучения в Швеции в Сельскохозяйственном университете г. Алнарпа обучалась одна студентка лесного факультета, то в 2004–2005 уч. г. там обучалось уже четыре студента МГУЛ. В настоящее время студенты МГУЛ проходят соответствующие курсы обучения в Германии в Техническом университете г. Мюнхен, в Швеции в Сельскохозяйственном универси-

тете г. Алнарпа, в Финляндии на лесном факультете Университета г. Йоэнсуу. В рамках учебно-ознакомительно-производственных практик и процесса обучения за последние годы наши студенты обучались в ведущих университетах Чехии, Финляндии, Голландии, Швеции, Италии, Германии и других стран.

Институт почетных докторов

В МГУЛ в 1998 г. решением ученого совета утверждено и введено в действие Положение о звании «Почетный доктор Московского государственного университета леса». В соответствии с этим положением звание присваивается выдающимся российским и иностранным ученым, политическим и государственным деятелям, деятелям промышленности, культуры и образования, получившим мировое признание.

За прошедший период четыре из шести званий «Почетный доктор Московского государственного университета леса» присвоены иностранным представителям:

Душану Йовичу – доктору наук, профессору, декану лесного факультета Белградского университета (Югославия);

Роберту Янгсу – доктору наук по лесному хозяйству, профессору Вирджинского университета (США), члену ряда иностранных академий, активному участнику IUFRO;

Ристо Юхани Сеппала – доктору наук, профессору Финского государственного научно-исследовательского института леса «METLA», почетному доктору Университета Хельсинки, основателю Европейского лесного института, Президенту IUFRO;

Желько Студену – генеральному менеджеру по странам Восточной Европы всемирно известной компании по производству деревообрабатывающего оборудования «Biesse Group S.p.a.», Италия.

Сотрудничество с международными организациями

МГУЛ активно участвует в коллективных проектах, финансово поддерживаемых международными организациями, программами, фондами, грантами и др. Среди проектов, выполняемых в последнее время при участии ученых Московского государственного университета леса, можно выделить:

– 2001–2003 гг., «Поддержка образовательных программ и летней школы по устойчивому лесопользованию», грант № 01-64222-GSS Международного фонда Джона Д. и Катрин Т. МакАртуров;

– 2002–2005 гг., «Систематизация лесных культур в исследованиях устойчивого управления лесным хозяйством», EU.INTAS-97-30-255, основные партнеры из Финляндии, Голландии, Германии;

– 2002–2005 гг., «Гидрометеорологические аспекты проблем почвы и растительности в городских речных системах», РФФИ, NWO File Nr 047.011.2001.005, основной партнер из Университета г. Вагенинген (Голландия);

– начиная с 2004 г. ученые МГУЛ выполнили и выполняют в настоящее время ряд проектов при финансовой поддержке Всемирного фонда дикой природы (WWF);

– 2004–2007 гг., «Межкультурные коммуникации в лесопромышленном комплексе», грант № 105363 по линии Академии наук Финляндии;

– 2005–2008 гг., начинается выполнение очередного этапа «Русско-шведской программы сотрудничества в лесном секторе», финансируемого Шведским агентством развития международного сотрудничества (SIDA) (Среди основных исполнителей Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия и Сыктывкарский лесной институт);

– 2006–2007 гг., планируется выполнение российско-итальянского проекта по исследованию проблем машинной (силовой) сортировки российских пиломатериалов для условий общеевропейского рынка.

За пять лет финансовая составляющая совместных проектов увеличилась в 14 раз. В конечном итоге этот показатель характеризует международную востребованность нашего потенциала, его инновационную составляющую. При этом активные научно-образовательные коллективы достигают весьма значительных результатов.

Например, кафедра почвоведения, выполняя научно-исследовательские работы по соответствующему гранту Нидерландской организации по научным исследованиям, оснастила свою научную лабораторию уникальным оборудованием стоимостью около миллиона рублей. В рамках выполнения работ студенты, аспиранты и преподаватели кафедры регулярно посещают Университет г. Вагенинген с целью прохождения учебных практик, стажировок, выполнения научных исследований, защиты диссертационных работ. Наши представители, зарекомендовав себя, а тем самым подтвердив авторитет вуза, позволили существенно расширить тематику совместных исследований.

Успешно действующий при кафедре станков и инструментов Орган по сертификации деревообрабатывающего оборудования и инструмента инициировал и реализовал весьма результативный международный проект. В рамках проекта ряд ведущих зарубежных и отечественных производителей деревообрабатывающих станков, инструментов и заточного оборудования безвозмездно предоставил в распоряжение МГУЛ свою продукцию стоимостью около миллиона долларов США для проведения учебного процесса, повышения квалификации операторов и инженерно-технических работников предприятий отрасли в созданном учебном центре «Станки и инструменты». Студенты и преподаватели в рамках выполнения проекта регулярно посещают машиностроительные заводы Западной Европы. Например, в 2004 г. ведущие предприятия Италии смогли принять на преддипломную практику 8 студентов факультета механической и химической технологии древесины. Следующим этапом проекта стало участие нескольких известнейших зарубежных фирм в

строительстве на территории университета корпуса площадью около тысячи квадратных метров, часть которого будет предоставлена для деятельности их информационно-консультационных представительств. Планируется дальнейшее развитие этого учебно-научно-инновационного проекта.

Обучение иностранных граждан в России – фактически это экспорт образовательных услуг – является одним из приоритетных направлений в международной деятельности МГУЛ. Важность этого направления указана в «Концепции государственной политики Российской Федерации в области подготовки национальных кадров для зарубежных стран в российских образовательных учреждениях» (18.10.2002 г.).

Учитывая, что постоянным источником внебюджетных средств МГУЛ от зарубежных стран является обучение иностранных граждан, а также для активизации работы в данном направлении в 2001 г. в вузе был образован факультет по работе с иностранными гражданами. Задачами факультета в области учебной работы являются: начальная довузовская подготовка иностранных граждан; организация совместно с дневными факультетами подготовки бакалавров, специалистов, магистров; обучение аспирантов по всем специальностям и квалификациям МГУЛ; развитие других форм образовательных услуг.

В области внеучебной работы: обеспечение выполнения требований государственных органов, связанных с пребыванием иностранных граждан на территории РФ (ОВИР, МИД и др.); работа по улучшению жилищных условий, досуга; адаптационно-социальная и агитационно-рекламная работа; организация медицинского обслуживания иностранных граждан в МГУЛ.

В области международного сотрудничества: заключение договоров и работа с учебными и научными учреждениями стран ближнего и дальнего зарубежья; организация помощи подразделениям и сотрудникам МГУЛ в выполнении программ, проектов, договоров и других задач МГУЛ, связанных с образовательным процессом.

Знакомство и анализ работы ведущих вузов России, наиболее активно работающих в данном направлении, показал, что для развития конкурентоспособности в области международных образовательных услуг необходимо оптимальное соотношение трех основных составляющих: **качества обучения, цены за обучение и условий проживания**. Именно они влияют на количество иностранных граждан в вузе и являются основными направлениями в работе факультета.

Качество обучения иностранных граждан зависит от многих факторов: уровня профессорско-преподавательского состава вуза, материально-технической базы и др. При подготовке иностранных граждан крайне важны уровни квалификации, принятые в мире, – бакалавр, магистр. Учитывая это, в вузе постоянно работают над расширением спектра специальностей для подготовки иностранных граждан. Например, в настоящее время организован механизм магистерской подготовки иностранных граждан по лесным специальностям совместно с Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академией.

На факультете ведется работа по разработке и внедрению новых форм и методов обучения иностранных граждан в МГУЛ. Так, по предложению китайских партнеров разрабатывается схема включенного обучения на стадии бакалавра. Рассматривается возможность обучения иностранцев с участием Всемирного технологического университета, дистанционная форма образования. Для улучшения организации и качества обучения в рамках факультета по работе с иностранными гражданами создан Центр довузовской подготовки иностранных граждан. На него возложены все организационные, учебные и методические обязанности по довузовской подготовке иностранных граждан (русский язык, математика, физика, черчение, вычислительная техника).

Второй основной составляющей, привлекающей иностранцев в вузы России, является умеренная **цена за образование**. Вместе с тем в настоящее время некоторые вузы России, имеющие авторитет и хоро-

шую материально-техническую базу, могут поднимать цену за обучение для иностранцев. Поэтому факультет интенсивно работает над совершенствованием имиджа университета, улучшением материально-технической базы. Проводится большая агитационно-рекламная работа, помогающая иностранным гражданам в разных странах больше узнать о Московском государственном университете леса. Например, участие и рекламное выступление перед ректорами китайских вузов в форуме «Китайские университеты XXI века» позволило познакомиться с нашим университетом представителям зарубежных стран и подписать ряд договоров с вузами Китая.

Работа с иностранцами предусматривает обеспечение их необходимыми условиями проживания. В МГУЛ только за последний год вложены существенные средства в ремонт и оборудование общежития для иностранных граждан, включающий жилые блоки, учебные комнаты, бытовые помещения, а также в благоустройство территории, совершенствование инфраструктуры вуза. Это позволило изменить ситуацию, повысить имидж вуза, а в конечном итоге привлечь планируемый контингент иностранных граждан.

Факультет не ограничивается традиционной учебной работой, а ищет новые формы обучения и сотрудничества с иностранными гражданами, приносящие доходы университету. Таким направлением является, например, научный туризм, удачно сочетающий учебную и культурно-познавательную программы для иностран-

цев. В частности, в апреле и сентябре 2002 г. университет посетили делегации из Китая, которые выбрали наш вуз своей учебной базой по лесному направлению. Состав делегаций был представлен руководителями науки, университетов и производства лесной отрасли Китая. Краткосрочные курсы по подготовке кадров для эффективного ведения лесного хозяйства Китая проводились по темам «Рациональное использование лесных ресурсов и восстановление окружающей среды», «Защита и долгосрочное использование лесных ресурсов».

Следует отметить, что в последнее время в вузе наблюдается положительная динамика показателей, характеризующих результативность работы в направлении международного сотрудничества. В частности, в 2004 г. по всем формам обучения для иностранных граждан (довузовскому обучению, студентам, аспирантам, стажерам, курсам подготовки кадров для лесной отрасли) в МГУЛ обучалось 108 иностранцев из Китая, Ирана, Вьетнама, Франции, стран СНГ, что практически в 2 раза больше уровня 2001 г. (табл. 2).

В настоящее время **факультет по работе с иностранными гражданами** занимается преимущественно довузовской подготовкой иностранцев, организацией обучения иностранных студентов, аспирантов, докторантов, а также установлением связей и работой с зарубежными вузами, организациями по направлению своей деятельности. Обучение иностранных граждан ведется по межгосударственным соглашениям, на коммерческой основе и межвузовскому обмену.

Т а б л и ц а 2

Годы	Количество иностранных граждан из дальнего зарубежья, обучавшихся в МГУЛ, чел.	Количество иностранных граждан из стран СНГ, обучавшихся в МГУЛ, чел.
2000	39	37
2001	39	19
2002	94	37
2003	55	41
2004	85	23
2005 (плановый показатель)	150	

Основной целью работы факультета остается увеличение объемов зарабатываемых внебюджетных средств и повышение международного престижа университета за счет улучшения качества образовательных услуг.

Необходимо отметить, что в уже в 2004 г. количество обучающихся в вузе по государственной линии и на контрактной основе превысило 100 человек. При этом значительно расширилась география обучающихся в МГУЛ иностранных граждан из стран дальнего зарубежья. И если два–три года назад это были в основном граждане двух стран, то в настоящее время это представители Бразилии, Таиланда, Турции, Германии, Австрии, Китая, Вьетнама, Ирана, Анголы, Бразилии, Египта, Индии, Южной Кореи.

Уровень довузовской подготовки

Это направление закладывает основы эффективного обучения в вузе, социальную адаптацию иностранцев к российским условиям, поэтому в качестве одного из приоритетов направления определена работа по организации и улучшению учебного процесса довузовской подготовки иностранных граждан. Все учащиеся этого уровня, как правило, успешно завершают обучение и получают соответствующие сертификаты. При этом выпускники учатся не только в нашем вузе, но и в таких московских вузах, как МЭИ, МГУ, МИСИ, МГТУ гражданской авиации и др. Предполагается в ближайшее время войти в группу лицензированных довузовских подготовительных отделений для иностранцев, которые организованы в ведущих московских вузах.

Иностранные студенты учатся практически на всех факультетах университета в обычном, общеуниверситетском режиме. По мере развития довузовского уровня предполагается естественное увеличение контингента и иностранных студентов. Например, в настоящее время после визита Министра образования и науки Российской Федерации А.А. Фурсенко в Казахстан и соответствующих договоренностей между нашими странами

нами в вузе должна появиться группа стипендиатов Президента Казахстана. В 2005–2006 уч. г. ожидаются результаты от участия нашего вуза в консорциуме «Московские вузы в Монголии» при Улан-Баторском университете. Заключен договор с Университетом Лаваль (Канада) и разработана программа учебной практики канадских студентов в МГУЛ в 2006 г.

Уровень послевузовского образования представлен в основном гражданами Ирана. Их в вузе немного, работа здесь ведется весьма кропотливая, можно сказать, выпускаем «штучный товар». Это направление обеспечивают стопроцентную результативность: как правило, все иностранные аспиранты завершают свои работы и защищают диссертации в срок. За последние годы защищено порядка десяти диссертационных работ, выполнявшихся гражданами Ирана. Можно говорить об определенной тенденции в эффективности работы по подготовке иностранных специалистов высшей квалификации.

