

**ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА**

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК

Научно-информационный журнал

2004 г. № 1(32)

Координационный совет журнала

Главный редактор
Зам. главного редактора

А.Н. ОБЛИВИН
В.Д. НИКИШОВ

Члены совета

Н.И. КОЖУХОВ
О.Н. НОВОСЕЛОВ
А.К. РЕДЬКИН
Е.И. МАЙОРОВА
О.А. ХАРИН
В.С. ШАЛАЕВ
А.С. ЩЕРБАКОВ
С.Н. РЫКУНИН

Ответственный секретарь

Е.А. РАСЕВА



Номер подготовили:

Ответственный секретарь
Редактор
Набор и верстка

Е.А. ПАСЕВА
Л.В. АРХАРОВА
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, 2003

Лицензия ЛР № 020718 от 02.02.1998.

Лицензия ПД № 00326 от 14.02.2000.

Подписано к печати .03.2004.
Объем 23,25 п. л.

Тираж 300 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

| | | |
|---|---|----|
| Царалунга В.В., Гарнага В.В. | <i>Радиальный прирост деревьев дуба различных категорий состояния</i> | 5 |
| Царалунга В.В. | <i>Особенности санитарных рубок в дубравах</i> | 10 |
| Цай Ю.Т., Стельмахович С.В., Косов И.В. | <i>Обзор исследований опасных и вредных факторов лесного пожара</i> | 14 |
| Живайкина Н.В. | <i>Фенологические наблюдения за провениенциями ели в Верхне – Клязьминском лесничестве Солнечногорского лесхоза</i> | 24 |
| Федотов Г.Н. | <i>К вопросу о природе нерастворяющегося объема почв</i> | 31 |

Охотоведение

| | | |
|---------------|---|----|
| Харченко Н.Н. | <i>Продолжительность жизни норных зверей в условиях Лесополья Среднего Подонья</i> | 36 |
| | <i>Суточная активность норных зверей Среднего Подонья</i> | 37 |
| | <i>Сезонная активность норных зверей Среднего Подонья</i> | 39 |
| | <i>Особенности сезонных миграций и расселения норных зверей в условиях Лесополья Среднего Подонья</i> | 41 |
| | <i>Конкурентные отношения Европейской и Американской норок на Среднем Подонье</i> | 42 |

Экономика

| | | |
|-----------------------------|---|----|
| Бурдин Н.А., Пешков В.В. | <i>Применение клееных конструкционных изделий из древесины в деревянном домостроении за рубежом</i> | 45 |
| Меньшикова М.А. | <i>Эффективность управления затратами предприятий лесного сектора</i> | 52 |
| Фролов С.В. | <i>Разработка стратегии предприятия лесного сектора</i> | 58 |

Лесоинженерное дело

| | | |
|------------------------------|--|----|
| Коршун В.Н., Кокотов Д.Г. | <i>Моделирование взаимодействия рабочих органов лесных машин с опорной поверхностью</i> | 63 |
| Ширнин Ю.А., Онучин Е.М. | <i>Кинематика движения модульной лесной машины</i> | 69 |
| Савельев В.В. | <i>Математическая модель определения осевых нагрузок лесовозных автопоездов</i> | 74 |
| Герц Э.Ф. | <i>Математическая модель выбора маршрута перемещения лесозаготовительных машин</i> | 78 |
| Герц Э.Ф. | <i>Теоретические основы расчета многослойного хворостяного настила для укрепления волока</i> | 82 |

Химические технологии

| | | |
|--|---|-----|
| Тарасов С.М., Азаров В.И., Ковернинский И.Н. | <i>Роль новых химических вспомогательных средств в современной технологии бумаги и картона</i> | 87 |
| Запруднов В.И. | <i>Прочность и деформативность древесно-цементного композита с минеральным наполнителем</i> | 92 |
| Федотов Г.Н. | <i>Образование коллоидных частиц как обязательная стадия фазовых превращений веществ</i> | 98 |
| Глазков С.С., Мурзин В.С., Снычева Е.В. | <i>Поверхностные явления и роль латексных систем в процессах отверждения карбамидоформальдегидных смол</i> | 101 |
| Гелес И.С. | <i>Новые возможности получения катионитов из лигносульфонатов (на примере бисульфитных щелоков ОАО «Кондопога»)</i> | 105 |

Математическое моделирование

| | | |
|--|--|-----|
| Домрачев В.Г., Ретинская И.В., Курникова М.П., Нешта Е.П. | <i>Метод выбора средств разработки курсов для дистанционного обучения на основе анализа системы характеристик качества</i> | 111 |
| Полещук О.М. | <i>Применение семантических пространств для экспертного оценивания характеристик качества программных средств и нечеткого многокритериального выбора</i> | 120 |
| Полещук О.М. | <i>О библиотеке программ «Fuzzy Expert», разработанной для обработки нечеткой экспертной информации</i> | 126 |
| Никонов В.Г., Никонов Н.В. | <i>О проблемах локальной разрешимости и совместности систем k-значных уравнений сдвигового типа</i> | 137 |
| Домрачев В.Г., Рыбников К.К. | <i>Оценки мощности множества входных величин, формирующих область определения функции активации искусственного нейрона</i> | 142 |
| Анашкина Н.В. | <i>Обзор методов решения систем линейных неравенств</i> | 144 |
| Ролдугин П.В. | <i>Упрощение гамильтоновых графов</i> | 148 |
| Ролдугин П.В. | <i>Полиномиальные представления простых компьютерных функций</i> | 152 |
| Нетыкшо В.Б. | <i>Переоценка вероятностей для пороговых функций k-значной логики</i> | 155 |
| Саранцев А.В. | <i>Построение регулярных систем однотипных двоичных функций с использованием регистра сдвига</i> | 164 |
| Мельников С.Ю. | <i>О переработке конечными автоматами Чезаровских последовательностей</i> | 169 |

РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ ДУБА РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ СОСТОЯНИЯ

В.В. ЦАРАЛУНГА, доц. ВГЛТА, канд. биол. наук,
В.В. ГАРНАГА, доц. ВГЛТА, канд. с.-х. наук

В основе всех видов выборочных рубок лежит отбор (выбраковка) части древостоя по тем или иным признакам. К примеру, при рубках ухода это, как правило, отбор и вырубка деревьев с пониженной энергией роста (низовой метод), а при санитарных рубках деревьев с определенными патологическими признаками. В то же время считается, что деревья, имеющие признаки существенной патологии, столь же существенно отстают в росте и развитии. Однако исследований, подтверждающих этот тезис и тем более определяющих, на сколько замедляет рост дерева та или иная патология – нам неизвестно. Исходя из этого, мы задались целью в рамках госбюджетной тематики по мониторингу лесопатологического состояния порослевых дубрав Центрального Черноземья, провести исследования динамики радиального прироста деревьев дуба в зависимости от их категории состояния. Основными задачами данных исследований ставилось – выяснить уровень градации по приросту у деревьев различного состояния и определить, насколько объективно с позиции физиологического состояния дерева выделены соответствующие категории по габитуальным патологическим признакам.

Базой для исследований послужили приспевающие древостои порослевого дуба на постоянных пробных площадях в Правобережном лесничестве учебно-опытного лесхоза ВГЛТА

Состояние обследуемых деревьев оценивалось по классификации, разработанной на кафедре защиты леса ВГЛТА непосредственно для дубрав, с выделением четырех категорий состояния [2; 4]:

I – жизнеспособные деревья;

II – ограниченно жизнеспособные деревья;

III – нежизнеспособные деревья;

IV – лесной отпад.

Ход роста деревьев исследовался по модельным деревьям, взятым в процессе выборочных санитарных рубок, методом дендрохронологического анализа [1; 3]. Кроме того, у деревьев I категории было взято 33 керна на высоте 1,3 м от шейки корня с западной стороны. Ширину годовых колец измеряли от периферии к центру с помощью микроскопа МБС – 1, снабженного окуляромикрометрической шкалой с точностью до 0,05 мм. Измерялась как общая ширина годового кольца, так и ширина поздней зоны. Для каждой категории определялась средняя величина годового кольца. Для приведения дендрохронологических данных к сопоставимому виду применялся метод модульных или относительных коэффициентов с трех- и пятилетним периодом сглаживания. Средние абсолютные значения ширины годовых колец (поздней и ранней зоны), сглаженные значения и относительные индексы сводились в таблицы. Затем вычислялись коэффициенты корреляции, и строилась корреляционная матрица между величинами индексов прироста каждой категории состояния и такими факторами, как температура, осадки, колебания солнечной активности, дефолиация крон насекомыми. По самым тесным корреляционным связям строили регрессивные уравнения. Для каждого вида регрессии вычисляли остаточную дисперсию. Регрессивное уравнение с наименьшей остаточной дисперсией рассматривалось как модельное.

Обработка материала проводилась на персональном компьютере с использованием стандартных программ *Statgraf* и *Excel*.

Особенностью прироста у деревьев нагорных дубрав является его постепенное снижение с возрастом, сопровождающееся резкими спадами после инвазии насекомых или сильных засух. Увеличение отпада деревьев дуба (IV категория состояния) и пики накопления условно больных деревьев (III + IV) после проведения экспериментальной выборочной санитарной рубки в 1981 году приходится на годы резкого снижения радиального прироста как вследствие климатических флуктуаций, так и вследствие вспышек численности листогрызущих насекомых. Поэтому наблюдается такая синхронность пиков подъема и спада их численности на всех ППП и в том числе на контрольном участке из-за сильной ослабленности древостоя. Но так как лесная система обладает определенным запасом устойчивости и кумулятивными свойствами, то эти отклонения могут проявляться и необязательно в год изменения прироста, а спустя один, два года. Вследствие того, что порослевая дубрава сильно ослаблена, большого временного разрыва между этими процессами не наблюдается.

Сильная дефолиация крон дуба насекомыми приводит дерево и древостой в целом в неустойчивое положение, что заставляет систему обратной отрицательной связью нейтрализовать негативное воздействие и пытаться возратить ее в устойчивое положение (принцип Ле-Шателье).

Анализируя динамику радиального прироста всего кольца (ВК), а также поздней зоны (ГО) и ранней зоны (РЗ) видим, что наибольшей ответной реакцией на изменение климата, дефолиацию обладают деревья I категории состояния. Они характеризуются и наибольшими потерями прироста по сравнению с деревьями других категорий, что и закономерно, так как деревья этой категории являются наиболее конкурентоспособными и, следовательно, наиболее устойчивым звеном древостоя, что проявляется в незамедлительной ответной реакции на любое изме-

нение. Деревья II и, особенно, III категории состояния на такие изменения могут отреагировать очень слабо, что на приросте может и не сказаться, так как особи дуба находятся на границе своей устойчивости, за пределами которой их ждет гибель, поэтому и ответная реакция у них слабая и возможности маневра ограничены. Таким образом, чем ниже жизнестойкость дерева и древостоя, тем меньше ответная реакция его на внешние изменения, то есть принцип Ле-Шателье не срабатывает, что указывает на утрату системой функции саморегуляции.

Наиболее плавно прирост изменяется у ВК для всех категорий деревьев. У поздней зоны флуктуации в изменении радиального прироста увеличиваются, что объясняется в большей степени колебаниями климата, в первую очередь факторов, находящихся в минимуме. Ранняя зона прироста отличается наибольшими колебаниями. Это связано со вспышками численности листогрызущих насекомых, которые действуют в период развития РЗ. Ранняя древесина отличается малой пространственной и временной изменчивостью, ее развитие мало зависит от погодных условий года формирования. Отметим то, что за рассматриваемый период средняя степень дефолиации крон составила около 60 %, тем не менее, насаждение сохраняло при этом устойчивость. Отсюда можно сделать вывод, что раннее объедание крон листогрызущими насекомыми не приводит к резкому снижению прироста. Он снижается, если этот процесс наблюдается на протяжении 2–3 лет подряд, так как РЗ формируется за счет запаса пластических веществ предшествующего года.

Проведенный корреляционный анализ индексов прироста ВК, ПЗ и РЗ с 64 метеофакторами и комплексными показателями позволил определить те из них, которые имеют наиболее тесную связь с приростом и построить уравнения регрессии. Для каждой группы деревьев по этим уравнениям можно вычислить средний радиальный прирост через погодные условия интересующего года (таблица).

Статистические параметры основных зависимостей радиального прироста дуба от внешних факторов и состояния дерева

| Категория состояния деревьев | Зависимый фактор | Определяющий фактор | Коэфф. регрессии | Коэфф. детерминации | Степень влияния фактора, % |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------|---------------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| I | Индекс прироста всего кольца (iw I) | $T1_n$ | -1,43 | 0,991 | 72,6 |
| | | $O10_n$ | -0,002 | | 14,9 |
| | | $So 117_{n-2}$ | -0,08 | | 5,6 |
| | | $o 11_{n-1}$ | -0,11 | | 1,9 |
| | | $t3_{n-2}$ | -0,55 | | 1,3 |
| | | K_{n-2} | +15,9 | | 1,2 |
| II | Индекс прироста всего кольца (iw II) | tg_n | +4,60 | 0,0985 | 0,5 |
| | | $K4_n$ | +7,52 | | 96,9 |
| | | $So 117_{n-2}$ | -0,11 | | 0,3 |
| | | k_{n-2} | +31,7 | | 0,3 |
| | | $t 3_{n-1}$ | -0,50 | | 0,3 |
| | | $o 5_n$ | +0,08 | | 0,2 |
| III | Индекс прироста всего кольца (iw III) | $o 11_{n-1}$ | -0,1 | 0,990 | 0,16 |
| | | $o 10_n$ | -0,02 | | 0,1 |
| | | K_n | +9,59 | | 97,2 |
| | | $o 5_{n-1}$ | +0,17 | | 0,57 |
| I | Индекс прироста поздней зоны (ip I) | $t 4_{n-1}$ | +1,49 | 0,988 | 0,48 |
| | | $o 5_n$ | +0,08 | | 0,20 |
| | | k_{n-2} | +22,2 | | 0,16 |
| | | $T 3_n$ | -0,65 | | 43,7 |
| II | Индекс прироста поздней зоны (ip II) | $t 1_n$ | -1,64 | 0,985 | 30,3 |
| | | $o 10_n$ | -0,04 | | 14,3 |
| | | Tg_n | +4,07 | | 9,9 |
| | | k_{n-1} | +11,2 | | 0,5 |
| | | k_{n-2} | +20,6 | | 0,2 |
| | | $T 3_n$ | -0,88 | | 43,4 |
| III | Индекс прироста поздней зоны (ip III) | $o 5_n$ | +0,11 | 0,985 | 35,4 |
| | | k_n | -0,26 | | 18,0 |
| | | $so 117_{n-2}$ | -0,05 | | 0,8 |
| | | $k 5_{n-1}$ | +31,3 | | 0,4 |
| | | $t3_{n-1}$ | -0,41 | | 0,2 |
| I | Индекс прироста ранней зоны (ir I) | K_n | +6,07 | 0,992 | 96,9 |
| | | K_{n-1} | +31,2 | | 1,0 |
| | | $t 3_{n-1}$ | -1,01 | | 0,4 |
| | | $o 5_{n-1}$ | +0,24 | | 0,3 |
| | | $o 5_n$ | +0,07 | | 0,2 |
| II | Индекс прироста ранней зоны (ir II) | $T1_n$ | -0,47 | 0,990 | 70,4 |
| | | $So 104_n$ | -0,008 | | 22,8 |
| | | $Gtk 69_n$ | +876,3 | | 2,6 |
| | | k_{n-1} | +18,40 | | 1,3 |
| | | $t 4_n$ | +0,30 | | 0,9 |
| | | k_{n-2} | +7,74 | | 0,5 |
| I | Индекс прироста ранней зоны (ir II) | K_n | +6,77 | 0,992 | 96,5 |
| | | K_{n-1} | +33,3 | | 0,8 |
| | | $so 117_n$ | -0,11 | | 0,5 |
| | | og_n | +0,04 | | 0,4 |
| | | $o 5_{n-2}$ | +0,23 | | 0,3 |

Продолжение таблицы

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------|--------------------------------------|---|--|-------|--|
| III | Индекс прироста ранней зоны (ir III) | k_n k_{n-1} og_n $t_{3_{n-1}}$ k_{n-2} | -1,42 +27,4 +0,07 -0,73 +28,6 | 0,991 | 97,1 0,6 0,5 0,1 0,1 |
| Для всех категорий | Дефолиация кроны (D) | Constant t_{3_n} $o_{8_{n-2}}$ o_{3_n} $so_{78_{n1}}$ o_{1_n} t_{2_n} | -36,1 -3,9 +0,43 +0,34 +0,29 +0,09 -1,26 | 0,877 | 14,8 10,0 6,7 6,3 4,7 2,4 |
| I | Индекс прироста (iw I) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,63 +0,05 +0,66 | 0,861 | 79,3 3,7 3,1 |
| II | Индекс прироста (iw II) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,63 -0,02 +0,73 | 0,870 | 79,5 3,8 3,8 |
| III | Индекс прироста (iwIII) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,67 -0,09 +0,76 | 0,870 | 79,5 3,4 4,1 |
| I | Индекс прироста (ip I) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,60 +0,065 +0,67 | 0,855 | 78,3 4,0 3,2 |
| II | Индекс прироста (ip II) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,56 +0,07 +0,71 | 0,812 | 78,1 4,5 3,6 |
| III | Индекс прироста (ip III) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,67 -0,12 +0,80 | 0,712 | 66,0 2,0 3,0 |
| I | Индекс прироста (ir I) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,69 +0,01 +0,64 | 0,866 | 80,5 3,1 2,9 |
| II | Индекс прироста (ir II) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,74 -0,15 +0,76 | 0,872 | 80,4 2,8 4,0 |
| III | Индекс прироста (ir III) | D_b D_{n-1} D_{n-2} | +0,67 -0,03 +0,71 | 0,865 | 79,6 3,4 3,5 |

Примечание: t – температура; o – осадки; so – сумма осадков; tg – температура годовая; og – осадки годовые; gtk – ГТК; k – комплексный показатель $((\sum t(V-VI)/A)+(\sum o(VI-VIII)/B)+(\sum o(XI-III)/C))$, где A, B, C – средние многолетние значения величин в числителе); D – дефолиация; 1_n – месяц текущего года, 78_{n-1} – месяцы предыдущего года.

Сравнивая коэффициент корреляции и корреляционное отношение, приходим к выводу, что связь между приростом и метеорологическими факторами – нелинейная. На прирост всего кольца для нагорных порослевых дубрав наибольшее влияние оказывают такие метеофакторы, как осадки за ноябрь – июль, за вегетационный период (май – сентябрь), на прирост ранней зоны – осадки мая, июня, июля, августа предшествующего вегетационного периода. Прирост поздней зоны наиболее тесно коррелирует с количеством осадков вегетационного периода этого года за июнь, июль, август, с осадками мая – связь отрицательная. Причем, существует тесная зависимость прироста ранней зоны года формирования с приростом поздней зоны предшествующего года.

Таким образом, можно заключить, что по динамике радиального прироста деревьев I, II и III категорий состояния полностью подтверждается правомерность методики выделения этих групп деревьев. Причем, категория состояния одновременно выступает и как косвенный показатель конкурентоспособности дерева.

Инвазии листогрызущих насекомых также приводят к снижению радиального прироста, особенно, если они повторяются 2–3 сезона подряд. Большая изменчивость радиального прироста РЗ, на период формирования которой приходится кульминация развития весеннего комплекса листогрызущих, по сравнению с ПЗ, является тому ярким подтверждением. Однако отметим, что раннее объедание листвы дуба черешчатого не влечет за собой резкого снижения прироста РЗ и ВК, даже если сопровождается уничтожением 50 % ассимиляционного аппарата дерева.

Наибольшие потери прироста как от климатических факторов, так и действия листогрызущих насекомых имеют деревья дуба наиболее жизнестойкие и конкурентоспособные (I категория состояния), что и проявляется активным ходом процессов их дифференциации и перехода в другие категории.

Пики отпада дуба, а также накопления условно больных деревьев совпадают с

периодами резкого снижения радиального прироста, причем временный разрыв между снижением прироста и отпадом деревьев в большинстве случаев отсутствует из-за сильной ослабленности дубового древостоя.

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. На общий прирост порослевого дуба наибольшее влияние оказывает количество выпавших осадков за вегетационный период. Причем, на прирост ранней древесины наибольшее влияние оказывает количество осадков за предыдущий вегетационный период, а прирост поздней древесины наиболее тесно коррелирует с интенсивностью осадков в июне – августе текущего вегетационного периода.

2. Прирост деревьев дуба различных категорий состояния достоверно различен, соответственно, выделенные категории состояния по внешним патологическим признакам имеют объективную связь как с продуктивностью дерева, так и с его конкурентоспособностью.

3. Наибольшая амплитуда колебаний прироста наблюдается у жизнеспособных деревьев, что, на наш взгляд, свидетельствует не столько о их способности быстро наращивать биомассу, сколько о свойстве сравнительно безболезненно отдавать весеннюю листву для ее быстрой минерализации листогрызущими насекомыми и таким образом содействовать ускорению реабилитации лесного биоценоза.

Список литературы

1. Битвинкас Т.Т. Дендрохронологические исследования / Т.Т. Битвинкас. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 172 с.
2. Гарнага В.В. Экологическое обоснование выборочных санитарных рубок в порослевых дубравах Центральной лесостепи: Автореф. дис... канд. биол. наук. – Воронеж, 1997. – 21 с.
3. Матвеев С.М. Методика дендрохронологического анализа: Учеб. пособие. – Воронеж: ВГЛТА, 1999. – 31 с.
4. Харченко Н.А., Царалунга В.В. Роль зеленой дубовой листовертки в процессе отмирания воронежских дубрав // Экология и защита леса. – Л.: ЛОТА, 1983. – С. 39–42.

ОСОБЕННОСТИ САНИТАРНЫХ РУБОК В ДУБРАВАХ

В.В. ЦАРАЛУНГА, доц. ВГЛТА, канд. биол. наук

Несмотря на то, что отечественное лесное хозяйство теоретически основано на фундаментальных законах биогеоценологии, долговременная практика показывает, что при выращивании насаждений основным приоритетом для лесоводов остается получение большего объема качественной древесины, а не сохранение и восстановление долговечных, саморегулирующихся лесных экосистем, полноценно выполняющих биосферные функции. Объективное проникновение в последние годы экологического мировоззрения в практику лесной отрасли вступает в жесткое противоречие с возрастающим спросом на древесину, что усугубляется также издержками «нецивилизованного» отечественного рынка. В таких условиях, как никогда, актуально, на наш взгляд, оперативное внедрение в лесное хозяйство научно обоснованных, экологизирующих отрасль методов.

В качестве примера такого явного несоответствия уровня используемых на практике технологий уровню современных экологических требований в природопользовании могут служить выборочные санитарные рубки.

Санитарные рубки, сами по себе, уникальный лесохозяйственный прием. Кроме того, что они имеют достаточно выраженную национальную специфику и крайне неопределенный лесохозяйственный статус, многолетний отечественный опыт их проведения показал, что в большинстве случаев они приводят к результатам прямо противоположным первоначальным целям, ради которых вводился этот вид рубок [3;15]. Несмотря на это, интенсивность санитарных рубок, особенно в лесах первой группы, неуклонно растет [14]. Самая же острая, давно перезревшая проблема, связанная с санитарными рубками – это их повсеместное и регулярное применение в дубравах.

Дубравы, в силу ряда еще до конца не определенных причин, последние 100 лет интенсивно отмирают [1; 5; 10; 14; 16 и мн. др.]. Вторая, так называемая «волна массового отмирания» дуба, в 30-х годах прошлого столетия и породила такой вид экстренного ухода за лесом, как санитарная рубка [9; 11]. До этого сухостой вырубался в процессе периодических рубок ухода, а ветровал, бурелом, снеголом, горельники, короедники, шелкопрядники и другие скопления фауночного древостоя убирались по мере надобности и назывались просто в соответствии с патологией, вызвавшей ускоренное отмирание [8; 17]. В дубравах еще в начале XX века было отмечено большое накопление сухостоя, который отдельно и целенаправленно выбирали. Некоторые авторы, на этом основании, такие рубки, задним числом, стали называть санитарными. Так, Енькова Е.И. [4] приводит данные по «санитарным рубкам» в Теллермановской дубраве с 1902 года, хотя это была фактически интенсивная приисковая выборка сухостоя, преследовавшая цель промежуточного лесопользования и попутной очистки от захламленности, а не санитарная рубка, и санитарной она не называлась. Однако в результате такие рубки к концу 30-х годов XX столетия привели к «узакониванию» сравнительно частых приходов в лес с рубкой, не связанной с формированием насаждений, а вызванной ослабленным состоянием значительной части древостоя. Введенный вид рубок по состоянию давал лесоводам право оперативно вырубать не только мертвые деревья, но и явно отмирающие деревья, предотвращая в определенной степени массовое размножение энтомовредителей и фитоболезней. Тогда, 60 лет назад, это был оправданный и прогрессивный шаг. За прошедший период ситуация с состоянием лесов вообще и дубрав особенно сильно изменилась, и не в лучшую сторону.