Уровень дополнительного профессионального образования, т.е. повышение квалификации, стажировка иностранных граждан, не всегда представлен достаточно значительным количеством слушателей. Показатели результативности этой работы меняются год от года. Например, если в 2002 г. в вузе проходили кратковременную стажировку две группы из Китая в составе 40 человек, то в 2004–2005 уч. г. стажировку в нашем вузе проходил профессор Геттингенского университета Макс Кротт, на базе МГУЛ завершает докторскую работу ведущий лабораторией лесоводства Сеульского национального университета Хо Сан Кан.

Эффективность работы факультета обеспечивает плодотворная организационно-методическая деятельность, в частности:

– начинается участие в работе «Международной комиссии по признанию и эквивалентности учебных курсов, документов об образовании и ученых степеней» при Международном координационном совете выпускников учебных заведений «Инкорвуз-XXI»

по выдаче сертификатов на русском и английском языках;

– поддерживается постоянная тесная связь с Российским Центром международного научного и культурного сотрудничества при Министерстве иностранных дел РФ, Посольствами и Обществами дружбы зарубежных стран, Ассоциацией иностранных студентов в России и др.;

– разработана и реализуется система социальной адаптации иностранных учащихся. Ведется воспитательная работа, в результате которой иностранные учащиеся принимают активное участие в общественной и культурной жизни МГУЛ;

– начата разработка комплексной системы повышения качества обучения иностранных граждан.

МГУЛ проводит определенную **информационно-консультационную работу**, уделяя должное внимание развитию информационной базы для обеспечения международного сотрудничества в различных областях науки и образования:

– на сайте МГУЛ открыты соответствующие страницы (факультета по работе с иностранными гражданами и управления по международным связям), создана и постоянно обновляется рубрика «Международные связи. Новости»;

– в газете «Вестник Московского государственного университета леса» и научно-информационном журнале «Лесной вестник» регулярно печатаются информационно-аналитические материалы;

– издан англоязычный проспект «Moscow State Forest University», разработаны и изготовлены различные варианты рекламных материалов о МГУЛ на русском, английском, испанском, монгольском, китайском, вьетнамском языках;

– создан и постоянно обновляется Интернет-сайт «IUFRO in RUSSIA» (<http://www.iufro.ru>); сайт содержит всю необходимую информацию для организаций, желающих вступить в члены IUFRO;

– англоязычная информация рекламного характера с соответствующим иллюстративным материалом размещена на сайтах Международного союза лесных исследовательских организаций в Австрии (<http://iufro.boku.ac.at>), Европейского лесного института в Финляндии (<http://www.efi.fi>), на российском образовательном портале <http://www.almamater.edu.ru>.

В целом можно отметить, что Московский государственный университет леса обладает реальным потенциалом, позволяющим ему занять еще более достойное место в мировом лесном сообществе.

«БЕРЕСТЯНЫЕ» ЭПИТЕТЫ НИКОЛАЯ КЛЮЕВА

С.А. ЩЕРБАКОВ, доц. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ, канд. филол. наук

«Орнаментальная вязкость и языковая бездна клюевского стиха» [1] во многом определены богатством и неожиданностью его эпитетов. А.И. Михайлов говорит даже о произведенной Клюевым и Есениным революции в области русского эпитета, которая «заключалась в замене «аристократического» эталона красоты – «крестьянским»...» [2]. К характерным для поэзии Клюева эпитетам он относит цветочные (называя так весьма широкий ряд ассоциирующихся с цветом эпитетов), а также «образованные от драгоценных камней» [2].

Наряду с этими много у Клюева и эпитетов «древесных», то есть образованных от пород деревьев и качеств древесины: еловый, сосновый, березовый, кедровый, пихтовый, смолистый и т.д. Все, что обозначено ими, согласуется с «мужицким раем» – ключевым понятием в творчестве поэта.

Особенно широким диапазоном употребления отличается эпитет «берестяной» – сквозной в творчестве поэта. Помимо программного «берестяного рая», это «сны – берестяные шумы», «Берестяной придел, где отрок Пантелей / На пролежни земли льет миро и елей?..», «стихи – берестяные олени», «берестяная книга», «берестяная щека», «берестяная луна», «берестяные глубины», «берестяной свиток», «берестяной светлый поп», «берестяная борода», «берестяные седины», «берестяной язык», «берестяной пестер молитв», «плешь берестяная деда», «рожом берестяным», «берестяная лампадка», «берестяные крыши» и др. [3, с. 250, 313, 355, 499, 508, 519, 567, 568, 630, 649, 650, 654, 657, 673, 689, 697, 702, 708].

В некоторых случаях: пестер, рожок, лампадка – эпитет «берестяной» прежде всего обозначает материал изготовления названных предметов крестьянского быта, конечно, сохраняя при этом оценочно-эмоциональную нагрузку. Но в большинстве

случаев данный эпитет выполняет уже функции метафоры, ассоциируясь с берестой («наружная ткань коры березы, состоящая из легко отделяемых один от другого тонких, полупрозрачных, гладких слоев белого, светло-желтого, розовато-желтого, красноватого, серовато-бурого и почти черного цветов» [4]) не только по цвету, но и звуку, осязанию, применимости и т.д.

Самая известная в этом ряду метафор завершает стихотворение «Обозвал тишину глухоманью...»:

Заломила черемуха руки,
К норке путает след горностаи...
Сын железа и каменной скуки
Попирает берестяной рай.

Конечно, всякая удачная метафора – прежде всего плод вдохновения поэта, но почему же именно эта стала «визитной карточкой» Клюева и почему его рай – берестяной? Первая тому причина, на наш взгляд, – ее звуковое оформление: нагнетание сочетаний «ра» и «ре» в последней строке стихотворения, несомненно, усиливает его эмоциональное воздействие. На то, что у Клюева «звуковая организация стиха выполняет определенную функцию» указывал В.Г. Базанов [5, с. 224]. О постижении Клюевым «души жизни звука» и его «звуковой гармонии» («образ и звук суть единство») писал и Андрей Белый [6].

Вторая причина та, что береста – покров живого организма – символизирует у поэта все живое, «органическое», противостоящее (увы, малоуспешно) железу и каменной скуке города. Кстати говоря, именно в том, что он ставил природу выше цивилизации, видел сам поэт свою главную «вину» перед советской властью: «После двадцати пяти лет моей поэзии в первых рядах русской литературы я за безумные непродуманные строки из моих черновиков, за прочтение моей поэмы под названием Погорель-

щина, основная мысль которой та, что природа выше цивилизации, сослан Московским ОГПУ в Нарым на пять лет» (из заявления во ВЦИК от 12-го июля 1934 г.) [7].

Кроме того, «берестяный рай» является важной составляющей «мужицкого рая», поскольку сама береста и изделия из нее занимали в крестьянском укладе заметное место (о чем свидетельствует поговорка: «Кабы не лыко, да не береста, так бы мужичок разсыпался» [8]).

Ставить природу выше цивилизации и оплакивать ее Клюев начал задолго до поэмы «Погорельщина», например, в стихотворении 1917-го г. «Уму – республика, а сердцу – Матерь-Русь...»:

Железный небоскреб, фабричная труба,
Твоя ль, о родина, потайная судьба?!
Твои сыны-волхвы – багрянородный

труд

Вертепу Господа иль Ироду несут?
Пригрезятся ли им за яростным гор-

ном

Сад белый, восковой и златобрёвный
дом, –

Берестяный придел, где отрок Пантелей
На пролежни земли льет миро и
елей?..

Итак, по Клюеву, «железный небоскреб» и «фабричная труба» – это приношение Ироду, а белый сад и «златобрёвный дом» – Господу. При этом сад и дом обобщаются одним понятием – «берестяный придел». Но это не есть рай небесный или хотя бы земной, «мужицкий», потому что сама земля тяжело больна (Целитель Пантелеймон лечит ее, а не сынов человеческих). Анализируя другие произведения Клюева, С.Г. Семенова пишет: «Да, природа сохраняет в себе божественный отблеск, божественную идею о себе (иначе она не могла бы быть для поэта расстилающейся по лицу земли притчей духовных смыслов), но и она «болеет» («Земля – болезная сестрица») в своем послегрехопадном состоянии, «рыдает о рае», о дне незакатном, где остановлено губящее время и воцарилось вечное пребывание существ, вещей и качеств («вечен листы изумруд»)» [9].

То есть метафоры «мужицкий рай», «берестяный рай» и «берестяный придел» хотя и близки семантически между собой, наполнены каждая своим особым смыслом. «Берестяный придел» – это то, что было до грехопадения и, возможно, еще будет (если «сыны-волхвы» сумеют провидеть праведный путь) «берестяным» или, говоря шире, «мужицким» раем.

Метафора «сны – берестяные шумы» основана на свойстве практически невесомых пластинок бересты едва слышно шелестеть при малейшем дуновении ветра. При этом подчеркивается сама «легкость» сна (можно вспомнить пушкинскую метафору «перстами легкими, как сон» из стихотворения «Пророк», вошедшую впоследствии в литературный обиход).

По схожему принципу построена метафора с определением берестяный в посвященном Сергею Есенину стихотворении «В степи чумацкая зола...»: «Словесный брат, внемли, внемли / Стихам – берестяным оленям...». Здесь происходит сближение бересты и оленя (конечно, северного) по их окраске, серовато-белой. При этом словосочетание «берестяный олень» можно воспринимать и в буквальном смысле как вырезанную из бересты или начертанную на бересте фигурку оленя – такие изображения характерны для культуры северных народностей. Тем более, что поэзии Клюева вообще свойственно «такое внимание к лопарскому «берестяному чуму», к рунам «Калевалы» [5, с. 220]. Таким образом, процесс стихосложения в данной метафоре уподобляется резьбе по дереву, недаром В.Г. Базанов отмечал, что «Клюев был «красным древоделом», поэтом-живописцем, придававшим огромное значение зрительным образам...» [5, с. 226].

«Берестяная книга» и «берестяный свиток» вызывают прямую ассоциацию с берестяными грамотами древнего Новгорода. По берестяной книге («Заутреня в татарское иго...») ведется служба, т.е. в лихую годину благодаря ей сохраняется вера отцов. Берестяной же свиток («Есть демоны чумы, проказы и холеры...») поэт, тоже в лихую годину, заполняет сам:

Но в боль берестяному свитку
Перо, омокнутое в лаву,
Я погружу его в дубраву,
Чтоб листопадом в лог кукуший
Стучались в стих убитых души...

Другая семантика у эпитета «берестяный» в метафоре: «Мой ландыш березкой возник, – / Берестяный звонок язык...» («Плач о Сергее Есенине»). Здесь «берестяный язык» – не только звонкий голос Есенина, но и язык самой русской земли, его породившей:

И слушала бабка-Рязань,
В малиновой шапке Кубань,
Как их дорогое дитя
Запело, о небе грустя.

Такие метафоры, как «берестяная щетка» («Ни песня, ни звон покоса...»), «поп... с берестяной бородой» («Заозерье»), «берестяные седины» («Плач о Сергее Есенине»), «на плешь берестяную деда» («Погорельщина») и т.д., пожалуй, наиболее однозначны. Сближение здесь происходит по внешним признакам: цвету и особенно осязанию – прикосновение к чуть шероховатой поверхности бересты, действительно, по ощущению напоминает прикосновение к человеческой коже, а тонкие отслоившиеся полоски бересты похожи на седые волосы.

Стоящая, казалось бы, в этом же ряду метафора «берестяный светлый поп» («Заозерье»), построена совсем по другому принципу. Эпитет «берестяный» в данном случае очень мало говорит о внешнем облике «отца Алексия из Заозерья», зато многократно усиливает значение эпитета «свет-

лый», т.е. несет на себе прежде всего эмоционально-оценочную нагрузку. Конечно, «берестяным» служителем церкви оказался еще и потому, что приход его расположен в лесном краю и ему «ружит деревня, / Как Велесу при Гостомысле».

Таким образом, можно сделать вывод, что причина особой любви поэта к «универсальному» эпитету «берестяный» заключается в богатстве смыслов, которыми для него этот эпитет обладал, и красоте его звучания.

Библиографический список

1. Лазарев, В. Об особенностях творческого развития Николая Клюева и их современном восприятии / В. Лазарев // Николай Клюев: Исследования и материалы. – М.: Наследие, 1997. – С. 17.
2. Михайлов, А.И. Николай Клюев и мир его поэзии / А.И. Михайлов // Сердце Единорога (вступ. ст.). – СПб.: РХГИ, 1999. – С. 71.
3. Клюев, Н.А. Сердце Единорога. Стихотворения и поэмы / Н.А. Клюев; предисл. Н.Н. Скатова; вступ. ст. А.И. Михайлова; сост., подгот. текста и примеч. В.П. Гарнина. – СПб.: РХГИ, 1999.
4. Лесная энциклопедия: В 2-х т. / под ред. Г.И. Воробьева. – М.: Советская энцикл., 1985. – С. 78.
5. Базанов, В.Г. С родного берега. О поэзии Николая Клюева / В.Г. Базанов – Л.: Наука, 1990.
6. Белый, А. Жезл Аарона: (О слове и поэзии) / А. Белый // Скифы. – М., 1917. – №. 1. – С. 189–190.
7. Азадовский, К.М. Николай Клюев: Путь поэта / К.М. Азадовский. – Л.: Советский писатель. Ленингр. отд-ние, 1990. – С. 313.
8. Даль, В. Толковый словарь живого великорусского языка в 4 тт.) / В. Даль. – М.: Рус. яз. – 1989. – Т. 1. – С. 83.
9. Семенова, С.Г. Поэт «поддонной» России (религиозно-философские мотивы творчества Николая Клюева) / С.Г. Семенова // Николай Клюев: Исследования и материалы. – М.: Наследие, 1977. – С. 40.