Санитарные рубки стали своеобразным индикатором этих изменений. Масштабность, частота и интенсивность санитарных рубок за означенный период существенно выросли [5; 6; 14], но их параметры и критерии практически не изменились. За прошедшее время не были убраны «родимые пятна» тех видов рубок, которые легли в основу санитарных. Это и приоритет запаса сухостоя при их назначении, а не запаса отмирающих деревьев, это и фактическая возможность получить дополнительную ликвидную древесину в ущерб устойчивости насаждений, это и субъективный подход при отборе деревьев в санитарную рубку, основанный на расплывчатых, устаревших классификациях деревьев по состоянию при полном отсутствии на производстве инструментария для диагностики жизнеспособности деревьев. Кроме этого, назрела потребность в дифференциации санитарных рубок по типам условий местопроизрастания, по группам и категориям лесов. Требуется более детальная привязка к конкретным таксационным показателям насаждений, в которых они планируются. Основной же причиной, определяющей необходимость срочной ревизии принципов, методик и технологий санитарных рубок, является интенсификация процесса экологизации средоизменяющей деятельности человека, стимулируемая элементарным чувством самосохранения.

В дубравах эти проблемы наиболее наглядны, поскольку в отличие от хвойных лесов, в силу ряда и объективных, и субъективных причин, удельный вес санитарных рубок в дубравах значительно больше, чем в других насаждениях.

Это можно иллюстрировать сравнительными территориально – временными данными об объемах рубок ухода и выборочных санитарных рубок в России за последние 40 лет (таблица). Так, по всей России санитарные рубки в среднем от всех рубок ухода составляют порядка 31,67 % (от 21,57 % в 1996–2000 гг. до 47,47 % в 1961–1965 гг.), в ЦЧР – 31,55 % (от 24,85 % в

1991–1995 гг. до 36,26 % в 1976–1980 гг.), в Воронежской области – 30,28 % (от 28,10 в 1986–1990 гг. до 49,34 в 1996–2000).

В тех лесхозах, где насаждения представлены в основном порослевыми дубравами VI-XII класса возраста, санитарные рубки становятся наиболее распространенным лесохозяйственным мероприятием и основным видом промежуточного лесопользования. По проценту выхода ликвидной древесины санитарные рубки в дубравах уступают лидерство только проходным рубкам. Ярким примером этого может служить пригородный учебно-опытный лесхоз ВГЛТА, где санитарные рубки дают до 95 % всей ликвидной дубовой древесины, получаемой лесхозом.

Как видно из таблицы, по объему выбираемой древесины при проведении санитарных рубок в целом по России максимум приходится на середину 70-х годов, когда за 5 лет было вырублено 121101 тыс м³ против 34733 тыс. м³ в начале 60-х годов. По Воронежскому управлению с 1961 по 1970 гг. санитарными рубками пройдено 78 тыс. га с выборкой запаса 650 тыс. м³, в 70-х годах соответственно 101 тыс. га и 1416 тыс. м³, в 80-е годы – 85 тыс. га и 1624 тыс. м³.

В 90-х годах произошло сокращение площадей санитарных рубок по сравнению с предыдущим десятилетием на 36 %, но увеличилась их интенсивность, так как выбираемая масса сократилась только на 29 %. В целом в Воронежских дубравах интенсивность санитарных рубок в сравниваемый период увеличилась с 6,5 до 21,0 м³/га. Трехкратное увеличение средней интенсивности санитарных рубок за 40 лет весьма показательно и указывает с одной стороны на усугубление ситуации с состоянием дубрав, а с другой – на востребованность такого лесохозяйственного мероприятия, как санитарная рубка.

Примечательно также, что в последнее десятилетие наблюдается двух – трехкратный переруб лесосеки по санитарным рубкам, в то время как общий план по рубкам ухода не выполняется на всех уровнях.

Площади и объемы рубок ухода (РУ) и выборочных санитарных рубок (ВСР)

| Годы | Всего РУ, включая ВСР | | Только ВСР | |
|---------------------------------------|-----------------------|--|----------------------------|--|
| | площадь, тыс. га | объем ликвид. др., тыс. м ³ | площадь, тыс. га / % от РУ | объем ликвид. др., тыс. м ³ / % от РУ |
| Россия | | | | |
| 1961 – 65 | 8241 | 79666 | 3912 / 47,47 | 34733 / 43,60 |
| 1966 – 70 | 10256 | 108620 | 3849 / 37,53 | 40053 / 36,87 |
| 1971 – 75 | 11472 | 147330 | 4059/35,38 | 51729 / 35,11 |
| 1976 – 80 | 12121 | 193614 | 3612 / 29,80 | 121101 / 62,55 |
| 1981 – 85 | 12137 | 165915 | 3292 / 27,12 | 102973 / 62,06 |
| 1986 – 90 | 12011 | 158324 | 3439 / 28,63 | 93548 / 59,08 |
| 1991 – 95 | 8918 | 95292 | 2290 / 23,09 | 43052 / 32,88 |
| 1996 – 2000 | 6387 | 81327 | 1378 / 21,57 | 28524 / 29,97 |
| Итого | 81543 | 1030088 | 25831 / 31,67 | 515713 / 50,06 |
| Центрально – Черноземный район | | | | |
| 1961 – 65 | 363 | 2949 | 103 / 28,37 | 531 / 18,01 |
| 1966 – 70 | 392 | 3349 | 118 / 30,10 | 811 / 24,22 |
| 1971 – 75 | 413 | 4218 | 139 / 33,66 | 1502 / 35,61 |
| 1976 – 80 | 386 | 4109 | 140 / 36,27 | 1893 / 46,07 |
| 1981 – 85 | 380 | 4145 | 127 / 33,42 | 1677 / 40,46 |
| 1986 – 90 | 369 | 4021 | 122 / 33,06 | 2017 / 50,16 |
| 1991 – 95 | 326 | 3762 | 81 / 24,85 | 1685 / 44,79 |
| 1996 – 2000 | 214 | 2887 | 67 / 31,31 | 1440 / 49,88 |
| Итого | 2843 | 29040 | 897 / 31,55 | 11756 / 40,48 |
| Воронежская область | | | | |
| 1961 – 65 | 121,3 | 1033 | 35,8 / 29,51 | 272 / 26,32 |
| 1966 – 70 | 127,7 | 1216 | 42,1 / 32,97 | 379 / 31,18 |
| 1971 – 75 | 142,7 | 1548 | 50,1 / 35,11 | 659 / 42,56 |
| 1976 – 80 | 126,4 | 1476 | 50,5 / 39,95 | 757 / 51,27 |
| 1981 – 85 | 113,7 | 1708 | 35,0 / 30,78 | 611 / 35,77 |
| 1986 – 90 | 107,1 | 1690 | 30,1 / 28,10 | 536 / 31,72 |
| 1991 – 95 | 72,5 | 1245 | 23,8 / 32,83 | 438 / 35,18 |
| 1996 – 2000 | 45,2 | 855 | 22,3 / 49,34 | 479 / 56,02 |
| Итого | 956,6 | 10771 | 289,7 / 30,28 | 4131 / 38,35 |

Исходя из этого логично, в первую очередь, заняться оптимизацией санитарных рубок именно в дубравах.

В чем же специфика дубравных ценозов с точки зрения их реакции на антропогенное вмешательство в виде санитарной рубки?

1. Дубравы в основной своей массе существенно расстроены, имеют слабую восстановительную способность и соответственно отличаются повышенной чувствительностью к воздействию внешних факторов, в том числе и лесохозяйственных мероприятий.

2. Одним из основополагающих аргументов для проведения санитарной рубки

считается предотвращение возникновения или распространения очагов стволовых вредителей [13]. Для хвойных насаждений это актуально. В борах и ельниках ксилофаги нередко становятся лимитирующим фактором, приводящим к массовой гибели древостоев. В дубняках комплекс стволовых вредителей намного скромнее и большинство их поселяются на агонизирующих или мертвых деревьях и не являются не только причиной, но даже фактором, вызывающим непосредственную гибель дерева [2]. Следовательно, санитарные рубки в дубравах не могут рассматриваться как превентивная мера против распространения стволовых вредителей.

3. Дубравы отличаются и низкой горимостью. Это если не исключает, то на много снижает хозяйственную необходимость регулярной уборки из насаждений сучостоя и лесного опада, тем более, что экологически такой прием бесспорно не оправдан.

Есть и другие отличия дубрав (фатальная патогенность для дуба некоторых листогрызущих насекомых и фитоболезней, долговечность дуба как породы, его способность к порослевому возобновлению, особенность сукцессионных процессов и т.д.), требующие специального подхода при планировании и проведении санитарных рубок.

В каких же направлениях следует модернизировать санитарные рубки», чтобы они, максимально реализуя санитарно-оздоровительные функции, не снижали биологической устойчивости дубрав?

В первую очередь следует исправить абсурдную и губительную для дубрав ситуацию, когда санитарные рубки по периодичности, объему выбираемой древесины и площади лесосек в отдельных массивах и в целых регионах сравнивались с рубками ухода. В отличие от рубок ухода, санитарные рубки не имеют функции формирования насаждения, но из-за высокой частоты и значительных объемов в дубравах они такую функцию фактически выполняют, только абсолютно бессистемно. Для того чтобы поправить ситуацию, для начала достаточно поднять минимальный объем сильно ослабленного древостоя, допускающий проведение выборочной санитарной рубки с 5% (Шаталов, 1997; Калиниченко, 2000 а) до 10 %, Всего двукратное увеличение этого порога приведет в среднем к трехкратному сокращению количества санитарных лесосек. Связано это с определенной зависимостью между площадью лесосеки и интенсивностью выборки. Чем больше площадь лесосеки, — тем выше интенсивность выборки. А поскольку подавляющее большинство лесосек имеют малую площадь 1...7 га (как правило, в пределах одного выдела), то количество лесосек сократится не пропорционально увеличению порогового процента фаутной древесины.

Так, например, в Воронцовском лесхозе Воронежской области (Шилова дубрава) за 10 лет (1991–2000) пройдено выборочными санитарными рубками 464 дубравных участка со средней интенсивностью 17,2 м³/га, или 8,9 %. Если бы санитарная рубка назначалась при запасе фаутной древесины более 10 %, то количество лесосек сократилось бы до 153.

Следующим важным направлением оптимизации санитарных рубок в дубравах является совершенствование методики отбора деревьев в рубку. Лесопатолог и специалист лесного хозяйства, проводящие отвод участка под санитарную рубку, должны четко знать (иметь достаточные и однозначные инструкции): какие внешние патологические признаки, в каких условиях и в какой степени определяют перспективность деревьев дуба. В современных санитарных правилах [13] эти вопросы освещены практически на том же уровне, что и 50 лет назад в руководствах по лесозащите [12]. Исходя из собственного 20-летнего опыта лесопатологических обследований дубрав можем констатировать, что оценка перспективности дерева по ограниченному числу габитуальных признаков ослабленности, предлагаемых санитарными правилами, не только в большой степени страдает субъективностью, но имеет запрограммированную большую погрешность, обусловленную примитивностью используемых методов диагностики дерева. Чтобы эту ситуацию улучшить, необходимо оценку состояния деревьев, во-первых, проводить обязательно по комплексу патологических признаков (то есть один признак не может быть основанием для рубки дерева), а во-вторых, проводить оценку состояния участков, отводимых под санитарную рубку, дважды, — в зимний и в летний период. Первое увеличит точность оценки текущей жизнеспособности, а второе исключит ошибки, связанные с наличием или отсутствием листвы.

Кроме этого, совершенствование санитарных рубок должно идти и по другим направлениям:

– дифференциация их интенсивности и периодичности в зависимости от хозяйственного статуса насаждений, их лесоводственной и таксационной характеристики;

– учет специфики проведения санитарных рубок в очагах и резерватах энтомовредителей и фитоболезней;

– разработка максимально экологичной (щадящей) технологии санитарных рубок.

И, наконец, из всех приведенных рассуждений напрашивается вывод, что для реальной оптимизации санитарных рубок в дубравах не обойтись без отдельной, адаптированной именно для дубрав концепции санитарных рубок и разработанных на ее основе методик и технологий.

Список литературы

1. Верещагин Б.В. Причины усыхания дубрав Молдавии. – Кишинев: Штиинца, 1980. – 156 с.
2. Воронцов А.И. Патология леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 270 с.
3. Гарнага В.В. Экологическое обоснование выборочных санитарных рубок в порослевых дубравах Центральной лесостепи: Автореф. дис... канд. биол. наук. – Воронеж, 1997. – 21 с.
4. Енькова Е.И. Теллермановский лес и его восстановление. – Воронеж: ВГУ, 1976. – 212 с.
5. Ерусалимский В.Ж. Как сохранить дубравы // Лесн. хоз-во. – 2000. – № 5 – С. 13–14.
6. Калиниченко Н.П. Дубравы России. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 536 с.
7. Калиниченко Н.П. Руководство по ведению хозяйства и восстановлению дубрав в равнинных лесах европейской части РФ. – М.: ВНИИЛМ, 2000. – 136 с.
8. Кернь Э.Э. Наставления к уходу за насаждениями. – СПб., 1897. – 43 с.
9. Нестеров Г.И. Больше внимания рубкам ухода // Лесн. хоз-во. – 1939. – № 3. – С. 88–90.
10. Новосельцев В.Д., Бугаев В.А. Дубравы. – М.: Агропромиздат, 1985. – 214 с.
11. Переход В.И. Планирование санитарных рубок в запретных полосах водоохранной зоны // Лесн. хоз-во. – 1939. – № 5. – С. 4–6.
12. Руководящие указания по лесозащите. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1947. – 211 с.
13. Санитарные правила в лесах РФ. – М.: Федеральная служба лесн. хоз-ва России, 1998. – 18 с.
14. Харченко Н.А., Царалунга В.В., Гарнага В.В. Проблема выборочных санитарных рубок в отечественном лесопользовании // Восстановление лесов, ресурсо- и энергосберегающие технологии лесного комплекса. – Воронеж, 2000. – С. 238–241.
15. Царалунга В.В. Повышение биологической устойчивости насаждений против зеленой дубовой листовертки с помощью санитарных рубок: Автореф. дис... канд. биол. наук. – Воронеж, 1985. – 18 с.
16. Шаталов В.Г. Руководство по улучшению состояния и повышению продуктивности дубрав в лесостепной зоне европейской части РФ. – Воронеж: ВГЛТА, 1997. – 68 с.
17. Энциклопедия русского лесн. хоз-ва. Сер. П. – 1903. – Т.1. – 1343с. – 1908. – Т.2. – 1418 с.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Ю.Т. ЦАЙ, *проф. ФГУ «ВНИИПОМлесхоз», акад. МАНЭБ, канд. техн. наук,*
 С.В. СТЕЛЬМАХОВИЧ, *ст. науч. сотр. ФГУ «ВНИИПОМлесхоз»,*
 И.В. КОСОВ, *инженер ФГУ «ВНИИПОМлесхоз»*

В зарубежной литературе опасными и вредными факторами лесного пожара считаются: летучие продукты горения (дым и составляющие его компоненты); пламя и восходящий от него поток газообразных продуктов горения; поток теплового излучения от кромки пожара. В США вредными факторами лесного пожара считаются грун-

товые пыли, поднимаемые ветром после уничтожения огнем напочвенного покрова [1], падение подгоревших сухостойных деревьев, а также скатывание по склону упавших деревьев и крупных камней. Что касается летящих искр и угольков, а также кратковременных прикосновений пламени, то они являются лишь дискомфортным фак-

тором, не представляющим серьезной угрозы для лесного пожарного, одетого в полный комплект спецодежды из огнестойких материалов. Ознакомление с материалами зарубежных исследований опасных факторов лесного пожара показывает, что воздействие их следует рассматривать по отдельности в двух типах ситуаций – рабочей и экстремальной.

Дым лесного пожара – выходящий из зоны горения поток летучих и газообразных продуктов сгорания лесных горючих материалов (ЛГМ). Дым имеет сложный состав, включающий следующие компоненты: двуокись углерода (углекислый газ), водяной пар, дымовые частицы, полиароматические углеводороды, окись углерода (угарный газ), альдегиды, органические кислоты, полунлетучие и летучие органические составы, свободные радикалы, озон, окислы азота и неорганические составляющие дымовых частиц. Дымовые частицы представляют собой твердые и жидкие вещества [2, 3]. Всего же в дыме горящей древесины обнаружено около 200 различных веществ [4]. Состав дыма по видам и соотношению компонентов варьирует в зависимости от вида и состава ЛГМ [3]. Опасные для человека окись углерода и органические компоненты дыма являются продуктами неполного сгорания. Общая закономерность такова: чем большую долю в сгорании ЛГМ занимает беспламенное горение, тем больше процентов содержание продуктов неполного сгорания в дыме, и следовательно, тем токсичней дым для человека. У сухого травяного покрова доля пламенного горения составляет до 90 %, а сгорание таких ЛГМ, как торф, гнилая древесина и нижние влажные слои лесной подстилки, происходит на 90 % за счет беспламенного горения. Таким образом, состав и содержание продуктов неполного сгорания в дыме лесного пожара являются результатом взаимодействия постоянных и переменных факторов. К постоянным факторам относятся: состав комплекса напочвенных ЛГМ (характерный для каждого типа леса), наличие и обилие подлеска и подроста, текущий запас ЛГМ. К переменным факторам – фенологи-

ческая фаза растительности, степень засухи, высота пламени лесного пожара.

Зарубежный опыт изучения дыма профилактических выжиганий в США показал [2], что при сгорании ЛГМ на 10 % в стадии пламенного горения, на 70 % в первичной стадии беспламенного горения и 20 % во вторичном тлении, концентрация СО составляла соответственно 140, 113 и 26 объемных частей на миллион (дымовых частиц – 15740,8391 и 1214 мг/м³). Дым, порождаемый пламенем лесного пожара, сразу уносится силами конвекции на высоту, а дым от беспламенного горения стелется у земли и в большей степени воздействует на лесных пожарных [2]. По мнению зарубежных специалистов, непосредственную угрозу для жизни и самочувствия лесного пожарного представляют следующие компоненты дыма [5]: окись углерода, фракции дымовых частиц, формальдегид, акролеин и бензин.

Углекислый газ (СО₂) является продуктом метаболизма и постоянно присутствует в человеческом организме. Он не обладает токсическим действием и опасен лишь в очень высоких концентрациях. Замер концентраций СО₂ в задымленном воздухе показал, что средние величины концентраций углекислого газа составляют 391–483 объемных частей на миллион (чнм) и максимальные – 588–742 чнм, тогда как принятая в США максимальная допустимая концентрация СО₂ составляет 5000 чнм [6].

Окись углерода – это в свободном состоянии газ без цвета, запаха и вкуса, немного легче воздуха. Она является продуктом неполного сгорания углеродных топлив. СО выделяется в большем количестве при тлении ЛГМ (которое может продолжаться особенно долго в пересохшей подстилке). Максимальное выделение угарного газа происходит сразу после прекращения пламенного горения и поддерживается на высоком уровне в последующие несколько минут. Этот феномен проявляется и при активном тушении кромки пожара [2].

В очень малых количествах СО участвует в обмене веществ человеческого организма (уровень эндогенного карбоксиге-

моглобина в крови человека колеблется в пределах 0,1–1,0 %). Токсическое действие окиси углерода заключается в образовании сильной химической связи с атомами железа в молекулах гемоглобина крови (химическое сродство окиси углерода к гемоглобину в 240 сильнее, чем у кислорода) с образованием карбоксигемоглобина, что снижает перенос кислорода кровью к жизненно важным органам, отчего прежде всего страдают мозг, сердце и дыхательная система. Перенос кислорода затрудняется еще и тем, что в присутствии карбоксигемоглобина затрудняется отщепление кислорода от оксигемоглобина. Окись углерода попадает в организм через легкие, и ее содержание в крови определяется несколькими факторами. Если темпы поглощения и выведения СО организмом равны, оно зависит от концентраций окиси углерода и кислорода во вдыхаемом воздухе. Если данные темпы не равны, содержание СО в крови зависит также от времени пребывания человека в загрязненной атмосфере, вентиляции легких и уже имеющегося в крови количества СО.

Выведена эмпирическая формула, описывающая влияние концентрации СО в воздухе и времени его вдыхания на содержание карбоксигемоглобина в крови в отсутствие физической нагрузки [7]:

$$\log_{10} y = 0,85753 \log_{10} x + 0,62995 \log_{10} t - 2,29519, \quad (1)$$

где y – % карбоксигемоглобина;

x – концентрация окиси углерода, частиц на миллион ;

t – время в минутах.

Интенсивная физическая нагрузка увеличивает потребление кислорода организмом в 20 и более раз. Считается, что для здорового человека нежелательна такая подверженность воздействию окиси углерода, при которой содержание карбоксигемоглобина в крови достигает 5 % дольше, чем на краткий период, хотя этот уровень нередко бывает и выше у жителей крупных городов, работников определенных профессий, и особенно – у курильщиков. При концентрации 33 % еще сохраняется кратковременная (5–

60 минут) работоспособность при легких и средних нагрузках. При концентрациях 40–50 % способность переносить нагрузки утрачивается, и может наступить обморок [8].

Исследователи отмечают, что в целом лесные пожарные подвергаются воздействию угарного газа даже меньше, чем жители крупных городов, однако при тушении пожаров кратковременные пиковые концентрации СО могут превышать безопасный уровень, и суммарное время подверженности им составляет 1–5 % от времени пребывания на пожарах [9]. Пятипроцентный уровень, может быть, достигнут за 3–4 часа пребывания в атмосфере с концентрацией СО – 35 чнм. При нем могут появляться такие симптомы, как нарушение ориентации и чувство усталости [2]. При более высоких концентрациях карбоксигемоглобина в крови проявляются следующие симптомы [3, 10]: пониженная работоспособность; потеря чувства времени; ослабленная бдительность; затруднение в принятии решений; трудность выполнения сложных задач; ухудшение зрения; ухудшение координации движений; головная боль; головокружение; тошнота.

Концентрацию угарного газа измеряют как в количестве объемных частей его на миллион частей воздуха (чнм), так и в миллиграммах на кубический метр воздуха. При температуре воздуха 25 °С переводные соотношения для СО таковы [8]: 1 мг/м³ = 0,873 чнм; 1 чнм = 1,145 мг/м³.

Если во вдыхаемом воздухе концентрация угарного газа составляет 200 чнм, человек через 2–3 часа почувствует слабую головную боль. При концентрации 400 чнм он через 1–2 часа почувствует сильную головную боль и тошноту. Эти симптомы исчезают после нескольких часов пребывания на чистом воздухе (примерно за 4 часа содержание карбоксигемоглобина в крови уменьшается вдвое), но если человек дышит воздухом с большой примесью угарного газа долгое время (или 1–2 часа при концентрации 800 чнм или больше), последствия могут быть еще более вредоносными. Симптомы острого отравления – сильная головная боль, сильное головокружение, рвота, судороги,

затруднение сердечной и дыхательной функций. При концентрации 1600 чнм смерть может наступить через 2 часа [11, 12]. Лесные пожарные, заболевшие ангиной или страдающие сердечно-сосудистыми болезнями, подвергаются большему риску, так же, как и курильщики (у которых уже повышен уровень карбоксигемоглобина).

На лесных пожарах риск получить повышенную дозу угарного газа бывает возле кромки пламени, при большой концентрации дыма (перед фронтом пожара или при атмосферной инверсии), при дотушивании, и в местах, способствующих скоплению дыма (каньонах, ущельях, балках, долинах, седловинах и перевалах) [11]. Смертельно опасные концентрации угарного газа могут возникать в замкнутых пространствах, но весьма маловероятны на открытой местности, в т.ч. в зоне действия лесного пожара [3, 13]. При тех концентрациях СО в воздухе, которые обнаруживались в зоне проведения профилактических выжиганий в США в начале 90-х годов, у лесных пожарных отмечались симптомы, по тяжести варьирующие от слегка сниженной работоспособности и ухудшения ясности восприятия до острой тошноты и сильной головной боли [14].

За рубежом был проведен ряд исследований подверженности лесных пожарных воздействию окиси углерода и других компонентов дыма. Так, при замерах во время тушения пожаров в австралийском буше (продолжавшегося от 37 до 187 минут) средняя концентрация СО в воздухе в непосредственной близости от пожарного составила 17 чнм, а пиковые концентрации составляли 40–50 чнм. Содержание карбоксигемоглобина в крови возрастало в среднем на 0,7 % в час. Его расчетное содержание к концу работы, в пересчете на 8-часовую рабочую смену, составляло в среднем 3 % (максимум 7 %) у некурящих пожарных, и в среднем 5 % (максимум 11 %) у курящих. У некурящих оно было после тушения пожара ниже, чем у курильщиков до тушения. Авторы исследования сочли такие уровни СО не представляющими значительной угрозы здоровью и работоспособности [15].