«ДЕРЕВО» КАК МОДЕЛЬ МИРА

С.А ЩЕРБАКОВ, доц. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ, канд. филол. наук

Представления древнего человека о происхождении мира, а также о борьбе света и тьмы, добра и зла тесно связаны с мифом о мировом дереве (древе жизни, вечном древе). В хрестоматийном труде по славянской мифологии «Поэтические воззрения славян на природу» А.Н. Афанасьев писал:

«Из-под корней мирового дерева, – как об этом гласили легенды, – текли источники мудрости и всякого знания; сюда приходили боги утолять свою жажду – и потому они ведали все прошедшее, настоящее и будущее, все доброе и злое, и могли творить святой и непреложный суд» [1].

Один из наиболее авторитетных исследователей мифотворчества В.Н. Топоров считал миф о мировом дереве основополагающим в мировоззренческих концепциях древних народов. «Мировое (или космическое) дерево – образ некоей универсальной концепции, определяющей в течение долгого времени моделирование человеческих коллективов Старого и Нового света. В то же время оно – ведущая (а в некоторых традициях единственная) тема искусства вплоть до начала буддийского и христианского этапов в его развитии. В ряде случаев мировое дерево и сейчас остается основной темой в отдельных культурных традициях (ср. некоторые народности Сибири)» [2].

Выбор первобытным *homo sapiens* в качестве модели мира древа жизни, конечно, неслучаен. Его мифологизированное сознание, одухотворявшее окружающую природу, в поисках чего-то более долговечного и менее подвластного стихиям, чем он сам, не могло обратиться к дереву (существовавшие тогда орудия труда не позволяли ему в считанные минуты валить вековых великанов). «Наиболее наглядный образ жизни был найден в растительном мире, точнее среди деревьев, особенно таких, чей срок жизни значительно превышает сроки человеческой жизни» [3, с. 396]. Современный исследователь пишет: «Это пластическая модель обжитой макросферы, гигантский универсальный образ жизнеустройства (вертикаль «ветви, ствол, корни» вбирает в себя многообразные смыслы – «небо, земля, подземное царство»; «будущее, настоящее, прошлое»; «голова, туловище, ноги»; «огонь, земля, вода»; «птицы, копытные, пчелы, человек» и т.д.)» [4, с. 87].

Схема мирового древа, содержащая триединство: корни, ствол, ветви – согласуется и с любым динамически развивающимся физическим процессом, также состоящим из трех частей: возникновения, развития и завершения. Неслучайно само число три в мифопоэтике является наиболее значимым (три дороги, три богатыря, три попытки и т.д.).

Следует заметить, однако, что христианская культурная традиция сохранила преемственную связь с языческой в той ее части,

которая касается мифологемы мирового древа. (То же произошло со ставшей сакральной цифрой три – «Святая Троица», троесперстие и пр.) Как образно выразился классик этнографии Дж. Фрезер: «Церкви очень часто удавалось привить ростки новой веры к старому языческому древу» [5, с. 385].

Неслучайно наиболее известный современному человеку образ дерева жизни представлен именно в Библии: «И произрастил господь Бог из земли всякое дерево, приятное на вид и хорошее для пищи, и дерево жизни посреди рая, и дерево познания добра и зла (книга Бытия 2, 9)». Кроме того, «в христианстве устанавливается символическая связь между деревом жизни и крестом: распятый на кресте и воскресший Христос воплощает в себе подлинное дерево жизни. <...> В христианской иконографии крест часто изображается как дерево жизни» [6]. История сохранила слова протопыта Аввакума: «Древо жизни и бессмертия, древо разума, древо трилюбезно, нетленно и неизнуряемо... Крест трисоставный – честное древо, Троицы бо носит трисоставный образ» [7].

При этом в христианской священной истории присутствуют не только абстрактные дерево жизни и дерево познания добра и зла, в ней широко представлены «земные аналоги» деревьев-символов: под Маврикийским дубом явился Аврааму Бог, Ливанский кедр Пророк Иезекииль использовал как символ Мессии, с яблони в райском саду был сорван преподнесенный Еве плод, Под Сикомором укрылась Мария с младенцем Иисусом при бегстве в Египет... «Однако магистральной линией христианского предания являлось отождествление... древа жизни с... древом масличным» [8, с. 103], т.е. оливой.

Надо отметить, что символика растений у православной церкви (в России во всяком случае) имеет свои особенности. Объясняется это тем, что растительный мир Восточной Европы имеет мало общего с растительным миром Малой Азии. Поэтому в русских церквях на Вербное воскресенье освящают не листья пальмы, которыми встречали входящего в Иерусалим Спасителя, а распускающиеся веточки вербы.

Гораздо дальше официальной церкви пошли по пути сближения библейской истории с реалиями родной природы «рядовые православные христиане». «...Масличная роща Гефсиманского сада начинает шуметь на Руси соснами и елями, мешающими Христу молиться. При бегстве в Египет укрывается Мария с Иисусом не под какой-нибудь пальмой или сикоморою, а под березой» [8, с. 12]. В мифотворчестве русского народа практически с каждой из распространенных в России древесных пород связана какая-либо легенда, рассматривающая ее характерные признаки в ракурсе библейской истории. При этом крайне «не повезло» ни в чем не повинной осине, прозванной «иудинным деревом» на том основании, что у нее дрожат листья, хотя повеситься на ней Иуда никак не мог, а сделал это то ли на тутовом дереве, то ли на сикоморе.

Любопытно, что в мифах других народов, по сведениям английского автора, с осиной тоже связаны подобные легенды: «Осина символизирует горестный плач и стыд: когда это дерево узнало, что из него будет сделан крест для распятия, его листья «задрожали от ужаса», существует и другая легенда – когда все деревья склонили верхушки во время распятия, только осина осталась прямой; за это ее листья навсегда обречены дрожать» [9].

«Русская версия» здесь не представлена, однако сближения налицо. Причем по некоторым русским поверьям крест для распятия был сделан из кипариса, из-за чего он и считается на Руси «божьим деревом», а отнюдь не проклятым. По утверждению А.В. Часовниковой, «...кипарис часто выступает не просто материалом для креста или местом его «проявления», но полным синонимом креста...» [8, с. 117]. При этом для большинства русских людей являющийся сакральным образ кипариса-дерева был к тому же образом виртуальным, «донесенным до народного воображения апокрифической книгой, рассказами паломников и крестиками из Святой земли» [10]. С другой стороны, Максимилиан Волошин в поэме «Святой Серафим», описывая период послушания Серафима в Саровской

обители, которое он проходил в «столярне», помимо привычных для тех мест древесных пород упоминает и кипарис:

Больше всех других деревьев любил он
Кипарис – душистый, с костью схожий.
Резал крестики для богомольцев [11].

Возможно, это художественный вымысел, а возможно, древесина кипариса в каких-то количествах уже во времена Серафима Саровского завозилась в Россию для церковных нужд из мест, где он произрастает.

Конечно, Кипарис вошел в народное сознание как «божье дерево» после принятия на Руси христианства, до него эту роль исполнял дуб – самое мифологизированное дерево в русском фольклоре. Истоки этого лежат еще в верованиях древних славян (как и многих других индоевропейских народов), для которых дуб являлся священным деревом громовержца Перуна – главного бога славянского пантеона.

В праславянском языке само слово дуб обозначало общее понятие дерева, это говорит о том, что среди древесных пород дуб почитался за главную. Именно к дубу относили славяне предания о «мировом дереве». По мнению А.Н. Афанасьева, «это баснословное дерево есть мифическое представление тучи, живая вода при его корнях и мед, капающий с его листьев, метафорические названия дождя и росы, а море, где оно растет, – воды небесного океана» [12].

В памяти славян сохранились сказания о дубах, которые существовали еще до сотворения мира. В одном из них говорится, что когда не было ни земли, ни неба, а только одно синее море, посреди этого моря стояло два дуба, а на них сидело два голубя. Голуби достали со дна моря песок и камни, из которых и создались земля, небо и небесные светила. Как свидетельствуют заговоры, стоит дуб и на легендарном острове Буяне.

То, что в славянской мифологии роль древа жизни отведена дубу, несомненно, объясняется его мощью и долголетием. «Держись за дубок: дубок в землю глубок», – гласит русская народная поговорка, указывая не только на его стержневую корневую систему, но и на «богатырскую» силу.

Неслучайно дуб стал «былинным» деревом, т.е. в русском былинном эпосе он фигурирует гораздо чаще других пород. В дубовом гробу схоронил Святогора-богатыря Илья Муромец, на семи дубах сидел Соловей-разбойник, «за столиком дубовым» бражничал со своей дружиной стольно-киевский князь Владимир, «выдергивал дуб с кореньями» Сухмантий Одихмантьевич, каркали на сырых дубах черны вороны и т.д.

Поклонение дубу как мировому дереву было присуще и другим древним народам. Как полагал Дж. Фрезер, «культ дуба (или бога дуба) существовал, по-видимому, у всех европейских народов арийского происхождения» [5, с. 184]. О едином происхождении этого культа говорят сами имена главных богов языческих пантеонов: Юпитер – у итальянцев, Донар – у германцев, Перун – у славян, Перкунас – у литовцев, явно имеющие общую этимологию.

Влияние культа Бога дуба на общественную жизнь было огромно. Дж. Фрезер писал: «Известно, что в Новгороде когда-то стояла статуя Перуна в виде человека с громовым камнем в руке. В его честь день и ночь горел костер из дубовых поленьев, а если он угасал, то служители за недосмотр обрекались на смерть» [5, с. 186]. Другой источник сообщает: «С введением христианства началось безжалостное истребление дубов по всей Европе как главного предмета языческих культов» [13].

Учеными, собирающими фольклор, уже в XIX–XX вв. были записаны легенды, в которых говорится о несчастьях, обрушивающихся на головы тех, кто поднимал руку (с топором) на многовековые дубы: падая, они давили всех своих губителей, а после этого в округе бушевали страшные бури с громами и молниями, причинявшие местному населению неисчислимые беды. Корни этих легенд, конечно, уходят в языческие верования о священности дуба как Перунова дерева.

У части древних народов, населявших южные территории Евразии, мировое дерево ассоциировалось с неувядаемым фиговым деревом, у скандинавов – с гигантским ясенем Игдразилль, но суть этого об-

раза – трехсоставная вертикаль, соединяющая Землю и Небо и объемлющая своими ветвями все сущее, – неизменна.

* * *

Так как схема мирового дерева как бы упорядочивает изначальный мировой хаос, она и по сей день широко используется для иллюстрации взаимоотношений частей одного целого в самых различных областях человеческой жизнедеятельности. Устойчивыми выражениями являются «генеалогическое дерево», «алхимическое дерево», «дерево души» и пр. Федор Тютчев писал о «дереве человечества», Николай Клюев и Сергей Есенин говорили о «словесном дереве». Андрей Белый сравнивал с деревом произведение искусства: «Личное сознание – ствол; ветви – судьба творений, а корни – наследственность, быт, социальный устой...» [14]. Семен Вайман идет еще дальше и говорит о мировом литературном дереве: «К Единому Мировому Литературному Дереву – живому духовному организму – восходят бесчисленные множества обособленных, малых, авторских текстов – организмов индивидуальных [4, с. 217]. Д.С. Лихачев начинает свои «Заметки о русском» сравнением России с деревом: «У России, как у большого дерева, большая корневая система и большая листовая крона, соприкасающаяся с кронами других деревьев» [15].

Широко применяются схемы, основанные на принципе мирового дерева, в современной науке: кибернетике, лингвистике, математике, социологии, экономике и т.д., – обозначая процессы «разветвления» от единого «ствола».

В психологии существуют целые методики психодиагностики, основанные на графических проективных тестах, где основным объектом исследования является изображение дерева. Классическими считаются тесты К. Коха «Дерево» и Д. Бука «Дом – дерево – человек». Интерпретация рисунков в них «исходит из положений К. Юнга (дерево – символ стоящего человека)» [16] и основана на его же программных работах «О психологии бессознательного» и «Отношения между Я и бессознательным». Кроме

того, «тест Коха» обнаруживает, «что на определенном этапе развития детской психики образ дерева доминирует в создаваемых детьми изображениях» [3, с. 405], что еще раз подтверждает мысль о глубоком проникновении мифа о мировом древе в духовную и психическую жизнь людей и благотворном влиянии его на строительство общечеловеческой культуры.