Замеры на торфяных и гумусовых пожарах с подветренной стороны в американском штате Северная Каролина показали пиковые концентрации 500 чнм и средние – 75 чнм, при том, что в США безопасная предельная концентрация для 8-часового рабочего дня составляет по разным рекомендациям 25–50 чнм, а предельно допустимая пиковая (продолжительностью не больше 1 минуты) – 200 чнм [6, 16]. Замеры в течение 3-х сезонов на тушении начинающих лесных пожаров в штате Калифорния показали среднюю концентрацию СО – 42 чнм при среднем ежедневном времени работы на кромке пожара 55 минут, что в пересчете на 8-часовой рабочий день давало среднюю концентрацию ниже рекомендуемой безопасной (25 чнм) в подавляющем большинстве случаев; наивысшая пиковая концентрация (средняя за 60 секунд) составила 703 чнм [12].

В США группа исследователей под руководством Тимоти Рейнхардта в 1991–1995 годах провела всесторонние исследования подверженности людей воздействию главных компонентов дыма (в т.ч. примеси поднятых ветром грунтовых частиц кремнезема) при работе на лесных пожарах и профилактических палах в северо-западных штатах [6, 13]. Рассматривались следующие типы концентраций вредных веществ в воздухе, вдыхаемом лесными пожарными: средневзвешенная за рабочую смену в пересчете на 8 часов (при реальной средней продолжительности рабочей смены на тушении крупных пожаров 13,9 часов, в т.ч. пребывание возле пожара – 10,4 часов) – РСК; средневзвешенная за время пребывания возле пожара – НПК, пиковая за 15-минутный период – ПК. Они сравнивались с принятыми в США среднедолговременными безопасными максимальными концентрациями TWA и с нормативной концентрацией – PEL/TLV.

В большинстве случаев концентрации угарного газа и раздражающих веществ (акролеина, формальдегида и дымовых частиц) были незначительными, хотя в 3–5 % случаев их РСК превышали безопасный уровень. При тушении начинающих по-

жаров НПК были выше, чем при работе на крупных пожарах (т.к. на крупных пожарах реже применяется активное тушение), но РСК ниже благодаря сравнительно меньшему времени пребывания у кромки пожара (и зачастую большему времени, проводимому вне пожаров – в т.ч. в режиме дежурства). При активном тушении кромки пожара и при ее локализации ПК нередко превышали безопасные пределы в несколько раз. Повышенные пиковые концентрации данных веществ, нередко превышавшие безопасные, были характерны в условиях,

препятствующих рассеиванию дыма (например, крупный пожар в понижении местности), при усилении ветра, перед фронтом и у флангов пожара, при тушении начинающихся пожаров. Наибольшему воздействию дыма пожарные подвергались при остановке и локализации фронтальной кромки, а также активном тушении фланговой кромки и пятнистых очагов, а наименьшему – при дотушивании.

В табл. 1 показаны средние и максимальные концентрации компонентов дыма на крупных лесных пожарах.

Т а б л и ц а 1

Концентрации компонентов дыма на крупных лесных пожарах

| Компонент дыма, единица измерения | Средняя РСК | Средняя НПК | Макс. РСК | Макс. НПК | TWA (PEL/TLV) |
|--|-------------|-------------|-----------|-----------|---------------|
| Окись углерода, чнм | 2,8 | 4,0 | 30,5 | 38,8 | 50/25 |
| Акролеин, чнм | 0,001 | 0,002 | 0,015 | 0,016 | 0,1/0,1 |
| Формальдегид, чнм | 0,013 | 0,018 | 0,084 | 0,093 | 0,75/0,3 |
| Тонкие дымовые частицы, мг/м ³ | 0,5 | 0,72 | 2,93 | 2,3 | 5/3 |
| Все взвешенные частицы, мг/м ³ | 1,47 | 1,72 | 4,38 | 4,17 | 15/- |
| Раздражающие компоненты в комбинации, расчетных единиц | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,8 | 1,0/- |

В развитых странах специалисты больше всего обеспокоены тепловым воздействием на человеческий организм. Тепловое воздействие лесного пожара на человека, тушащего кромку горения, складывается из лучистого (инфракрасного) теплового потока, конвективного потока горячих газообразных продуктов горения, и случающихся иногда кратковременных прикосновений пламени. Однако главная проблема заключается не столько в угрозе причинения ожогов тепловым излучением, пламенем или потоком горячих продуктов горения, сколько в общей тепловой перегрузке организма, возникающей вследствие суммирования внутреннего метаболического тепла (усиленно вырабатываемого при большой физической нагрузке) и теплового потока, получаемого от кромки пожара. Тепловая перегрузка может усугубляться дополнительным

притоком тепла от солнечных лучей, а также затрудненной теплоотдачей организма в жаркую погоду, при высокой окружающей температуре возле кромки пожара или при неправильно выбранной спецодежде.

Перегрев организма приводит к развитию теплового стресса, а внутренний дефицит воды и электролитов дополнительно способствует этому. Это особенно опасно для людей со слабой или нездоровой сердечно-сосудистой системой. Бывают следующие проявления теплового стресса [17]: тепловые судороги – это произвольные мышечные сокращения, вызываемые дефицитом жидкости и электролитов в организме; тепловое излучение, вызываемое недостаточным поступлением жидкости в организм. Его симптомы – слабость, чувство крайней усталости, тошнота, головная боль, влажная липкая кожа; тепловой удар – тяжелое состояние, вызван-

ное отказом системы терморегуляции организма. При этом потоотделение прекращается, и температура тела резко поднимается. Симптомы – сухая горячая кожа, температура тела выше 41 °С, помутнение сознания, обморок, конвульсии и даже кома.

Проблема тепловой перегрузки лесных пожарных исследовалась в Австралии в рамках проекта *Aquarius* [18]. Исследования на тушении ручными орудиями начинающихся пожаров показали, что при продолжительности работы 1–3 часа средние энергозатраты лесного пожарного составляли в среднем 516 Ватт и достигали 837 Ватт. Расчеты показали, что если вырабатываемое при этом метаболическое тепло не будет отводиться, температура тела пожарного будет подниматься на 1 °С через каждые 5–8 минут, и через 20–30 минут наступит обморок, способный перейти в тепловой удар со смертельным исходом [19, 20].

Другое исследование в рамках проекта *Aquarius*, нацеленное на выявление баланса теплообмена организма лесного пожарного при остановке кромки лесного пожара (на летних пожарах в Австралийских эвкалиптовых лесах) посредством прокладки минерализованной полосы у кромки с помощью ручного орудия (грабель), выявило ряд нижеприведенных фактов [20]. Были выявлены следующие закономерности: пожарный должен работать на таком расстоянии от кромки пожара, чтобы интенсивность ее теплового излучения была ниже уровня болезненного для обнаженной кожи (>2 кВт/м²), величина этой интенсивности 75 % времени была ниже 2,6 кВт/м² и в основном держалась на уровне 1,6 кВт/м² – ненамного превышающем тепловой поток солнечного света; влияние кромки пожара на температуру и влажность окружающего воздуха (а также на скорость ветра) было незначительным. Общая тепловая нагрузка организма складывалась на 71 % за счет метаболического тепла, остальная часть – за счет пожара и влияния метеорологических факторов. Потоотделение превышало 1 литр в час, испарение пота было единственным путем отвода тепла. Индексы теп-

лового стресса превышали рекомендованные нормы, но ненамного.

Тепловое излучение лесного пожара – поток электромагнитного излучения инфракрасного диапазона, испускаемый пламенем и тлеющими горючими материалами. Попадая на поверхность вещества, это излучение в большей или меньшей мере поглощается им и преобразуется в тепловую энергию, вследствие чего температура вещества повышается. Живая человеческая кожа поглощает инфракрасное излучение почти полностью, ткань лесопожарной спецодежды поглощает около 80 % его (остальную часть отражает) [21, 22]. Как уже отмечено, ощущение голой человеческой кожей теплового излучения становится болезненным при интенсивности излучения больше двух киловатт на квадратный метр. Уровень излучения 2,3 кВт/м² – максимум, который кожа выдержит за короткое время (меньше двух минут) без получения ожога [23]. Уровень излучения в 12 кВт/м² причиняет ожог моментально [24]. По данным Брауна и других ученых (1980), если лесной пожарный полностью облачен в спецодежду из ткани Номекс плотностью 200 г/м², при уровне излучения в 7 кВт/м² его кожа получит ожог второй степени приблизительно через 90 секунд [25]. Измерения лучистого теплового потока Австралийских лесных пожаров такой интенсивности, при которой возможно их тушение ручными орудиями (при высоте пламени 0,3–1,2 м), показало, что на расстояниях от кромки горения 0,6–1,8 м и высоте от земли 0,6–0,9 м его величины варьировали в пределах 0,4–4,6 кВт/м², а температура воздуха повышалась на 3–25 °С [26]. Верховой пожар может создавать лучистый тепловой поток более 40 кВт/м² и повышать температуру воздуха до 300 °С на уровне 2 м [27]. По некоторым расчетам, пламя лесного пожара высотой 21 метр должно создавать лучистый тепловой поток, на расстоянии 6 метров от кромки имеющий интенсивность 60 кВт/м² [28].

В государственном научно-внедренческом предприятии «Огонь и экология» при Томском государственном университете разработана «Методика определения и рас-

чета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров» [29]. На основании этой методики, располагая типом пожара, размером выгоревшей площади, математической моделью и алгоритмом рассчитывают итоговые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Количество поллютантов определяется не только скоростью горения и размерами очага горения, но и коэффициентами эмиссии $K\alpha$ поллютантов, значения которых приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что опасными и вредными факторами лесного пожара являются: оксид углерода (СО), диоксид углерода (СО₂), оксиды азота (N_x), сажа (С), дым

(ультрадисперсные частицы SiO₂), метан (СН₄), непредельные углеводороды, озон.

На основании проведенных исследований [30] Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН и Института химической кинетики и горения СО РАН установлено, что при сгорании ЛГМ выделяются в атмосферу в виде аэрозоля 22 химических элемента. При этом в наибольших количествах выделяются СО и СО₂. На их долю приходится около 95-98 % эмиссии, остальные газы составляют 2-5 %. В целом количество выделившихся газо-аэрозольных эмиссий при низовых пожарах разной интенсивности составляет от 11,3 до 35,5 т/га.

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициентов эмиссии для различных типов лесных пожаров

| Название поллютанта и его формула | Kα для различных лесных пожаров | | |
|--|---------------------------------|--------------------|--------------------|
| | низовой | пожар на торфянике | повальный верховой |
| Оксид углерода СО | 0,135 | 0,135 | 0,135 |
| Диоксид углерода СО ₂ | 0,094 | 0,094 | 0,094 |
| Оксиды азота NO _x | 0,000405 | 0,000405 | 0,000405 |
| Сажа С | 0,0062 | 0,011 | 0,0014 |
| Дым (ультрадисперсные частицы SiO ₄) | 0,0345 | 0,055 | 0,014 |
| Метан СН ₄ | 0,075 | 0,075 | 0,075 |
| Непредельные углеводороды | 0,011 | 0,011 | 0,01 |
| Озон | 0,001 | 0,001 | 0,001 |

Интенсивностью тепловыделения от лесного пожара занимались ученые института леса СО РАН [31]. Было установлено, что величина тепловыделения ЛГМ связана в первую очередь с влагосодержанием и величиной недожога. При этом доля недожога возрастает с уменьшением объемного веса слоя и запаса горючего. Интенсивность горящей кромки пожара оперативно можно оценить по скорости продвижения, а также по высоте пламени. Увеличение интенсивности связано с ростом высоты пламени и ширины кромки, т.е. излучаемого объема.

Исследованиями ЛенНИИЛХа [32] установлены зависимости облучения пожарного от расстояния до кромки лесного пожара при высоте пламени низового пожара ($h \geq 1,5$ м), при высоте пламени верхового пожара ($h = 15$ м). Результаты расчетов показывают, что на расстояниях, характерных для

применения наземных способов борьбы с лесными пожарами, уровень облученности перед фронтом интенсивных и верховых пожаров существенно превышает предельно допустимые значения для открытого кожного покрова человека, а критические расстояния для пожарных в теплоотражающих костюмах при высоте пламени низового пожара $h \geq 1,5$ м более 4 м до кромки пожара, при $h \geq 15$ м – равно более 20 м. При этом необходимо учитывать действие других опасных факторов лесного пожара (повышенной температуры среды, концентрации окиси углерода и дымовых частиц), а также их взаимно отягчающее влияние на организм человека.

Группой исследователей ЛенНИИЛХа, ДальНИИЛХа и других институтов [33] предложена методика определения опасных факторов лесного пожара. Приводится расчет составляющих общих теплопотерь кром-

ки пожара; количества окиси углерода, выделяющегося с погонного метра кромки пожара; максимальной и средней концентрации СО в зоне кромки пожара; концентрации СО₂ и кислорода в зоне кромки пожара и максимального прироста температуры.