Библиографический список

1. Афанасьев, А.Н. Поэтические воззрения славян на природу: в 3 тт. / А.Н. Афанасьев. – М.: Современный писатель. – 1995. – Т. 2. – С. 282.
2. Топоров, В.Н. Происхождение некоторых поэтических символов / В.Н. Топоров // Ранние формы искусства. – М., 1972. – С. 93.
3. Мифы народов мира. Энциклопедия: в 2 тт. / Гл. ред. С.А. Токарев. – М.: Советская энцикл. – 1987. – Т. 1.
4. Вайман, С.Т. Гармонии таинственная власть. Об органической поэтике / С.Т. Вайман. – М.: Советский писатель, 1989.
5. Фрэзер, Дж.Дж. Золотая ветвь: Исследование магии и религии. Пер. с англ. / Фрэзер Дж.Дж. – М.: Политиздат, 1980.
6. Энциклопедия символов, знаков, эмблем / Сост. В. Андреева и др. – М.: Локид, Миф, 1999. – С. 143.
7. Дружинин, В.Г. Писания русских старообрядцев / В.Г. Дружинин. – СПб., 1912. – С. 5.
8. Часовникова, А.В. Христианские образы растительного мира в народной культуре. Петров крест. Адамова голова. Святая верба / А.В. Часовникова. – М.: Индрик, 2003. – С. 103.
9. Фоли, Д. Энциклопедия знаков и символов / Д. Фоли: Пер. с англ. 2-е изд. – М.: Вече, 1997. – 512 с. – С. 383.
10. Федотов, Г.П. Стихи духовные (Русская народная вера по духовным стихам) / Г.П. Федотов. – М., 1991. – С. 74.
11. Волошин, М.А. Стихотворения и поэмы / М.А. Волошин; вступ. ст. А.В. Лаврова; сост., подгот. текста В.П. Купченко и А.В. Лаврова; примеч. В.П. Купченко // Б-ка поэта. Большая серия. – СПб.: Пб. писатель, 1995. – 704 с. – С. 376.
12. Афанасьев, А.Н. Древо жизни: Избранные статьи / А.Н. Афанасьев. – М.: Современник, 1982. – 464с. – С. 214.
13. Шейнина, Е.Я. Энциклопедия символов / Е.Я. Шейнина. – М.: ООО «Издательство АСТ», Харьков: ООО «Торсинг», 2002. – С. 144.
14. Белый, А. Мастерство Гоголя / А. Белый. – М.-Л., 1934. – С. 22.
15. Лихачев, Д.С. Избранные работы: в 3 т. Т. 2. Великое наследие; Смех в Древней Руси: Монография; Заметки о русском / Д.С. Лихачев. – Л.: Худож. лит., 1987. С. 418.
16. Райгородский, Д.Я. Практическая психодиагностика. Методики и тесты: учеб. пособие / Д.Я. Райгородский; под ред. Д.Я. Райгородского. – Самара: Издательский дом «БАХРАХ – М», 2000. – С. 54.

МОТИВ ОГНЯ В ТВОРЧЕСТВЕ ПРОТОПОПА АВВАКУМА

О.А. ТУФАНОВА, *ИМЛИ им. А.М. Горького, г. Москва*

Символизм мышления протопопа Аввакума неоднократно становился предметом анализа многих исследователей творчества этого писателя. Глубокие и ценные наблюдения над стилем «Жития» содержатся в работах В.В. Виноградова [1, 2], В.Е. Гусева [3], А.С. Демина [4, 5], А.Н. Робинсона [6, 7], Н.С. Демковой [8], Н.М. Герасимовой [9]. Однако трагические представления Аввакума о современной ему эпохе, выраженные в прямых формулировках и сквозных образах и символах, представляются нам недостаточно еще изученными. Данная статья – попытка рассмотреть с этико-эстетических позиций один из сквозных мотивов всего творчества Аввакума – мотив огня.

Символика огня у Аввакума многозначна. Прежде всего, огонь в произведениях протопопа Аввакума является символом казни. По всей Руси горят костры, на которых никониане сжигают старообрядцев, не желающих соединиться с ними в вере: «Ныне намь отъ никониянь огонь и дрова»; «в огонь посадять и кости пережгутъ»; «А нынешние жиды, в огонь сажая правоверныхъ христиань...» и др. [10, стб. 350, 570, 444].

Огонь как вид казни «преломляется в сознании автора «Жития» в образ адской кухни» [9, с. 20]. Никониане предстают под пером Аввакума искусными кулинарами – специалистами по приготовлению блюд из старозеров: «Хорошь былъ и Афонасьюш-

ко... что отступники на Москве в огне испекли, и яко хлеб сладокъ принесеса святей Троице»; «И прочихъ нашихъ на Москве жарили, да пекли»; «печенья-те отъ веры». Иногда огненной казни предшествуют приготовления: «Да кормятъ, кормятъ, да въ лобъ палкою, да и на огонь жарить!». Особо испушенные в жаренье людей ставили эксперименты: «в огонь сажая правоверныхъ християнъ... говорятъ: аще-де праведень и святъ, и онъ-де не згорить! А кой и не згорить, и оне, иссекши бердышами, и паки дровъ насеченныхъ накладуть, да в пепль правоверныхъ жгутъ» [10, стб. 57, 65, 442, 930, 444].

Не только казни, но и пытки огнем уподобляются Аввакумом образу кухни. Описывая в «Житии» свой конфликт с Пашковым, протопоп вводит образ «стряпанья» для характеристики пыточных у воеводы: «Во единъ от дней учредилъ застенокъ, и огонь росклалъ, хочеть меня пытать. Я ко исходу душевному и молитвы проговорилъ; ведаю ево стряпанье, после огня тово мало у него живутъ» [10, стб. 37].

Случаи «жаренья» людей на кострах не единичны. Аввакум замечает в своих произведениях, что это постоянное занятие никониан: «И оттоле двадесяте три лета и поль-лета и месяцъ по се время безпрестани жгутъ... исповедниковъ Христовыхъ»; «И оттоле и до сего времени непрестанно жгутъ и палять исповедниковъ Христовыхъ». Подчеркивая широкий размах трагедии, Аввакум вводит цифровой мотив, указывает точное количество сожженных: «В Казани никонияня тридесять человекъ сожгли, в Сибири столко же, въ Володимере шестеро, в Боровске четьренадесять человекъ». Иногда, назвав одного-двух сожженных по имени, далее говорит, что невозможно сосчитать количество погибших на кострах: «Исаию сожгли, и после Авраамия сожгли, и иныхъ поборниковъ церковныхъ многое множество погублено, ихъ же число Богъ изочтетъ» [10, стб. 567, 846, 568, 65].

Изобилие огненных казней старообрядцев Аввакум объясняет желанием никониан «огнемъ да кнутомъ, да висилицею» «веру утвердить». Действия никониан оказываются прямо противоположными тому, чему учил Христос, их методы сближаются протопопом

с методами «неверных»: «Которые то апостолы научили такъ? – не знаю. Мой Христосъ не приказалъ нашимъ апостоломъ такъ учить, еже бы огнемъ да кнутомъ, да висилицею в веру приводить... волею зоветъ Христосъ, а не приказалъ апостоломъ непокаряющихся огнемъ жечь... Татарский богъ Магметъ написалъ во своихъ книгахъ сице...». Никониане, заключает Аввакум, «приводя в веру, губятъ и смерти предають» [10, стб. 65].

Таким образом, огонь как вид казни и пыток является одним из средств приобщения к никоновской вере и главным методом расправы с непокорными. В этом контексте характеристика времени как «огнепального» («въ нынешнее настоящее, огнепальное, время») [10, стб. 421, 831]) получает вполне реальный смысл: современная Аввакуму эпоха – это время огненных пыток и казней, а огонь – символ земных страданий и мучений староверцев.

Вторая разновидность огня у Аввакума – адский огонь. Он сопровождается в текстах яркими трагическими эпитетами – «лютъ», «ядовитъ», «горек» – и вызывает у автора неизменное чувство страха: «Боюся, братие, онаго огня и зело трепещеть ми душа, яко горекъ есть...»; «огня геенскаго убойтеся: лютъ зело и ядовитъ будетъ»; «Ядовитъ бо сей огонь» и др. Данные определения восходят в своей основе к общему представлению протопопа Аввакума об аде: «Люто есть место и зело страшно, ужасаетъ ми ся умъ и трепещеть ми душа...»; «В тартаре огонь и студень лютая будетъ... в тартаре студень лютая и нестерпимая, тамо же будетъ и огонь негасимый» [10, стб. 549, 550, 573, 560, 665].

Адский огонь в изображении Аввакума ненасытен. И дьявол постоянно составляет ему «снеть»: «диаволь... сводить в преглубокий тартаръ и огню негасимому снеть устраеть». Теперь уже никониане выступают в роли еды. Злейшие муки и страдания, скорби и болезни обретут они в аду: «Горе нечестивымъ и грешнымъ будетъ тогда; разведени будутъ по мукамъ вечнымъ... И вси муки невещественни: извнутри человека раждатися будетъ болезнь, сице – разумий: якоже ныне кто стражетъ огневою въ немощи, весь горить, а отъ бо-

лезни не может уйти; а тамо будеть и сугубейше: и внутрь, и вне человека будеть скорьба. Охь... злейша мука»; «во адова жилища... Тамо человекъ обоженъ бывъ, уязвленъ же ранами». Но их муки, в отличие от мучений староверов, сжигаемых на кострах, будут вечными, поскольку земной огонь имеет свои временные пределы: «А во огнетомъ здесь небольшое время потерпеть, – аки окомъ мгнуть, так душа и выступить!», адский же огонь «негасим» и «вечен»: «неугасаемъ есть»; «жгомъ негасимымъ огнемъ»; «во огонь вечный». В целом, адский огонь выступает в текстах протоппа Аввакума как оборотная сторона земного огня, он создан на мучения мучителям и является средством возмездия за жестокость на земле [10, стб. 291, 664–665, 636, 571, 549, 560, 570].

Помимо этого, в произведениях протоппа Аввакума есть еще образ небесного огня, обновляющего и очищающего человека от грехов. Толкуя 102 псалом, Аввакум уподобляет душу грешника постаревшему орлу. «Обветшавший» орел «взимается к небесному огню... обгорить вся ветхость на немъ; онъ же... бываетъ юнь вместо ветха». Точно так и обветшавшая от грехов душа человека, слезами и покаянием пред Богом, обретет юность: «Ну, душе, – призывает Аввакум, – сотвори и ты такъ. Аще обветшала грехми, да обновится, яко орлу, юность твоя; такъ же прибегни ко огню небесному, попяляющему терние нашихъ греховъ... Да обновится, яко юность твоя» [10, стб. 429].

Небесный огонь выполняет двойственную функцию в произведениях Аввакума. Он способен не только обновить, но и уничтожить. Именно уничтожающая способность небесного огня оказывается для трагика Аввакума наиболее интересной. Она видится Аввакуму как средство возмездия никонианам за все их несправедное житие. В этом контексте небесный огонь оказывается равносильным огню адскому. Огонь, имеющий божеское происхождение, наделяется сходными с адским огнем характеристиками. Богу, как и дьяволу, у Аввакума присуща огненная природа: «сидитъ Онъ (Христос – О.Т.) на огнезрачномъ престоле...» (ср.: «дьяволь на насъ

огнено дышетъ»). В день Страшного суда Бог отправляет грешников на муки на съеденье «негасимому» огню: «В техъ удоляхъ исполнить Христось огня негасимаго на мучение грешникомъ»; «Богъ нашъ огонь поядай есть»; «огня ревность поясти хочеть сопротивная»; «по судномъ дни отъ Христа Бога нашего тебе же мука огненная и жупелная...». Но если дьявол стремится всех людей «живыхъ поглотити», то Божий суд справедлив. В «востанный» день «река огненная потечеть, огонь искусный коегождо дела искуситъ». Испытанию подвергнутся не только люди по делам своим, но и все мироздание: «Сей же огонь искуситъ небо, и землю, и всю тварь, солнце, и луну, и звезды...». Весь мир будет обновлен: «будуть небо ново и земля нова, бела, яко хартия, и моря не будетъ к тому». Тогда праведники спасутся, плоть их обретет легкость, а душа вознесется, как птица: «тогда бо плоть святыхъ легка будетъ, яко восперенна; носитися по воздуху начнетъ, яко птичьа». Сходным образом Аввакум описывает воспарение душ сжигаемых староверов: «души-те... не... бываетъ тяжка, но яко восперенна... летаетъ, равно яко птичыка... попархиваетъ... душа взимается со ангелы выпрь». Никониане же в том искусительном огне почернеют от грехов своих: «каковъ почернелъ в огне томъ, – грехи-те въ немъ и о немъ горятъ, – таковъ ужъ и сталь темнообразенъ» – и, в отличие от староверов, будут «валяться» на земле: «валяется на земли... Пропаль, погибъ... А никонияня валяются на земли, и валяются яко огорелыя главни». Способность летать, таким образом, означает у Аввакума спасение, а валяние на земле – гибель души [10, стб. 846, 922, 437, 429, 869, 442, 573, 571, 574].

К образу огня, «горения» прибегает Аввакум и для характеристики должного служения Богу. В письмах и посланиях Аввакум призывает сторонников старой веры «гореть» душою к Богу: «помыслы злыя отринь и единому Богу гори душею»; «аще плотски и соединяетесь съ никонияны, но внутрь горениемъ горятъ о истинне Христове...». Усердие в служении Богу отдельных личностей и умиляет, и ужасает протоппа: «Антонушку милен-

кому мирь и благословение... Я и ныне, поминая службу ево ко Христу, ужасаюся. Огнь такой горит, бывало зеленой, а оне с матерью плавают тутже...». Очевидно, поэтому Аввакум вынужден напоминать братии, что горение ко Христу должно быть «кротко и приветно», а не «терпко»: «О Христовомъ деле говори кротко и приветно, да же слово твое будетъ сладко, а не терпко. Аще и разгорится духъ огнемъ божественнымъ: слово къ человеку говори, а умомъ ярость износи на диявола» [10, стб. 918, 829, 830, 944, 773].