Во ВНИИПОМлесхозе проведены исследования по опасным и вредным факторам лесного пожара [34, 35]. Установлено, что факторы, негативно влияющие на человека в условиях тушения лесного пожара, можно классифицировать следующим образом: организационные, технические, опасные факторы лесного пожара, санитарно-гигиенические, биологические, климатические и бытовые.

К организационным факторам относятся: недостатки в организации лесопожарных работ (нарушение правил техники безопасности; отсутствие связи с бригадирами; допуск на тушение пожаров людей, не прошедших обучение и инструктаж; использование неправильных приемов при захлестывании кромки низовых пожаров; недостатки в экипировке людей; отсутствие карт местности; средств индивидуальной защиты; достаточного количества продуктов питания; питьевой воды; использование непригодных для эксплуатации спальных мешков, надувных матрацев и т. п.

К техническим факторам относятся: несовершенство и низкое качество малогабаритного лесопожарного оборудования и ручных инструментов, недостаточная герметизация лесных огнетушителей; неправильная заточка и насадка топоров, лопат, мотыг; шум и вибрация лесопожарного оборудования; отсутствие устройств для очистки воздуха от токсичных соединений.

Опасные факторы лесного пожара (ОФЛП) можно разделить на три основные группы: физико-химические, психофизические и биологические [6]. К физико-химическим можно отнести: повышенную температуру воздуха рабочей зоны; световое и тепловое излучение; психологические и физические нагрузки. Биологические факторы – наличие в рабочей зоне кровососущих насекомых, способных вызывать кожные

аллергические реакции, они могут являться переносчиками таких заболеваний, как клещевой энцефалит, малярия. *Огонь* – основная причина травматизма и гибели людей. При тушении кромки низового пожара чаще всего подвергаются ожогам открытые участки тела, загорается одежда. Более тяжелые последствия возникают при тушении крупных лесных пожаров. Защитными средствами в этом случае могут служить специальная одежда, палатки, пологи из негорючих тканей. *Дым* – наличие СО и СО₂ в зоне горения лесного пожара, оказывает отрицательное воздействие на человека. При вдыхании человеком угарного газа невысокой концентрации (1,2 мг/л) через 45 мин отмечаются головная боль, головокружение, шум в ушах, нарушается координация движений, снижается зрение. При вдыхании концентрации СО – 2,4 мг/л теряется способность двигаться, а при 6 мг/л через 10 мин может наступить летальный исход. СО₂ – менее токсичное соединение, содержание его в воздухе от 12,1 до 38,2 мг/м³ вызывает раздражение глаз и верхних дыхательных путей. При вдыхании воздуха с концентрацией углекислого газа 160–200 мг/м³ в течение 5–10 мин может оказаться смертельной. *Высокая температура окружающей среды* – наиболее характерный фактор лесного пожара. Температура пламени лесных низовых пожаров достигает 600–800 °С. В рабочей зоне температура окружающей среды при тушении низового лесного пожара с высотой кромки пожара от 0 до 0,50 м колеблется от +30 °С до +54 °С, причем наибольшая температура на высоте 0,5 м от земли и составляет от +43 °С до +54 °С.

Искры – вызывают ожоги открытых участков тела, приводят к загоранию одежды, обуви. Защитными средствами могут служить: одежда из негорючих тканей, защитные очки, экраны для лица. *Шум* – является помехой для восприятия команд, затрудняет организацию работ, приводит к преждевременной усталости. При работе пожарной техники уровень шума колеблется в пределах от 76 дБ до 130 дБ. Зоны с уровнем звука выше 85 дБ обозначаются знаками

безопасности и требуют индивидуальной защиты, обеспечения громкоговорителями, рациями. *Психологический фактор* – физиологические и психические расстройства. Страх, паника, дискомфорт являются результатом плохой подготовки людей, работающих на тушении лесных пожаров. Уверенность достигается психологической подготовкой людей, правильной организацией работ, тренировкой, надежными средствами индивидуальной защиты и снаряжения.

Санитарно-гигиенический фактор вызван нарушением правил личной гигиены; несвоевременная обработка ран, ожогов; использование грязной посуды, одежды; неправильное хранение продуктов питания; плохая очистка воды; использование посуды, не предназначенной для пищевых продуктов, – все это приводит к желудочно-кишечным заболеваниям.

Биологический фактор обусловлен действием кровососущих насекомых (клещи, гнус, комары и др.). Вызывает кожные аллергические реакции, повышенную раздражительность, бессонницу, что приводит к снижению производительности труда пожарных, увеличению случаев травматизма, ухудшению условий отдыха. Для защиты от кровососущих насекомых необходима специальная одежда, репелленты, сетки.

Климатический фактор обусловлен такими явлениями, как дождь, ветер, солнечные лучи, перепады температур, которые приводят к простудным заболеваниям. *Бытовой фактор* оказывает существенное влияние на труд, настроение и поведение людей и включает одежду, культуру жилища, питание и нормальный отдых.

Используя метод ранжирования и опыт работы работников авиалесохраны, определили по значимости опасные факторы лесного пожара. Они распределились следующим образом: огонь (искры), повышенная температура, угарный газ, дым, сажа, тепловое излучение, падение подгоревших и сухостойных деревьев, углекислый газ, шум.

При тушении лесных пожаров на человека действуют одновременно несколько вредных веществ (высокая температура, те-

пловое облучение, угарный, углекислый газы и другие вещества).

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них в воздухе рабочей зоны к их ПДК не должна превышать единицы:

$$\frac{\tilde{N}_1}{\tilde{IAE}_1} + \frac{\tilde{N}_2}{\tilde{IAE}_2} + \dots + \frac{\tilde{N}_n}{\tilde{IAE}_n} \leq 1, \quad (2)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n – фактические концентрации каждого из газов в рабочей зоне;

$ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$ – предельно допустимые концентрации тех же газов в рабочей зоне.

Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны должен быть следующим: непрерывный – для веществ 1 класса опасности; периодический – для веществ 3...4 классов опасности. Непрерывный контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны должен предусматривать применение автоматических приборов, выдающих сигнал о превышении уровня ПДК.

За рубежом [6, 8, 10, 12, 13] для практической оценки задымленности с целью контроля безопасности на тушении лесных пожаров исследователи рекомендуют опираться на измерение концентрации окиси углерода. Для этого могут применяться следующие устройства [6, 8, 10, 12]: цветоиндикаторная химическая трубка с устройством для прокачивания воздуха через нее. Минимальная чувствительность – 5 мг/м³. Трубка простая, стоимость небольшая, однако точность измерений невысокая; электронный индикатор-сигнализатор, выдающий предупредительный сигнал при повышении концентрации угарного газа до опасного уровня. Не позволяет судить о получаемой дозе СО при долгой работе при сравнительно низких концентрациях угарного газа и о РСК; электронный измеритель-дозиметр, непрерывно определяющий текущую концентрацию СО и рассчитывающий

ее средневзвешенную величину за прошедшее время и рабочий день. Позволяет не обращать внимания на кратковременные всплески концентрации, если ее среднее значение остается безопасным. Электронный измеритель-дозиметр-самописец, помимо вышеуказанного, также запоминает динамику текущей концентрации СО и способный по окончании измерения передать ее в компьютер.

В России еще мало внимания уделяется разработке приборов и устройств для замера концентраций вредных газов на лесных пожарах. В последние годы во ВНИИ-ПОМлесхозе разработан индикатор-извещатель концентрации угарного газа в рабочей зоне лесного пожарного. Прибор позволяет подавать световой и звуковой сигналы при превышении концентрации угарного газа. Порог индексации по СО: I-55 мг/м³, время работы не более 1 часа; II – 110 мг/м³, время работы не более 30 мин; III – 205 мг/м³, время работы не более 15 мин.

Обзор исследований опасных факторов лесного пожара в России и за рубежом позволяет отметить, что в США и в Австралии изучению ОФЛП придают важное значение. В России только в последние годы начали разрабатывать приборы и устройства для определения содержания опасных и вредных веществ в рабочей зоне лесного пожарного. Дальнейшее изучение опасных факторов лесного пожара позволяет определить количественный и качественный состав ОФЛП, изучить воздействия этих факторов на состояние и работоспособность лесных пожарных, разработать более совершенные эффективные средства и методы защиты людей. Что будет способствовать снижению заболеваемости и травматизма лесных пожарных.

Список литературы

1. Гришин А.М., Долгов А.А., Цимбалюк А.Ф. Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров. – М., 1997. – С. 26.
2. Иванов А.В. Газо-аэрозольные эмиссии при лесных низовых пожарах: Автореф. на соискание ученой степени канд. биол. наук. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2003. – 22 с.

3. Валендик Э.Н., Исаков Р.В. Об интенсивности лесного пожара // Проблемы лесной пирологии: Сб. статей / ИЛиД СО АН СССР. – Красноярск, 1975. – С. 41–54.
4. Гусев В.Г. Оценка облученности пожарных перед кромкой низового и верхового лесных пожаров: Сб. трудов / ЛенНИИЛХ. Лесные пожары и борьба с ними. – Л., 1989. – 136 с.
5. Г.П. Ануфриева, М.Д. Боданский, С.М. Вонский, Г.П. Телицин. К расчету температуры и газового состава воздуха при лесных пожарах: Сб. трудов /ЛенНИИЛХ. – 1995. – С. 120–125.
6. Главацкий Г.Д., Цай Ю.Т., Липина Л.А. Охрана труда и безопасность лесных пожарных: Монография / ИПЦ КГТУ. – Красноярск, 2001. – 158 с.
7. Главацкий Г.Д., Цай Ю.Т. Опасные факторы лесных пожаров: Сб. статей по материалам конференции «Проблемы экологии и развития городов». – Красноярск, 2002. – С.132–137.
8. Materna B.L., Jones J.R., Sutton P.M., Rothman N., Harrison R.J. Occupational exposures in California wildland fire fighting. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1992 Jan;53(1):69-76.
9. Darold E. Ward. Smoke from wildland fires. Health Guidelines for Vegetation Fire Events, Lima, Peru, 6-9 October 1998. Background papers. © WHO 1999. Pp. 70-85.
10. Davis A. et al. Fire, Smoke and Health. Smoke, Dust & Haze. EPANW Research Center for Particulate Air Pollution and Health Newsletter, Summer 2001.
11. Rogge W, Hildemann L, et al. Sources of fine organic aerosol. 9. Pine, Oak and Synthetic Log Combustion in Residential Fireplaces. Environ. Sci. Technol, 1998;32: 13-22.
12. Health Concerns and Prescribed Fire Smoke. <http://www.tncfire.org/manual/healthrisks.htm>.
13. Reinhardt T.E., Ottmar R.D. Smoke Exposure at Western Wildfires. Res.Rap. PNW-RP-525. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific North Research Station, July 2000. 72 p.
14. Peterson, J.E., Stewart, R.D. (1970) Absorption and elimination of carbon monoxide by inactive young men. Arch. environ. Health, 21: 165-171.
15. International program on chemical safety. Environmental health criteria 13. Carbon Monoxide. <http://www.inchem.org/documents/enc/enc/enc013.htm>.
16. Reinhardt T.E., Hanneman A.H., Ottmar R. D. 1994. Smoke exposure at prescribed burns: health hazards of smoke. Missoula, MT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Missoula Technology and Development Center: 2-3.
17. Reinhardt T. E., Ottmar R. D., Hallett M. J. Guide to Monitoring Smoke Exposure of Wildland Firefighters. Gen.Tech. Rep.PNW-GTR-448, March 1999. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 15 p.
18. Forest Service Handbook. Washington. Fsh 6709.11 – Health And Safety Code Handbook. Amendment No. 6709.11-99-1. Pp. 20-86. <http://www.fs.fed.us/im/directives/fsh/6709.11/6709.11.pdf>