Еще одно двойственное значение огня – это греховность и очищение. В начале «Жития» Аввакум помещает эпизод о блуднице, пришедшей к нему на исповедь. Красота девицы, которая была «многими грехми обремененна», тронула сердце молодого попа. И он с ужасом почувствовал, что «самъ разболелся, внутрь жгомъ огнемъ блуднымъ». Огонь здесь является характеристикой силы греха. Далее Аввакум описал способ борьбы с «огнемъ блуднымъ»: «зажегъ три свечи... и возложилъ руку правую на пламя, и держалъ, дондеже во мне угасло злое разжение» [10, стб. 9]. Здесь уже огонь выступает как средство очищения от греха. Таким образом, и в этом эпизоде символ огня оказывается многозначным [9, с. 20].

Итак, семантика огня у Аввакума многозначна. Во-первых, огонь служит символом мучений: реальных на земле – для староверов, сакральных в аду – для никониан и прочих грешников. Во-вторых, огонь является одновременно и обновляющей силой для праведников, и жгущей, уничтожающей силой для тех, чей «богъ – чрево и кончина ихъ – погибель, а не спасение». В-третьих, огонь оказывается символом силы греха и в то же время средством очищения от него. В-четвертых, душевное «горение» ко Христу – это признак правильного, должного служения Богу. В целом, символ огня носит у Аввакума противоречивый характер. При этом Аввакум достаточно четко разделяет функции огненной стихии. Каждому свое: праведникам – свет и обновление, грешникам – тьма и лють, негасимый огонь [10, стб. 905].

Огромная значимость для Аввакума образа огня в различных его проявлениях отрази-

лась и в характеристике своей эпохи как «огнепальной». Время «огнепально» не только потому, что повсюду на Руси горят костры, на которых никониане жгут староверов, но и потому, что истинные верующие свое спасение в будущем «содевают» «горением» в настоящем ко Христу, и потому, что в день Страшного суда Бог всех и вся «переполощетъ негасимымъ огнемъ» [10, стб. 663]. Огненному испытанию во второе пришествие Христа будут подвержены все люди и вообще все мироздание. Поэтому не только «нынешнее» время «огнепальное», но и далекое мистическое будущее у Аввакума озаменовано образом огня.

Библиографический список

1. Виноградов, В.В. О задачах стилистики. Наблюдения над стилем «Жития протопопа Аввакума» / В.В. Виноградов; под ред. Л.В. Щербы // Русская речь., Пг. – Вып. 1. – 1923. – С. 195–293.
2. Виноградов, В.В. К изучению стиля протопопа Аввакума, принципов его словоупотребления / В.В. Виноградов // ТОДРЛ. – М.-Л. – 1958. – Т. XIV. – С. 371–379.
3. Гусев, В.Е. Заметки о стиле «Жития» протопопа Аввакума / В.Е. Гусев // ТОДРЛ. – М.-Л. – 1957. – Т. XIII. – С. 273–281.
4. Демин, А.С. Наблюдения над пейзажем в Житии протопопа Аввакума / А.С. Демин // ТОДРЛ. – Л. – 1966. – Т. XXII. – С.402–406
5. Демин, А.С. Реально-бытовые детали в Житии протопопа Аввакума (к вопросу о художественной детали) / А.С. Демин // Русская литература на рубеже двух эпох (XVII-начало XVIII в.). Исследования и материалы по древнерусской литературе. – М., 1971. – С. 230–246.
6. Робинсон, А.Н. Социология и фразеология символа «тесный путь» у Аввакума / А.Н. Робинсон // Проблемы современной филологии (сб. статей к 70-летию акад. В.В.Виноградова). – М., 1965. – С. 438–443.
7. Робинсон, А.Н. О художественных принципах автобиографического повествования у Аввакума и Епифания / А.Н. Робинсон // Славянская филология. Сб. статей к IV Международному съезду славистов, II. – М., 1958. – С. 245–272.
8. Демкова, Н.С. Изучение художественной структуры Жития Аввакума. Принцип контрастности изображения / Н.С. Демкова // Пути изучения древнерусской литературы и письменности. – Л., 1970. – С. 100–108.
9. Герасимова, Н.М. Поэтика «Жития» протопопа Аввакума / Н.М. Герасимова. – СПб., 1993.
10. Памятники истории старообрядчества за первое время его существования. Кн. I, вып. 1 // Русская историческая библиотека. – Л., 1927. – Т.39. В скобках указываются столбцы, орфография упрощена.

ЖАЛЬ, ЧТО ТАМ НЕ БЫЛО ПУТИНА...

(Лесная газета от 26 ноября 2005 г. № 94(9640))

Г.М. НАДАРЕЙШВИЛИ, *гл. редактор газеты «Лесная газета»*

Переиздание романа великого русского писателя Леонида Леонова «Русский лес» можно считать знаковым событием для нашего времени. Сей шаг руководство МГУЛ предприняло не потому, вернее, не только потому, что книга стала реликвией и ее все труднее достать студентам и преподавателям главного лесного вуза страны, но и потому, что роман «Русский лес» сегодня, как и полвека тому назад, не утратил своей актуальности и находится на самых передовых рубежах борьбы как за Русский лес, так и за Россию в целом.

Презентация романа проходила в зале ученого совета университета. Скромная, продолговатая комната с высоким потолком. Стены, обшитые деревом. С них на собравшихся строго «глядят» великие патриархи отечественной лесной науки. Два длинных деревянных стола вдоль стен, объединенных «перемычкой» теперь уже почти забытого президиума. Своим аскетизмом убранство помещения несколько напоминает старинный рыцарский зал. А здесь, собственно, и собрались настоящие рыцари русского леса, рыцари лесной науки. Убеленные благородной сединой головы, сдержанный интеллигентный негромкий говор, старомодные поклоны, вежливые «привставания» с мест при виде знакомых. Кроме ученых, здесь можно встретить бывших министров лесного хозяйства страны, крупных лесных руководителей, представителей широкой общественности, писателей, журналистов... Но напрасно пыливый взгляд искал бы здесь нынешнего руководителя лесного хозяйства страны, которому было послано именное приглашение, но который не счел возможным посетить собрание, видимо, ввиду неотложного борения во имя русского леса (а впрочем, и правильно сделал, потому что говорить по существу обсуждаемых проблем ему в таком обществе в силу известных причин было бы весьма затруднительно). Не были замечены в зале и

другие высокопоставленные представители нынешней власти, от которых в той или иной степени зависит судьба нынешнего Лесного кодекса, а значит, и судьба русского леса.

А зря, очень даже зря пренебрегли эти господа полученными приглашениями, потому что много полезного для себя о русском лесе и о его проблемах они могли бы узнать в этот день, как говорится, из первых уст, от людей, посвятивших всю свою жизнь служению лесной науке. Открывая собрание, ректор МГУЛ профессор В. Санаев подчеркнул, что книга Леонида Леонова не только не устарела и не утратила своего значения, но, напротив, именно сейчас, когда фактически решается судьба русского леса, она становится необычайно актуальной и своевременной. Роман снова выдвигается на передний план борьбы за русский лес, за Россию в целом. Эту же мысль подчеркнул в своем блестящем выступлении и академик Н. Моисеев, написавший великолепное предисловие к нынешнему изданию романа. Об этом же говорили бывшие министры лесного хозяйства А. Зверев и Н. Прилепа, президент МГУЛ, бывший ректор А. Обливин, член Союза писателей России В. Крупин, дочь писателя Н. Леонова и другие выступающие. Точно, четко и правдиво написал в предисловии к роману академик Н. Моисеев: «Может возникнуть вопрос, а не потеряла ли теперь книга уже свое былое значение? “Бои”, мол, давно отгремели. Что же ворошить “старые угольки”-то? Было бы весьма наивно думать, что это так. “Трацианские” как феномен существуют при любых исторических эпохах, независимо от политических систем. Это – люди конъюнктуры. Они не представляют плоть народа, не живут его чаяниями. Для них важна только собственная выгода, ради которой они не пожалеют ни народ, ни, в конечном счете, даже и своих близких».

Издание этой книги МГУЛ в наши дни, как раз накануне второго чтения Лесного кодекса в Госдуме, похоже на то, как если

бы ведущий неравный бой отряд в самый напряженный миг обратил против врага свой последний резерв, припрятанный до поры для решающего момента. И пусть это сравнение с боем не покажется читателю завихрением авторской фантазии.

Как сказал в своем выступлении писатель В. Крупин: «Лес – наш последний рубеж, дальше отступать некуда. Надо взять топор и стоять насмерть». Стоять насмерть помогает великий роман.

– С выпуском этой книги мы связываем вполне конкретные надежды, – говорит в коротком интервью «Лесной газете» ректор МГУЛ Виктор Георгиевич Санаев. – Мы разослали по одному экземпляру всем главным лицам страны, от которых зависит будущее лесов России, включая Президента. Надеемся, что они прочтут ее, и это поможет им по-новому взглянуть на проблему русского леса. В самом деле, ну нельзя же до бесконечности издеваться над ним. Вот мы недавно собрались в Госдуме обсуждать последний проект Лесного кодекса, вносить в него поправки. Как вдруг открывается дверь, и посыльный доставляет из Правительства новый вариант этого законопроекта. Смотрим – а это уже совсем другой документ, принципиальные статьи и положения звучат совсем иначе. Ну, разве можно вот так, с наскоку, так несерьезно относиться к русскому лесу? Чем он заслужил такое к себе отношение?

Вопрос риторический. В самом деле, как понять то, что происходит вокруг русского леса? Вот уже и самые главные лица в стране, включая Президента, высказались за то, что нельзя принимать такой судьбоносный законопроект для страны в его нынешнем виде. А. Греф и те, кто стоят за ним, несмотря ни на что, уверенно ведут дело к гибели русского леса, к его разграблению, к его отчуждению от народа. Неужто так усилились позиции нынешних Грацианских, что никакие Вихровы с ними уже не сладят? В это просто не хочется верить, потому что тогда все теряет смысл и на свете остается только одна правда и сила – правда и сила лесогубителя Кнышева из романа «Русский лес», правда и сила больших денег.

Я лично очень жалею, что на этом собрании не было нашего Президента. А что? Разве такое невозможно представить? Ведь мог же он неожиданно для всех без предварительного предупреждения приехать на открытие тоннеля на Красную поляну. При всем уважении к Красной поляне и к открытому тоннелю лично, все же даже и сравнить невозможно значение этого события с тем значением, которое играет для страны принятие нового Лесного кодекса. И если бы случилось такое маленькое чудо, и наш Президент почтил своим присутствием это высокое собрание и послушал убеленных сединами служителей леса, он бы, уверен, кардинально поменял бы свое отношение к обсуждаемой проблеме. Но, увы, не было Президента на том собрании, не было и других важных лиц. Но вам, господа, послана Книга. Прочитайте, пожалуйста, ее. Можно любить или не любить этого писателя, можно по-разному относиться ко времени, которое он описывает в своем романе, к его героям. Но просто невозможно любому, прочитавшему эту книгу, если только это не полностью бесчувственный человек, манкурт, не помнящий родства, не проникнуться тревогой и болью за русский лес, невозможно не понять его роль и значение в судьбе русского народа и в исторической судьбе России. А поэтому, повторяю, прочитайте, пожалуйста, эту книгу! Ну, а если у Вас за государственными заботами на то не найдется времени, то тогда прочитайте хотя бы знаменитую лекцию профессора Вихрова. Она начинается на странице 272 и кончается на странице 309. Как видим, всего 37 страниц. На это у вас должно хватить времени. Даже эти 37 страниц непременно перевернут представление любого человека о русском лесе и о его значении в истории и судьбе страны, если только читатель не полностью бездушный человек, для которого слово Родина – пустой и ничего не значащий звук...

А в завершение этих заметок хочу поведать об одном прямо-таки мистическом происшествии, которое имело место на этом собрании. Во время выступления бывшего министра лесного хозяйства Николая Михайловича Прилепы на его фразе «Сегодня непо-

нятно, кому принадлежит и кому будет принадлежать русский лес», именно на этих словах (я вел стенограмму и точно это зафиксировал) в зале вдруг погас свет. Как будто какая-то высшая сила наглядно подчеркнула, что ответ на этот вопрос пока скрыт во мраке.

Удастся ли разогнать тьму над этим вопросом – от этого зависит будущее не только русского леса, но и России в целом. И книга Леонида Леонова как раз и есть та благословенная Богом свеча, которая должна помочь высветить святую истину в этом вопросе.

ХРАНИТЕЛЬ РУССКОГО ЛЕСА

(Вестник МГУЛ от 30 ноября 2005 г. № 24(1753))

С.В. РАМАЗАНОВ, гл. редактор газеты «Вестник МГУЛ»



Русский лес... Как много вмещает в себя это понятие. С давних времен для нашего народа лес был не только источником тепла, пищи, бесценных природных ресурсов, но и самой основой его жизни.

Уникальный живой организм, в концентрированном виде вобравший в себя всю глубину и разнообразие огромных пространств родной земли, русский лес воскрешает в памяти волшебные образы из старинных легенд и сказок, бережно хранимых и передаваемых из поколения в поколение нашими предками. Неслучайно тема леса столь часто встречается в русском национальном фольклоре, поэзии и литературе. Учитывая влияние природного ландшафта на формирование национальной души, трудно переоценить роль леса в судьбе русского народа.

18 ноября в зале заседаний ученого совета МГУЛ состоялось знаменательное событие – презентация издательством университета репринтного издания книги выдающегося русского писателя, академика АН СССР, Героя Социалистического Труда Л.М. Леонова «Русский лес». Наряду с сотрудниками и студентами университета в презентации приняли участие представители Федерального агентства лесного хозяйства, руководители лесной отрасли разных лет, журналисты, писатели, ученые, а также дочь писателя Наталья Леонидовна Леонова.