19. Beason D.G., Johnson J.S., Fopte K.L., Weaver W.A. UCRL-CR-122559. Summary Report California Department of Forestry and Fire Protection Evaluation of Full-Face Air-Purifying Respirators for Wildland Fire Fighting Use. Prepared for the Department of Forestry and Fire Protection. Contract Number: WN-02-19-05-0. February 1996. 44 p. <http://www.llnl.gov/tid/lof/documents/pdf/136262.pdf>
20. Reinhardt T.E., Ottmar R.D., Hanneman A.J.S. Smoke exposure among firefighters at prescribed burns in the Pacific Northwest. Res. Pap. PNW-RP-526, 2000. Portland, OR: U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 45 p.
21. Reinhardt T.E., Hanneman A., Ottmar R. Smoke exposure at prescribed burns: final report. 1994. Available from: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 4043 Roosevelt Way N.E., Seattle, WA 98105.
22. Brotherhood J.R., Budd G.M., Jeffery S.E., Hendrie A.L., Beasley F.A., Costin B.P., Wu Z.E. Fire fighters' exposure to carbon monoxide during Australian bushfires. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1990 Apr.; 51 (4): 234-240.
23. Brauer M. Health impacts of biomass air pollution. Health Guidelines for Vegetation Fire Events, Lima, Peru, 6-9 October 1998. Background papers. © WHO 1999. Pp. 186-230.
24. Heat stress, <http://www.fire.nps.gov/bia/SAFETY/heat%20stress.htm>
25. Weber M.G. Editorial. *International Journal of Wildland Fire*, 1997; 7 (2): V.
26. Budd G.M., Brotherhood J.R., Hendrie A.L., Jeffery S.E., Beasley F.A., Costin B.P., Wu Zhen, Baker M.M., Cheney N.P., Dawson M.P. Project Aquarius. 5. Activity distribution, energy expenditure, and productivity of men suppressing free-running wildland fires with hand tools. *International Journal of Wildland Fire*, 1997; 7 (2): 105-118.
27. Budd G.M., Brotherhood J.R., Hendrie A.L., Jeffery S.E., Beasley F.A., Costin B.P., Wu Zhen, Baker M.M., Cheney N.P., Dawson M.P. Project Aquarius. 6. Heat load from exertion, weather, and fire in men suppressing wildland fires. *International Journal of Wildland Fire*, 1997; 7 (2): 119-131.
28. Incropera F.P., Dewitt D.P. Introduction to heat transfer. John Wiley and Sons, New York. 1985. 712 p.
29. Butler B.W., Cohen J.D. Firefighter safety zones: a theoretical model based on radiative heating. *International Journal of Wildland Fire*, 1998; 8(2): 73– 77.
30. Stoll A.M., Greene L.C. Relationship between pain and tissue damage due to thermal radiation. *Journal of Applied Physiology*, 1959, 14(3): 373-382.
31. Green, L.R. and H.E. Schinike. 1971. Guides for fuelbreaks in the Sierra Nevada mixed-conifer type. Res. Pap. INT-221. Berkeley, CA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 14 p.
32. Braun, E., Cobb, D., Cobble, V.B., Krasny, J.F. and R.D. Peacock. 1980. Measurement of the protective value of apparel fabrics in a fire environment. *Journal of Consumer Product Flammability*. 7:15725.
33. King A.R. The efficiency of rural firefighters. Melbourne: Commonwealth Scientific And Industrial Research Organization, Chemical Research Laboratories, Technical Paper No.4, 12 pages.
34. Sl.Budd G.M., Cheney N.P. 1983. Bushfire safety and physiological stresses on fire fighters. Proceedings of 9th National Conference of Australian Fire Protection Association, Randwick NSW, Paper D, 12 pages.
35. Tassios, S. and D. Packham. 1964. National Center for Rural Fire Research, technical paper no. 1. Forest Research Institute, Forestry and Timber Bureau: Canberra, ACT, Australia. 3 p.

ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОВЕНИЕНЦИЯМИ ЕЛИ В ВЕРХНЕ – КЛЯЗЬМИНСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ СОЛНЕЧНОГОРСКОГО ЛЕСХОЗА

Н.В. ЖИВАЙКИНА, *асп. каф. лесных культур МГУЛа*

Географическая изменчивость быстроты роста у ели выявляется наиболее четко, если провести сравнение образцов со всего макроареала рода *Picea*, включая ель европейскую и ель финскую [4]. При этом сезонный рост – основной показатель приспособляемости древесных растений в географических лесных культурах к конкретным природным условиям. Продолжительность сезонного роста, а также сроки наступления

фенологических фаз, продолжительность и темпы текущего прироста побегов, реализуемые под воздействием генетической памяти и в определенных условиях местопроизрастания (конкретная экологическая обстановка в новом районе выращивания), позволяют в географических посадках выявлять ранораспускающиеся, среднераспускающиеся (промежуточные) и позднеораспускающиеся формы у различных провениенций ели. [5]

Исследования по изучению фенологических особенностей ели и выявлению из числа испытываемых провениенций быстрорастущих климатических экотипов велись нами на территории Солнечногорского опытного лесхоза Московской области, которая относится к лесорастительному району елово-широколиственных лесов Клинско-Дмитровской гряды, в свою очередь составляющей часть обширной Смоленско-Московской возвышенности. Эта возвышенность своими относительно плавными холмами протянулась от западных до северо-восточных границ Московской области. Наиболее холмистая ее часть относится как раз к Клинско-Дмитровской гряде, которая полностью охватывает Солнечногорский лесхоз.

В создании такого холмистого рельефа в прошлом участвовали оледенение и водная эрозия. Во времена ледниковой эпохи толща льда, медленно двигаясь со Скандинавии и приполярного Севера на юг, остановилась в районе современной северной части Московской области. После того как ледник растаял, он оставил за собой конечно-моренные гряды и цепи, что придало ландшафту характерный холмистый тип рельефа нынешней Клинско-Дмитровской гряды с перепадами абсолютных высот до 70 м.

Территория Солнечногорского опытного лесхоза при более детальном рассмотрении делится на северную (абсолютные высоты 200...250 м над уровнем моря) и южную (абсолютные высоты 150...200 м над уровнем моря) части. Первая из них географически соответствует средней (здесь находится объект наших исследований) части Клинско-Дмитровской гряды, характеризующейся довольно закономерным чередованием крупных холмов, на которых сохранились почти полностью следы ледникового рельефа и плоскодонных впадин между ними, занятых болотами и озерами. Вторая же – соответствует южной территории Клинско-Дмитровской гряды, которая имеет уже иной характер, представляющий собой постепенный переход от холмисто-мореного рельефа собственно гряды к эрозионному рельефу южных районов Московской области.

Коренным типом леса Солнечногорского опытного лесхоза является ельник-кисличник, естественно сформировавшийся на дерново-среднеподзолистых среднесуглинистых почвах, подстилаемых тяжелым покровным суглинком. Типом лесорастительных условий является влажная сложная суборь (C^3), т.е. это типичные условия раме-ней [2]. Таким образом, естественные, исторически сложившиеся, условия данного района экологически соответствуют выращиванию ельников.

Исследованные нами в 2003 г. опытные культуры ели разного географического происхождения созданы весной 1997г. на лесокультурных площадях Верхне-Клязьминского лесничества, которые в свою очередь представляли сплошную вырубку из-под елово-лиственного насаждения. На вырубке была проведена широкополосная раскорчевка катерпиллером, а затем под посадку были намечены широкие технологические полосы. Саму посадку осуществляли 2-летними сеянцами на предварительно размаркированной площади с размещением посадочных мест 2×1 м, т.е. с густотой посадки – 5 тыс. шт./га. Приживаемость культур была очень высокая – 92 %. На момент проведения исследований (2003г.) биологический возраст провениенций ели в опытных посадках достиг 8 лет.

Диапазон испытываемых провениенций ели отражал 17 разных популяций. Исследованию подверглись популяции ели западного происхождения – из Польши (Беловежа, Колумна) и Беларуси (Беловежская пуца); северо-западного – из Прибалтики (Эстония); южного – с Украины (Закарпатская и Ровенская области); восточного – из республики Башкортостан (Урал) и центральной части Восточно-Европейской равнины (Московская, Псковская и Тверская области). Кроме того, была взята редкая, но прошедшая адаптацию в условиях Клинско-Дмитровской гряды северная провениенция из Финляндии.

Для измерений ростовой динамики терминального побега применяли методику И.Н. Елагина [1], в основу которой входит разделение годичного цикла развития расте-

ний на фенофазы: фаза зимнего покоя, набухания и распускания листовых почек, а также развертывания листьев (хвои) и др. И.Н. Елагиным было предложено, согласно разработанной методике, периодически фиксировать прирост терминального побега в высоту.

Климат Клинско-Дмитровской гряды умеренно континентальный. Для лета здесь характерно тепло, а для зимы – холод, что в целом создает большую амплитуду колебаний температур. Увлажнение достаточное и устойчивое. Погодный режим складывается под влиянием притока воздушных масс атлантического и арктического происхождения. Изменчивость в циркуляции воздушных масс, характерная для всей европейской части России, нередко приводит к серьезным отклонениям температурных показателей и количества осадков от средних многолетних данных.

Показательным было начало полевого сезона 2003г. В конце второго весеннего месяца (26 апреля), когда уже должна была начаться бурная вегетация растений, ночная температура воздуха опустилась до $-8...10^{\circ}\text{C}$ и Гидрометеоцентром была зарегистрирована самая холодная ночь за последние 100 лет на всей территории Клинско-Дмитровской гряды. Наблюдалось также промерзание почвы на глубину не менее 5 см, что соответствует состоянию верхнего слоя земли в октябре месяце. Это обстоятельство привело к общей задержке вегетации древесных пород и, в частности, ели.

Все летние месяцы наших фенологических исследований этого года, в отличие от прошлых засушливых лет, были прохладными (температура воздуха ниже на $3...4^{\circ}\text{C}$ среднемноголетних температур) и дождливыми (увеличение осадков обычно зависит от высоты склонов в конкретном случае Клинско-Дмитровской гряды и приблизительно составляет 60 мм на 100 м высоты в год, в летний период 2003г. количество осадков приблизительно возросло до $90...100$ мм на каждые 100 м высоты).

Установлено, что рост терминального (верхушечного) побега начинается при средних эффективных температурах $5...10^{\circ}\text{C}$ и при наличии доступной влаги в почве, что

находится в прямой зависимости от степени ее прогреваемости в зоне размещения корней. В течение вегетационного периода рост растений происходит неравномерно. По ходу сезона вегетации он начинается с набухания почек и заканчивается закладкой почек и одревеснением побегов. Рассмотрим подробнее общие биологические особенности фенологических фаз развития растений.

Фаза зимнего покоя – самая продолжительная из всех фаз, отличалась внешней неизменностью всех органов растений. С нее начались и завершались наши исследования.

Фаза набухания листовых почек у преобладающей части исследованных провениенций ели отмечалась благодаря тому, что в этой фазе почки, по сравнению с их зимним состоянием, заметно увеличивались в размерах; у них проявляются просветы между темными чешуйками, вследствие чего они светлеют.

Фаза распускания листовых почек начиналась тогда, когда между раздвинувшимися чешуйками появлялись кончики первых хвоинок, обособившихся или сложенных в плотные пучки.

Фаза развертывания хвои начиналась с того момента, когда на побегах полностью обособлялись, хотя и не достигшие еще типичного размера, первые хвоинки. Это период формирования новой хвои.

Фенологические наблюдения климатотипов, направленные на изучение сезонного роста ели, дали нам возможность по региональному расположению места сбора семян сформировать 9 региональных групп: башкирскую, московскую, закарпатскую, ровенскую, белорусскую, польскую, валдайскую, финляндскую, эстонскую.

К ранораспускающейся форме ели можно отнести башкирскую, финляндскую, а также закарпатскую и эстонскую группы. У этих провениенций, распространенных восточнее и севернее, а также западнее остальных групп (рис. 1), активный рост терминального побега начался одновременно 24 мая (начало III декады месяца). Молодые побеги ели не подвергались воздействию ранних, а также поздних весенних заморозков,

т.к. в первом случае (26 апреля) деревья ели находились в фазе зимнего покоя; во втором – когда 2 и 3 июня было зафиксировано резкое падение ночной температуры до 3...4°C,

уже относительно окрепшие терминальные побеги не пострадали, потому что все без исключения провениенции ели вошли в устойчивую фазу вегетации.