Имя Л.М. Леонова вписано в сокровищницу не только отечественной, но и мировой литературы. Многогранный талант Леонида Максимовича отразился в жанровом разнообразии его творчества. В своих работах знаменитый прозаик выступает как истинный мастер слова, глубокий мыслитель, талантливый публицист и литературный критик. Жизнь и творчество Л.М. Леонова всегда несли в себе верность исконным традиционным ценностям России, извечным идеалам любви, добра и справедливости. Для произведений писателя характерна постоянная озабоченность судьбами своих соотечественников, вдумчивая серьезность в осмыслении полного трагизма и героических свершений исторического пути своего народа.

Как современник эпохи великих перемен и исторических потрясений, Л.М. Леонов запечатлел на страницах своих произведений драматизм грозных событий прошлого века – Первой мировой и гражданской войн, Великой Октябрьской социалистической революции, Великой Отечественной войны.



Вступительное слово ректора МГУЛ В.Г. Санаева

В своем творчестве писатель дает оценку состоянию общественно-политических и культурных процессов в стране, воссоздает жизнь простого народа в ее различных проявлениях, трезво анализирует прошлую историю, пытаясь предугадать будущее развитие родной державы.

Роман «Русский лес» занимает особое место в творчестве писателя. Тема охраны окружающей среды давно волновала Л.М. Леонов. Еще в 30-х годах XX века им была написана замечательная работа под названием «Соти». Затем, в 1947 году, в «Известиях» была напечатана статья «В защиту зеленого друга», в которой автор публично признавался в своей любви русскому лесу, называя его зеленым другом. Леонида Максимовича искренне тревожила утрата человеком гармонического единства с природой, небрежное и безразличное отношение к ее драгоценным богатствам, что и указывало на симптомы глубинного разлада внутри человеческой души, утратившей животворную связь со своими традиционными духовными истоками.

Помимо глубокого идейно-философского содержания, к несомненным достоинствам книги «Русский лес» следует отнести ее высокую художественную ценность. Роман изобилует удивительными по поэтической красоте и лиричности описаниями русской природы и народного быта. Неслучайно

многие литературные критики творчества Л.М. Леонова говорили о нем как о выдающемся пейзажисте и классике русского леса. Чувственно насыщенные, плотные образы, мастерски выводимые рукой талантливого художника, открывают взору читателя величественный мир гармонии и порядка.

Глубоко символично, что великий роман был переиздан в издательстве нашего университета. Ведь именно ученые Московского лесотехнического института в лице академика ВАСХНИЛ Н.П. Анучина и Е.И. Лопухова дали толчок к зарождению замысла этой книги, обратившись в начале 50-х годов к Л.М. Леонову с предложением в художественной форме обратить внимание на проблемы, стоявшие перед лесной отраслью в связи с отменой принципа непрерывно неистощительного пользования лесами.

Открывая встречу, ректор МГУЛ профессор В.Г. Санаев, процитировав слова классика, указал на знаковость текущего момента для дальнейшего развития лесной отрасли накануне принятия нового Лесного кодекса. Разделяя тревогу за судьбу русского леса, Виктор Георгиевич выразил серьезную озабоченность сегодняшним состоянием дел в отечественном лесном хозяйстве, отметив необходимость кардинальной корректировки позиции федеральных органов к вопросам развития лесной отрасли России.

Величие писателя во многом определяется его умением заглянуть вглубь вещей, ухватив за стремительно меняющимся потоком событий суть происходящего. Как подчеркнул академик Н.А. Моисеев, несмотря на то, что «Русский лес» написан более полвека назад, поднятые в нем проблемы не утратили своей актуальности и по сей день. Глубина того кризиса, в котором оказалась сегодня лесная отрасль, заставляет нас с новой силой и остротой переосмыслить все сказанное классиком. По словам Николая Александровича, Л.М. Леонов выступил в своем произведении не только как великий прозаик, но и как глубокий исследователь, философ, политик и патриот своей Родины. Главным мотивом написания романа стало желание писателя привлечь широкое общественное внимание к проблеме сохранения одного из основных национальных богатств России – русского леса.

Возвращаясь к злободневным темам, Н.А. Моисеев с горечью констатировал отсутствие у федеральных органов власти сколь-либо внятной национальной политики управления лесным хозяйством. Разгул нелегальных рубок ведет к катастрофическому истощению лучших пород древесины, составляющих национальный стратегический ресурс государства. В настоящее время вопрос стоит не столько в том, чтобы защитить успевший стать неоспоримым принцип постоянного лесопользования, сколько в наведении элементарного порядка в управлении лесной отраслью. Вступление в действие нового Лесного кодекса, по которому новым собственникам предоставляется фактически бесконтрольное право распоряжения лесами, только усугубит и без того сложную ситуацию в лесном комплексе. Как подчеркнул Н.А. Моисеев, только принятие строгих законодательных мер, регламентирующих систему отношений в области лесопользования, и выстраивание четкой вертикали контроля и управления лесным хозяйством со стороны государственных органов позволят переломить негативные тенденции.

Отметив огромное воспитательное значение романа, Николай Александрович

особо подчеркнул важность проведения культурно-просветительной работы среди молодежи в целях сохранения духовно-исторической преемственности поколений. Как говорил Л.М. Леонов: «Создавать творцов и покровителей леса еще важнее, чем выращивать сам лес».

Академик Н.А. Моисеев призвал всех присутствующих консолидировать усилия по выработке концепции программы действий для поддержки отечественной лесной отрасли и обратился к присутствующим журналистам и представителям СМИ с просьбой донести прозвучавшие идеи до внимания широкой общественности.

Бывший председатель государственного комитета СССР по лесному хозяйству А.И. Зверев поделился с собравшимися своими воспоминаниями из опыта личного общения с Л.М. Леоновым. Как заметил Алексей Ильич, в личности Л.М. Леонова его всегда поражала необычайная эрудиция, любознательность, духовная крепость его удивительно цельной натуры. В ходе частных бесед с Леонидом Максимовичем постоянно звучала тема глубокой озабоченности судьбой русского леса. Л.М. Леонов был верным сыном своей Родины, правдивым бытописателем простого народа, деливший с ним все радости и невзгоды.

Любовь писателя к живой природе нашла выражение в бережном возделывании своего сада, в котором Леонид Максимович любил проводить свободное от работы время.

«Перед Леоновым я до сих пор чувствую себя подотчетным человеком», – подчеркнул А.И. Зверев.

В заключение Алексей Ильич поблагодарил руководство МГУЛ за проделываемую им важную культурно-воспитательную работу по сбережению основ духовности – литературного наследия великих классиков русской культуры.

Огромную помощь писателю в сборе материала для романа «Русский лес» оказали инициаторы создания романа, выдающиеся русские ученые-лесоводы Е.И. Лопухов и Н.П. Анучин. Как отметил президент МГУЛ профессор А.Н. Обливин, благодаря проде-

ланной ими работе писатель смог во всей полноте и глубине ощутить комплекс проблем, связанных с лесной тематикой. Такие произведения писателя, как роман «Русский лес», блестящие статьи «О зеленом друге» и «О большой щепе», помимо широкого общественного резонанса, получили высокую оценку научного сообщества, внося свой вклад в развитие и популяризацию лесной науки.

Сквозь ткань повествования и многочисленные эпизоды романа, изображающие жизнь людей, их непростые взаимоотношения, их борьбу за утверждение своих идеалов, выявляется активная гражданская позиция Л.М. Леонова, остро ощущающего свою причастность не только к судьбе своих современников, но и будущих поколений.

В образах двух главных героев романа – Вихрова и Грацианского – отражено противостояние принципиально разных жизненных установок. В образе Вихрова писатель рисует целостную личность, верную высоким нравственным принципам и идеалам. Грацианский же воплощает извечные пороки: лицедейство, коварную хитрость, лживость, беспринципность и интриганство. Неизбежный конфликт, возникающий между этими двумя персонажами с первых страниц романа, ложится в основу развития сюжетной линии повествования, обобщая на глобальном уровне идею противостояния добра и зла.

Проведя параллель с сюжетом романа, где повествуется о трудностях, которые приходится преодолевать Ивану Вихрову на пути продвижения своей концепции через официальные инстанции, Александр Николаевич высказал сожаление по поводу слабой востребованности мнения ученых государственными структурами власти. А ведь внимание к авторитетному голосу науки позволило бы не только своевременно принимать обоснованные и взвешенные решения, но и избежать трагических последствий роковых просчетов в экономике и социальной жизни, рассчитываться за которые приходится порой не одному поколению наших соотечественников.

Истинно великие произведения не подвластны разрушительному влиянию времени, а их авторам суждено обрести бессмертие в сердцах благодарных потомков. Презентация книги вызвала большой интерес не только у специалистов лесной отрасли – наряду с представителями Федеральной службы лесного хозяйства, профильных научно-исследовательских организаций и предприятий в зале присутствовали Д.М. Гиряев и Н.М. Прилепа, в разные годы руководившие лесной отраслью, – но и у творческой интеллигенции. Глубоким патриотизмом и тревогой за будущее нашей страны были проникнуты выступления членов Союза писателей России А.А. Парпары и В.Н. Крупина. Мастера слова особенно остро чувствуют боль и чаяния народа, стараясь выразить их на страницах своих произведений.

Но, конечно же, с особым вниманием было воспринято выступлением дочери Л.М. Леонова – Натальи Леонидовны. В живой и выразительной форме Наталья Леонидовна рассказала о наиболее запомнившихся трогательных эпизодах из жизни своего отца. По словам Н.Л. Леоновой, ее отец обладал удивительным даром чувствовать душу природы, понимать ее особый необычный язык. Леонид Максимович был энциклопедически образованным человеком, одержимым постоянной страстью познания нового. Предметом особой гордости писателя и выражением его любви к природе был созданный им уникальный сад... Леонид Максимович всегда с заботой и трепетной нежностью относился к каждому экземпляру бережно собранной им растительной коллекции... А продемонстрированные фотоработы Л.М. Леонова, сделанные им фотопортреты, удивляют своим профессионализмом и глубиной.

Н.Л. Леонова закончила свое выступление словами благодарности в адрес организаторов этого замечательного мероприятия, посвященного памяти отца, и за проделанную работу по подготовке и переизданию книги «Русский лес», на протяжении десятилетий объединяющей незримой духовной связью людей, не равнодушных к будущему своей страны, своего народа.

**НОВЫЙ УЧЕБНИК:
РОДИН А.Р., РОДИН С.А. «ЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ»
(Москва, Издательство МГУЛ, 2005. – 164 с)**

В.В. ПЕТРИК, *зав. каф. лесных культур и механизации лесохозяйственных работ АГТУ, д-р с.-х. наук,*

Г.С. ТУТЫГИН, *проф. каф. лесных культур и механизации лесохозяйственных работ АГТУ, канд. с.-х. наук, заслуженный лесовод РФ*

Учебник издан с грифом УМО по образованию в области лесного дела и предназначен для студентов вузов, обучающихся по направлению «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», специальностям «Лесное хозяйство» и «Садово-парковое и ландшафтное строительство». Он написан в соответствии с Государственным стандартом высшего профессионального образования и примерной программой дисциплины.

Высокий научный уровень содержания книги базируется на использовании новейших разработок по созданию системы лесомелиоративных насаждений на объектах, подверженных воздействию неблагоприятных природных явлений и антропогенных факторов. По сравнению с ранее изданной учебной литературой внесены дополнения и уточнения по всем теоретическим и практическим вопросам, изучаемым в дисциплине. Например, значительно расширены сведения о лесной рекультивации техногенных ландшафтов (глава 8). Вместе с тем авторы сохранили преемственность при изложении вопросов теории и практики защитного лесоразведения.

Материал систематизирован с соблюдением психолого-педагогических требований. Раздел I «Теоретические основы и экологические аспекты лесомелиорации ландшафтов» состоит из трех глав, каждая из которых разбита на три части. Раздел II включает в себя 9 глав с выделением от двух до

шести частей. Исключение составляет небольшая по объему глава 12 «Основные принципы проектирования лесомелиоративных работ», где этапы проектирования даны без указания рубрик.

В конце каждой главы приведены контрольные вопросы, что поможет студентам в усвоении учебного материала. Непонятно, однако, почему в главе 12 нумерация вопросов продолжает нумерацию предыдущей главы, посвященной особенностям лесокультурного производства в ландшафтах рекреационного назначения.

Не вполне удачно название подраздела 10.2 «Защитные лесные насаждения на землях автомобильного транспорта». Было бы лучше назвать его «Защитные лесные насаждения вдоль автомобильных дорог» – по аналогии с названием главы 10. В пределах этой главы не нашли отражения защитные придорожные насаждения естественного происхождения, особенно характерные для северных регионов России.

В целом новый учебник актуален, поскольку в современных условиях необходимо не только защищать сельскохозяйственные и другие ландшафты от неблагоприятных природных явлений, но и восстанавливать и преобразовывать нарушенные природные ландшафты. Лесоразведение признано важным направлением государственной деятельности для обеспечения экологической безопасности и устойчивого социально-экономического развития страны.

АННОТАЦИИ / ABSTRACTS

Корепанов Д.А. ЕСТЕСТВЕННОЕ ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА ОСУШАЕМЫХ БОЛОТАХ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ.

В работе приведены результаты исследования естественного лесовозобновления на осушаемых олиготрофных, мезоолиготрофных, мезотрофных и евтрофных болотах Волжско-Камского междуречья. Динамика облесения и состав древесной растительности, которых зависят от типа болота и интенсивности осушения. Осушение не покрытых лесом площадей в условиях региона исследования способствует хорошему естественному возобновлению хвойными породами на олиготрофных и мезотрофных болотах и лиственных на – евтрофных.

Korepanov D.A. NATURAL FOREST RENEWING OF THE DRAINED MARSHES ON THE VOLGA – CAMA REGION BETWEEN TWO RIVERS.

In this work are given the result of natural forest renewing on the drained oligofertility, mesooligofertility, mesofertility and evfertility marshes on the Volga-Cama country between two rivers. The dynamic of the afforestation and the structure of the forest vegetation depends on the type of the marshland and intensity of drainage. The drainage of the land that are not covered with the forests under researched region's conditions assists a good natural renewing by coniferous breeds of trees on oligofertility and mesofertility marshes and by deciduous breeds of trees on evfertility marshes.

Сухоруков А.С. НАСАЖДЕНИЯ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЛОСИНЫЙ ОСТРОВ».

Проведена оценка состояния насаждений сосны в условиях Лосиноостровского лесопарка, находящегося в черте города Москвы. Даны рекомендации для сохранения в Лосиноостровском лесопарке сосны как коренной хвойной породы-лесообразователя в виде сосновых лесов.

Степаненко И.И. ДИНАМИКА МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В ОПЫТАХ С ПОЛНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСА.

В статье показано влияние однократного внесения полных удобрений на динамику радиального прироста и микроструктуру древесины сосны в разных типах леса Костромской области. Установлена зависимость строения древесины сосны от типа леса, дозы и продолжительности действия удобрений.

Stepanenko I.I. PINE WOOD MACRO- AND MICROSTRUCTURE DYNAMICS IN EXPERIENCES WITH TERNARY FERTILIZERS IN DIFFERENT FOREST TYPES.

The influence of single ternary fertilizers application on the radial increment, wood macro- and microstructure of *Pinus sylvestris* in the different types of pine forests is shown. The dependence between the wood structure and the forest type, fertilizers' rate and duration of their influence is revealed.

Гахрамани Л., Харин О.А. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО ДИАМЕТРУ.

Статья посвящена выявлению закономерности распределения прироста по диаметру в сосновых насаждениях Московской области. Был выявлен характер распределения числа и запаса деревьев в данных древостоях по естественным ступеням толщины.

Ghahramany L., Kharin O.A. STRUCTURAL DIAMETER PATTERNS OF PINY STANDS IN MOSCOW REGION.

The article is devoted to revealing the law of the Structural Diameter Patterns of Piny Stands of Moscow Region. The character of distribution of number and stock of the trees in the given forest stands on natural diameter classes were revealed.

Сейидов А.К. АРХИТЕКТОНИКА РОСТА КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ КАШТАНА СЪЕДОБНОГО НА СКЛОНАХ РАЗЛИЧНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ.

Неоднородность факторов среды на склонах различной экспозиции оказывают влияние на развитие культуры каштана. Корни каштана хорошо развиваются на северном склоне, где сочетание термического и водного режимов соответствуют требованиям деревьев каштана съедобного. По показателям общей длины и количеству скелетных и полускелетных корней северный склон значительно превышает южный. Длина горизонтальных корней у 5–10-летних деревьев каштана составила соответственно 309,6–317,3 м и 549,6–563,3 м (80–82 %) от общей длины, вертикальных – 0,084–0,076 м и 0,254–0,102 м (20–18 %), а на южном склоне длина горизонтальных корней составила соответственно у 5–10-летних деревьев каштана 213–221,7 м, 396–411,8 м (75–78 %) от общей длины и вертикальных – 0,127–0,112 м и 0,337–0,297 м (25–22 %).

Seyidov A.K. ARCHITECTONICS OF GROWING ROOTS' SYSTEM OF THE EDIBLE CHESTNUT ON THE SLOPES OF THE DIFFERENT LAYOUT.

Heterogeneity factors of the environment on the slopes of the different layout influence on growing of the edible chestnut.

Roots of the edible chestnut grow well on the northern slopes where combination of the thermal and water rejims correspond to demanding of edible chestnut's trees. The northern slopes exceed significantly the southern slopes in indices of total length and quantity of skeleton and semi-skeleton roots. Length of horizontal roots by 5–10 years old trees were correspondingly 309,6–317,3 m and 549,6–563,3 m (80–82 %) from total length, vertical 0,084–0,076 m and 0,254–0,102 m (20–18 %), but on the southern slopes length of horizontal roots were correspondingly by 5–10 years old trees of the edible chestnut 213–221,7 m, 396–411,8 m (75–78 %) from total length and vertical – 0,127–0,112 m and 0,337–0,297 m (25–22 %).

Родионов А.В. ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСНОЙ ПЛОЩАДИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ).

В статье описан технологический процесс комплексного освоения лесных площадей (КОЛП) как основа для практической реализации принципа неистощительного лесопользования на участках лесного фонда. Приведены результаты теоретических исследований по оптимизации параметров процесса КОЛП. Рассмотрены примеры использования разработанных автором математических зависимостей для обоснования оптимальных параметров процесса КОЛП в условиях Республики Карелия.

Rodionov A.V. DEFINING OPTIMUM PARAMETERS OF COMPLEX DEVELOPMENT OF FOREST SITES (CASE STUDY REPUBLIC OF KARELIA).

The technological process of complex development of forest sites is described in the article as the basis of practical realization of sustainable forestry principles. Results of theoretical researches on optimization of parameters of the process of complex development of forest sites are outlined. Examples of applying mathematical equations developed by the author for defining optimum parameters of the process of complex development of forest sites are presented (case study Republic of Karelia).

Мерзленко М.Д. ЦЕННОСТЬ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Раскрывается значимость фенонаблюдений для лесохозяйственного производства в целом и для лесокультурного дела в частности. Указывается ценность сопряжения фенонаблюдений с метеорологическими данными.

Черкас Н.Д. ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ СОКРАЩЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ РЯБЧИКА (*Bonasa bonasia* L., 1758) В БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩЕ.

В работе проведен анализ численности рябчика с 1948 по 2003 гг., а также оценены основные факторы, влияющие на численность этого вида. С 1999 г. наблюдается рост популяции рябчика, это связано с благоприятными погодными условиями (отсутствием осадков) в сезон размножения, с массовым размножением короеда-типографа в 1995–1997 гг. и последующим отпадом пораженных деревьев, что привело к улучшению защитных условий. Отмечается, что лимитирующим фактором для роста численности рябчика в Беловежской пуще является отсутствие подроста, слабые защитные и кормовые условия в зимний период.

Cherkas N.D. The dynamic of population and main factors influencing reduction of hazel-grouse population (*Bonasa bonasia* L., 1758) in Belovezhskaya Puscha.

The analysis of hazel-grouse population from 1948 to 2003 was carried out in this work, and also the main factors influencing population of this species were evaluated. Since 1999 we have watched the increase in hazel-grouse population, it is connected with favorable weather conditions (absence of precipitations) during breeding period and with mass breeding of shot-hole borer-typists from 1995-1997 and then mortality of defeated trees, that resulted in improving of protection conditions. It is estimated that the liming factor for the growth of hazel-grouse population in Belovezhskaya Puscha are the absence of undergrowth, poor protection and food conditions during winter.

Меркушев И.М. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ МАССИВА РАЗНОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИХ ТОЧНОГО ОСРЕДНЕНИЯ.

В статье указано на ошибочное использование в лесопильно-деревобрабатывающем и других производствах формул расчета средневзвешенных и среднеквадратических размеров массива разноразмерных деталей параллелепипедной и цилиндрической формы при определении по ним объема деталей. Разработан метод точного расчета средних размеров по формулам, дающим при их перемножении объемы (или площади поверхностей), точно совпадающие с фактическими объемами (или площадями) массива деталей.

Merkushev I.M. THE ANALYSIS TO INACCURACY OF THE CALCULATION OF THE AVERAGE SIZES OF THE ARRAY RAZNORAZMERNYH DETAILS AND DEVELOPMENT OF THE METHOD THEIR EXACTLY-GO AVERAGING.

In clause(article) it is specified on erroneous use in sawmilling-woodworking and other manufactures of formulas of calculation average and **среднеквадратических** the sizes of a file **разнора-змерных** details **параллелепипедной** and the cylindrical form at definition on them of volume of details. The method exact **расчета** of the average sizes under the formulas giving at their multiplication volumes (or the areas of surfaces), precisely conterminous with actual volumes (or the areas) a file of details is developed.

Дорняк О.Р. Свиридов Л.Т. СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОЦЕССАХ ПРЕССОВАНИЯ. РЕОЛОГИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ.

Применительно к процессам прессования исследуется реологическое уравнение древесины как трехфазной ненасыщенной системы, учитывающее текущие значения ее пористости и влажности, а также вязкоупругий характер деформирования. Учтена роль расклинивающего давления воды в тонких слоях. Его значение представлено равновесной и неравновесной составляющими и определяется путем обработки известных экспериментальных данных одновременно с определением других реологических характеристик.

Dornyak O.R., Sviridov L.T. STRUCTURAL-MECHANICAL PROPERTIES AND TENSION OF WOOD DURING COMPRESSION PROCESSES. THE RHEOLOGICAL EQUATION OF STATE.

The rheological equation for wood with reference to compression processes is studied. The wood is considered as three-phase unsaturated system which takes into account current values of its porosity and moisture as well as viscoelastic character of deforming. The role of capillary water pressure in thin layers is taken into account. The pressure value is represented by equilibrium and non equilibrium components and is determined by handling the known experimental data simultaneously with calculations of other rheological characteristics.

Дорняк О.Р. Свиридов Л.Т. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ.

Проведено численное исследование процесса прессования поперек волокон древесины сосны и березы. Рассмотрено плоское деформированное состояние среды в области с подвижной границей. Постановка задачи осуществлена в рамках механики многофазных систем с учетом сложного реологического поведения древесины, обусловленного ее вязкоупругими свойствами и влиянием воды граничных слоев. Показано, что степень уплотнения и прочность образцов существенно зависят от их температуры и влажности. Расчетные значения компонент тензора напряжений позволяют использовать инвариантные критерии прочности для прогнозирования качества прессованной древесины при произвольно заданных полях влажности и температуры.

Dornyak O.R., Sviridov L.T. FORECASTING OF STRUCTURE AND STRENGTH PARAMETERS.

The numerical examination of compression processes across pine and birch wood fibers is carried out. The flat deformed state of medium in the zone of mobile boundary is considered. The problem statement is realized within the framework of mechanics of multiphase systems taking into account composite rheological behavior of wood due to its viscoelastic properties and the influence of water boundary layers. It is shown, that the degree of models contraction and strength essentially depend on their temperature and moisture. The calculated values of stress tensor components allow to use invariant criteria of strength for forecasting the quality of moulded wood at arbitrary given fields of moisture and temperature.

Редькин А.К., Шадрин А.А. ГИБКИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕХОВ.

В статье рассматриваются вопросы создания гибких технологических процессов обработки древесного сырья в условиях лесозаготовительных предприятий. Приводятся классификация гибких технологических процессов, схема потоков лесоматериалов, классификация транспортных систем. Для примера приведены схемы лесобработывающих цехов с гибкими технологическими процессами.

Redkin A.K., Shadrin A.A. FLEXIBLE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF WOODWORKING WORKSHOPS.

The article deals with the development of flexible technological processes of raw wood treatment at logging enterprises. A classification of flexible technological processes of woodworking workshops, plan of process stream of forest products, classification of transport systems are proposed. Outlines of woodworking processing workshops with flexible technological processes are exemplified.

Ширнин А.Ю. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАНАТНОЙ ПОДТРЕЛЕВКИ.

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований части комбинированного способа трелевки в виде корреляционных уравнений и графиков зависимости силы натяжения каната от среднего объема пачки хлыстов и расстояния от места подъема пачки до мачты от среднего объема пачки хлыстов.

Shirnin A.YU. THE EXPERIMENTAL STUDY ROPE PODTRELEVKI.

In the article the outcomes of the experimental researches of a combined way yarding in the form of correlation equations and graphs of force dependence on a tension of a cable rope from a mean volume of a member of switches and spacing interval from a place of rise of a member up to the mast from a mean volume of a member of switches are resulted.

Климушев Н.К. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Представлена классификация неравномерности лесозаготовительного производства. Рассмотрены методы моделирования процессов и операций неравномерности лесозаготовительного производства разных видов.

Klimushev N.K. LOGGING NON-UNIFORMITY

The classification on logging non-uniformity is shown. The methods of processes and operations simulation of logging non-uniformity of different kinds are reviewed.

Абузов А.В. АЭРОСТАТНЫЕ СИСТЕМЫ ТРЕЛЕВКИ – ВТОРОЕ РОЖДЕНИЕ.

Аэростатные системы являются альтернативной технологией или средним звеном между вертолетной, канатной и наземной технологиями лесозаготовок. В статье перечислены предложения по использованию их возможностей.

Шамарин Ю.А., Сиротов А.В., Панферов В.И. СПОСОБ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ЛЕСНЫХ МАШИН.

В статье дан сравнительный анализ существующих способов испытания нагнетательных клапанов в статических условиях предлагаемым авторами новым способом. Отмечены недостатки применяемых способов и рассмотрены преимущества предлагаемого.

The article contains comparative analysis of real ways of testing fuel pump delivery valves in statistical conditions and the new way the authors suggest. Also in this article the disadvantages of common methods and the advantages of new one are mentioned.

Шамарин Ю.А., Сиротов А.В., Панферов В.И. МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ.

В статье представлена принципиальная схема устройства, спецификация составных частей и алгоритм работы. Авторами показаны метрологические характеристики устройства, предложены результаты экспериментальных работ, по результатам которых сделаны соответствующие выводы.

In the article it is represented the functional scheme of the device, specification of its units and the way it works. Also this article contains the results of measurements made by this device.

Климовских А.В. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ.

В данной статье приведены результаты эксперимента, в котором определяются контактные свойства круглых лесоматериалов, далее разработана математическая модель и на основе этого построена компьютерная модель в MSC.visualNastran Desktop. Предназначена для всех исследователей, моделирующих круглые лесоматериалы в таких компьютерных программах, как MSC.visualNastran Desktop, MSC.ADAMS, CosmosMotion и т.д.

Klimovskih A.V. CONSTRUCTION OF MODEL OF INTERACTION OF ROUND FOREST PRODUCTS.

In given article results of experiment in which contact properties of round forest products are determined are resulted, the mathematical model further is developed and on the basis of it the computer model in MSC.visualNastran Desktop is constructed. It is intended for all researchers modelling round forest products in such computer programs, as MSC.visualNastran Desktop, MSC.ADAMS, CosmosMotion, etc.

Внуковский Н.И., Бутко Г.П. ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ (ПРЕДПРИЯТИЯ).

Авторами статьи предлагается подход определения конкурентного статуса организации базирующийся на комплексном исследовании маркетинга, инновационного потенциала, налаженности сбыта продукции, организации ВЭД и др. Для определения конкурентной среды выбраны основные конкуренты и исследованы ключевые факторы успеха на основе интегральных показателей конкурентоспособности.

Лапшина Е.Ю. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МАРКЕТИНГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА МЕБЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.

Рассматривается одна из основных проблем отечественной мебельной отрасли – конкуренция со стороны зарубежных производителей, предлагаются рекомендации по организации маркетинга на мебельных предприятиях с целью повышения их конкурентоспособности.

Lapshina E.U. THE MAIN TREND TO MARKETING ACTIVITY ON MEBELINYH ENTERPRISE.

This article takes into consideration one of the main problem of Russian furniture industry - foreign manufacture's competition, suggest recommendations for improving furniture plants marketing that may increase theirs competitiveness.

Сиротова И. В. ПОНЯТИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КАК ОДНОГО ИЗ ВАЖНЕЙШИХ КОМПОНЕНТОВ МАРКЕТИНГА.

В статье рассмотрены понятие и определения конкурентоспособности, а также ее главные составляющие. Отмечено, что проблема может быть решена на основе применения двух научных направлений с определением основных задач исследований.

Sirotova I.V. NOTION TO COMPETITIVENESS AS ONE OF THE THE MOST IMPORTANT COMPONENT OF THE MARKETING.

The article consists problems of marketing and designates primary aims of analysis and estimation of competetive power of products.

Васильев М.И. АНАЛИЗ СПЕКТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЯЗЫЧКОВ ГОЛОСОВЫХ ПЛАНКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ.

Результаты спектрального анализа колебаний язычков в голосовых планках музыкальных инструментов приведены в статьях. Анализ выполнен с применением оптических методов. Исследование объемной скорости воздушного потока при аэродинамическом нагружении также рассматривается в этих статьях.

Vasiliev M.I. THE ANALYSIS SPECTRUM FLUCTUATIONS LUG VOCAL PLANK WITH USING THE OPTICAL METHODS.

The results of spectral analysis of reeds vibrations in reed plates of musical instruments are given in the articles.

The analysis is made with the application of optical methods. Volume speed investigation of airflow unbend aerodynamic load is also consiclered in these articles.

Никонов В.Г., Никонов Н.В. НЕКОТОРЫЕ КЛАССЫ ФУНКЦИЙ k -ЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ БЕЗ ЗАПРЕТА.

Одно из направлений анализа нелинейных систем булевых и k -значных уравнений связано с выделением структурных подсистем. Структурные несовместные подсистемы, порожденные регистром сдвига с функцией $f(x_1, \dots, x_n)$, соответствуют запрету этой функции. Если у узла с функцией $f(x_1, \dots, x_n)$ не существует таких несовместных подсистем, то функция $f(x_1, \dots, x_n)$ без запрета.

Статья посвящена построению принципиально новых классов k -значных функций без запрета при различных $k = 2^m$, имеющих полиномиальное представление $f^k(x_1, \dots, x_n) = P(x_1, \dots, x_n) \pmod{2^m}$.

Задающий функцию полином при $n = 2$ порождает латинский квадрат, при $n \geq 3$ определяет латинский гиперкуб, обобщающий понятие латинского квадрата. Функции указанных классов существуют для любого $n \geq 2$.

Nikonov V.G., Nikonov N.V. SOME CLASSES OF K-FUNCTIONS WITHOUT INTERDICTION.

One of the ways of analysis the nonlinear systems of equations of Boolean or k -function connects with formation of some subsystems. The disjoint subsystems which are generated by a shift-register with the function $f(x_1, \dots, x_n)$ correspond to the interdiction of the function $f(x_1, \dots, x_n)$. If there is no such disjoint subsystems the function is without interdiction.

The article deals with the creation of some new classes of k -functions with different $k = 2^m$ without interdictions which may be represented as polynomial $f^k(x_1, \dots, x_n) = P(x_1, \dots, x_n) \pmod{2^m}$.

If $n = 2$ the Polynomial created the k -function generates Latin square cube. If $n \geq 3$ the Polynomial generates Latin cube generalized the term of Latin square. The k -functions of considered classes exist for every $n \geq 2$.

Никонов Н.В. О СВЯЗЯХ И ОТЛИЧИЯХ ПОЛУЗАПРЕТОВ I, II-го РОДА И ЗАПРЕТОВ k -ЗНАЧНЫХ ФУНКЦИЙ.

В статье исследуются соотношения между понятиями запрета, полузапрета I-ого и II-ого рода для k -значных функций. Комбинация выходных знаков регистра сдвига с k -значной функцией $f^k(x_1, \dots, x_n)$ на выходе $\gamma_1, \dots, \gamma_n$, порождающая несовместную систему уравнений, называется запретом функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$. Последовательность выходных знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ называется полузапретом k -значной функции $f^k(x_1, \dots, x_n)$ I-го рода, если в системе однозначно определяется одно или несколько неизвестных $x_v = \varepsilon_v$, полузапретом II-ого рода, если в системе значения некоторых переменных нетривиально локализуются $x_\mu \in E \subset \{0, 1, \dots, k-1\}$. Показывается, что все возможные классы k -значных функций, обладающих и не обладающих этими свойствами, не пусты.

Nikonov N.V. ABOUT THE CONNECTION AND DIFFERENCES OF HALF-INTERDICTIONS OF I-ST AND II-ND TIPE AND INTERDICTIONS OF k -FUNCTIONS.

In the article the correlation between the terms of an interdiction and a half-interdiction of first and second type is investigated. The sequence of signs $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ followed from shift-register with k -function $f^k(x_1, \dots, x_n)$ generated disjoint subsystem is called an interdiction of k -function. The sequence of signs $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ generated subsystem where some unknown variables become determined is called an half-interdiction of k -function of I-st type and if in the system there are some nontrivial limitations of significances of unknown variables $x_\mu \in E \subset \{0, 1, \dots, k-1\}$ the sequence of signs $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ is called an half-interdiction of k -function of II-nd type. It is shown that all classes of k -functions with different correlations between the considered terms are different.

Василевская Е.А., Пудикова Н.Н., Рыбников К.К. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УЗЛОВ НЕЙРОСИСТЕМ С ПОРОГОВЫМИ ФУНКЦИЯМИ АКТИВАЦИИ И ПОЛИЭДРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИХ АНАЛИЗА.

Авторы демонстрируют возможности создания полиэдральных моделей для анализа узлов нейросетей и оценивают их сложность.

Vasilevskaya E.A., Pudikova N.N., Rybnikov K.K. THE MAIN FORMS OF MATHEMATICAL MODELS OF NEURONS USING BIAS ACTIVATION FUNCTION AND POLYHEDRAL METHODS AS QUANTATIVE APPROACHES TO NEURAL NETWORK SOLUTIONS.

The authors show the probability of construction the polyhedral models of formal neuroscheme and estimate it's complexity.

Духин А.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДА СЖАТИЯ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ, ОСНОВАННОГО НА АДАПТИВНОМ КВАНТОВАНИИ ВЕКТОРОВ И РЯДА ИЗВЕСТНЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ.

Статья посвящена анализу применяемых для сжатия видеoinформации: стандарта JPEG, метода, основанного на использовании вейвлетных функций, фрактального метода. Все они являются методами с частичной потерей качества. В сравнении с ними предлагается новый метод, основанный на адаптивном квантовании векторов.

Dukhin A.A. COMPARATIVE ASSESSMENT METHOD OF PICTURE COMPRESSION BASED ON ADAPTIVE QUANTIZATION OF VECTORS AND SERIES WELL-KNOWN EFFECTIVE METHODS.

methods of picture compression such as JPEG standard, the «wavelet» functions method, «fractal» method are the methods with a partial-data-loss. All of them are considered in comparison with new method based on adaptive quantization of vectors.

Духин А.А. ОБ ОДНОЙ КОМБИНАТОРНОЙ ЗАДАЧЕ В ТЕОРИИ ГРУПП.

С использованием многомерного метода перевала получено представление числа нередуцированных слов свободной абелевой группы, сводящихся к заданному редуцированному слову.

Dukhin A.A. ONE COMBINATORIAL PROBLEM OF THE GROUP THEORY.

The representation on the number of not reduced words of free abelian group, equal to specified reduced word is received with used of the multidimensional saddle-point method.

Шабанин О.В. О СЛОЖНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПОРОГОВЫХ ФУНКЦИЙ В ТРАДИЦИОННЫХ БАЗИСАХ

Целью статьи является обзор основных результатов по разделу пороговой логики, связанный с исследованиями сложности представления пороговых функций в традиционных базисах и связям классов пороговых и линейных функций. Наряду с изложением известных результатов приводятся теоремы, доказанные автором, в которых дается оценка сложностных параметров пороговых функций.

Shabanin O.V. ABOUT THE COMPLEXITY OF REPRESENTATION OF THE THRESHOLD FUNCTIONS IN THE TRADITIONAL BASIS

This article deals with the review of the main results of the threshold logic connected with the complexity of the representation of the threshold functions in the traditional basis and the connection between the threshold and linear function's classes. Along with the consideration of the well-known results some new theorems about the estimations of the complexity of the threshold functions' representation proved by the author are introduced.

Колобашкин С.М., Беляев К.В. МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ УЧЕБНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Настоящая работа посвящена описанию метода, предназначенного для автоматизированного контроля качества работы пользователя-студента с теоретическими (лекционными) учебными материалами (электронными учебными пособиями).

Kolobashkin S.M., Belyaev K.V. USER'S WORK QUALITY ESTIMATION METHOD FOR EDUCATION SYSTEM

The special method of automatic students' work quality estimation based on computer-aided lectures abstracting is proposed. The main mathematical models and algorithms are considered; now research prototype of software system is implemented.

Гаврилова М.А. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ТЕСТОВ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ.

В исследовании вопроса, в какой степени овладели обучаемые требуемыми знаниями, умениями и навыками, все большее распространение получают тесты. К их положительным характеристикам можно отнести: объективность; экономичность по времени выполнения и проверки; технологичность и оперативность проверки; возможность проверить большой объем изученного материала и т.д.

Полещук И.А. ВЫБОР АДЕКВАТНОГО ОПЕРАТОРА АГРЕГИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ КЛАССА ФУНКЦИЙ k -ЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ.

В статье разработан метод выбора адекватного оператора агрегирования информации среди функций k -значной логики. Доказана теорема о связи степени нечеткости класса функций и степени нечеткости условий на их поведение.

The method of choice of appropriate operator of data aggregation as k -valued logics function has been developed in the article. It has been proved a theorem about dependence between fuzziness degrees functions class and conditions on its behaviour.

Комаров Е.Г., Поярков Н.Г. МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ЭТАПЕ ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ.

В статье разработаны модели обработки информации образовательного процесса, которые используют методы формализации экспертных оценок на основе теории нечетких множеств.

Шалаев В.С. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В МОСКОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ЛЕСА: НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ.

В статье проведен обзор деятельности МГУЛ в различных областях: участие в международных форумах, конференциях, семинарах, выставках, в работе международных организаций; сотрудничество с международными организациями и т.д.

Щербаков С.А. «БЕРЕСТЯНЫЕ» ЭПИТЕТЫ НИКОЛАЯ КЛЮЕВА.

В статье на примере эпитета «берестяной» рассматривается семантика и художественные функции постоянных в творчестве Николая Клюева эпитетов, связанных с различными породами деревьев.

Щербаков С.А. «ДЕРЕВО» КАК МОДЕЛЬ МИРА.

В данной статье восприятие «дерева» как модели мира рассматривается через призму «картин мира» различных народов. Автором предложен концептуальный подход к символическому пониманию образа дерева, описаны его роль и влияние на формирование и развитие общечеловеческой культуры.

Туфанова О.А. МОТИВ ОГНЯ В ТВОРЧЕСТВЕ ПРОТОПОПА АВВАКУМА.

В данной статье отражены трагические представления протопопа Аввакума о современной ему эпохе, данные через призму символики огня. Автором статьи выявлены главные семантические группы, обозначающие мотив огня, являющийся одним из основных в творчестве Аввакума.