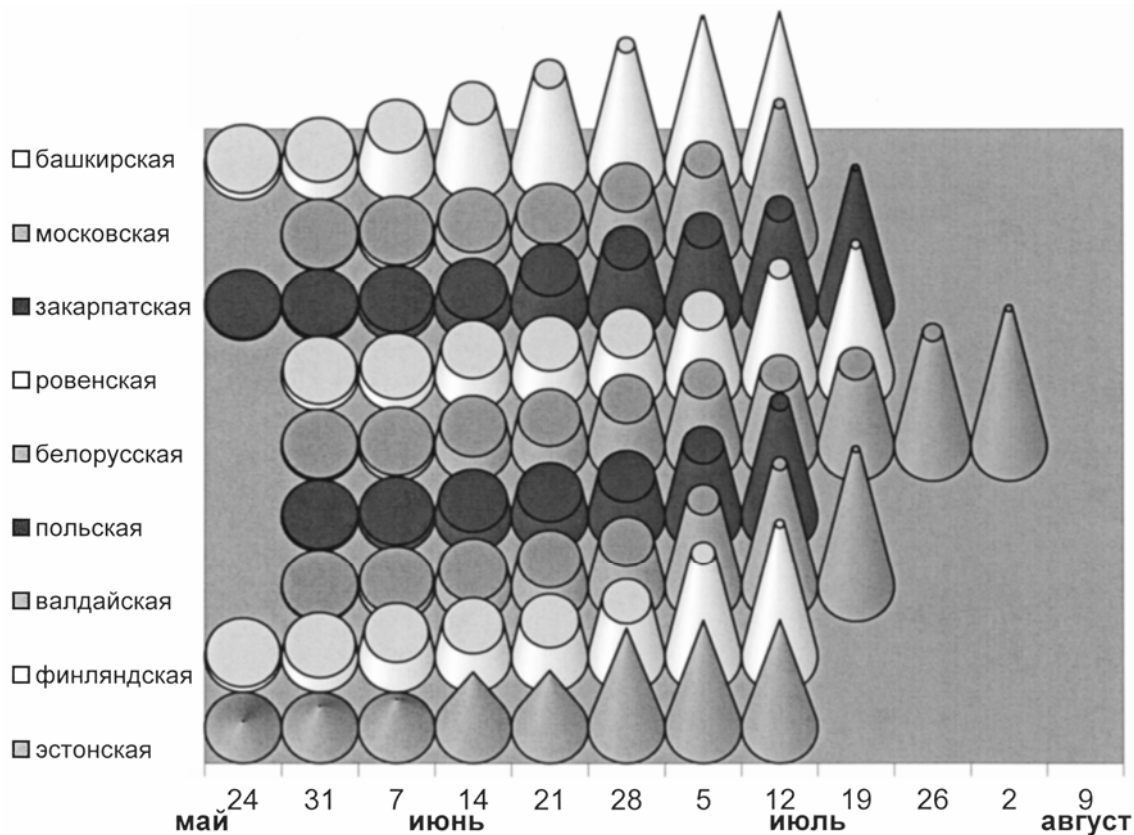


Рис. 1. Сезонный рост ели по группам провениенций

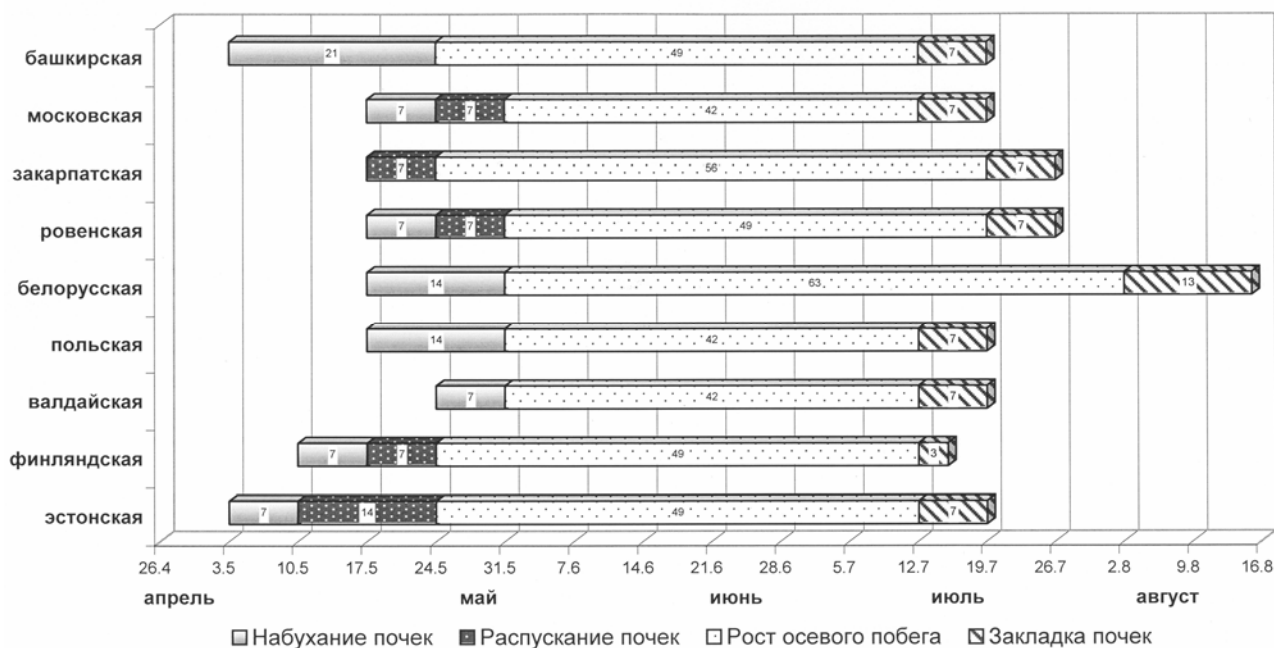


Рис. 2. Феноспектр длительности ростовых процессов в разных группах провениенций ели

К среднераспускающейся форме можно отнести как контрольную московскую, так и валдайскую группы из центральной части евроазиатского ареала, а также западные (ровенскую, белорусскую и польскую) провениенции ели. Прирост терминального побега у данных происхождений начался 31 мая (конец III декады месяца). Сроки начала вегетации у двух (рано – и среднераспускающейся) форм ели считаются слишком поздними для фазы набухания почек, что соответствует срокам поздне-распускающейся формы. Тем не менее, за прошедший вегетационный период 2003г. четко не выявлено ни одной поздне-распускающейся формы лесных культур ели. Это вызвано задержкой вегетации у ранораспускающихся форм в результате позднего оттаивания промерзшей почвы.

На основании тщательного анализа фенологических наблюдений, направленных на изучение развития древесных растений и их ростовых процессов в географических посадках, было выявлено, что период массового роста на протяжении вегетации в условиях Клинско-Дмитровской гряды приходится полностью на весь июнь и только отчасти на первую половину июля месяца (см. рис. 1, рис. 2).

Хронологически самыми ранними вышли из фазы зимнего покоя башкирская и эстонская группы (3 мая), а следом за ними с опозданием на 7 суток – финляндская (10 мая). Основная масса групп провениенций ели из Московской, Закарпатской и Ровенской областей, а также из Беларуси и Польши пробудились от зимнего покоя еще позже – спустя 14 суток (17 мая). И, наконец, валдайская группа находилась в фазе зимнего покоя вплоть до 24 мая, и таким образом опоздание в ее пробуждении составило 21 сутки. Стоит особо отметить, что у ряда групп, в которые входят башкирская, польская и валдайская провениенции, фаза распускания почек была настолько стремительной, что скорость ее прохождения составила 2–3 суток, в результате чего зафиксировать переход из предыдущей фазы набухания почек не удалось. У закарпатской группы не

была зарегистрирована фаза набухания почек по той же причине. Вместе с тем, фаза распускания почек все еще продолжалась у одной из шести входящих в белорусскую группу провениенций 31 мая, когда вся группа дружно стала наращивать прирост терминального побега. Но это малозначительный показатель, не повлиявший на общий результат группы, поэтому он не отражен нами на графике феноспектра.

Продолжительный период набухания почек (21 сут.) наблюдался у одной-единственной восточной группы (башкирской), самый же короткий (7 сут.) у подавляющего большинства групп (московской, ровенской, валдайской, финляндской и эстонской), которые распространились от западных границ евроазиатского ареала через его центральную часть на север. В целом продолжительная вегетация наблюдалась у белорусской провениенции (63 сут.), минимальная – сразу у трех групп, в которые вошли московская, польская и валдайская провениенции (42 сут.). Период закладки почек начинается задолго до того, как провениенции вступят в фазу зимнего покоя. Статистический анализ выделил, что наиболее продолжительным периодом закладки почек (13 сут.) обладает самая западная группа (белорусская), а предельно коротким – (3 сут.) самая северная провениенция (финляндская).

У некоторых экотипов в 2003г. наблюдалось такое явление, как многоверхушечность. Она отмечалась только у единичных экземпляров деревьев на исследуемых участках и была обнаружена у провениенций ели из дальнего (Финляндия) и ближнего (Беларусь) зарубежья, а также с территории Российской Федерации (Республика Башкортостан).

Проведенные замеры текущего прироста в сентябре 2003 г. показали, что лучший прирост в высоту осевого побега за время вегетации отмечался у ели из Прибалтики (15,5 см), а также у ели с Восточных Карпат и Беларуси (13,2 см). Худший прирост дали нам провениенции из Финляндии (8,0 см) и контрольный образец из Московской обл. (8,1 см).

Интенсивность сезонного роста выражается в энергии ростового процесса терминальных побегов. Руководствуясь формулой энергии роста В.В. Огиевского [6], у наблюдаемых провениенций был выявлен ряд особенностей, касающихся темпов роста верхушечных побегов в высоту у ели различного географического происхождения (рис. 3). Так, у валдайской, контрольной московской и белорусской групп наблюдалось максимальное увеличение энергии роста, соответственно 82,0, 77,0, 75,0 %, в самом начале вегетационного периода – 7 и 14 июня. У трех ранораспускающихся провениенций ели из Эстонии, Финляндии и Республики Башкортостан самая высокая энергия роста, но все же уступающая предыдущим группам, была отмечена достаточно рано, 31 мая и соответствовала 71,0, 64,7 и 62,0 %. Резкий спад нарастания осевого побега зафиксирован лишь в самом конце вегетации у всех исследуемых провениенций, за исключением только польской группы, которая и в день окончания ростовых процессов (12 июля) показала минимум энергии роста. Спад выражался низкой энергией роста в пределах 0,7...3,7 % у общего количества провениенций. Самым минимальным значением энергии роста в период окончания массовой вегетации обладала эстонская – 0,7 % (12 июля), и в особенности белорусская – 1,0 % (2 августа) и валдайская – 1,04 % (19 июля) группы, что, очевидно, является закономерным процессом в климатических условиях Клинско-Дмитровской гряды [5]. С 12 июля началось очень быстрое погружение в фазу зимнего покоя большинства групп провениенций (башкирской, московской, польской, валдайской, финляндской и эстонской). До 19 июля продолжали вегетировать провениенции с Украины (закарпатская и ровенская). Самое же позднее наступление фазы зимнего покоя было зарегистрировано у белорусской группы, представленной популяциями из Беловежской Пущи (рис. 3).

Рост является показателем соответствия основных видов ели (сибирская, европейская и гибридная) к новым условиям произрастания и наследственной предраспо-

ложенности их соответствующему типу роста. В пределах европейской части бывшего СССР Л.Ф.Правдин [7] выделяет три зоны макропопуляций ели обыкновенной: А – зона с безраздельным господством в популяциях ели сибирской (*Picea obovata Ledeb*); Б – зона с господством популяций ели европейской (*Picea abies (L)Karst*), включая и форму *acuminata*; В – зона с господством популяций гибридной ели, которой присвоен статус гибридного вида *Picea x fennica (Regel.)Kom*. Зону гибридной ели на Русской равнине Л.Ф.Правдин делит примерно на две части: В₁– гибридная ель с преобладанием признаков ели сибирской (западное Предуралье) и В₂– гибридная ель с преобладанием ели европейской.

Согласно исследованиям, проведенным С.А.Ростовцевым [8], в границах ареала ели европейской лучшие результаты по росту в высоту дают семена местного происхождения. В географических культурах Московской, Костромской, Пермской областей и Республики Татарстан варианты из зоны макропопуляций ели европейской (зона Б) достоверно превосходят по росту в высоту варианты ели гибридной и сибирской. Из указанных С.А. Ростовцевым областей, а также по итогам наших исследований, проведенных в летний полевой сезон 2003г, провениенции из Московской области в силу влияния на данный климатип несвойственной для района выращивания наблюдаемых еловых культур холодной, дождливой погоды, никаких преимуществ в росте не имели.

Достоверно лучший рост климатипов ели европейской прибалтийского и украинского происхождения (эстонская, белорусская и закарпатская группы), выращенных в более восточных условиях европейской части России (Клинско-Дмитровская гряда), свидетельствует о сравнительно высокой их пластичности и адаптации к этим новым условиям, что позволяет расширить регионы поставщика семенного материала. И это тем более обоснованно потому, что все выше перечисленные климаэкотипы по росту терминального побега в высоту, как правило, про-

исходят из зоны макропопуляций ели европейской.

Таким образом, опираясь на фенологические наблюдения и оценивая успешность роста и развития испытываемых климатипов ели, создается возможность выбора перспективных популяций с целью повышения продуктивности еловых лесов Московской области. Полученные нами

результаты дают основание скорректировать лесосеменное районирование основных лесообразующих пород [3] и в конечном итоге внести предложения по использованию в центральном (№ 10) лесосеменном районе семян западного происхождения из Эстонии, Беларуси и Закарпатской области Украины (лесосеменные районы 12, 16, 17 и 20).

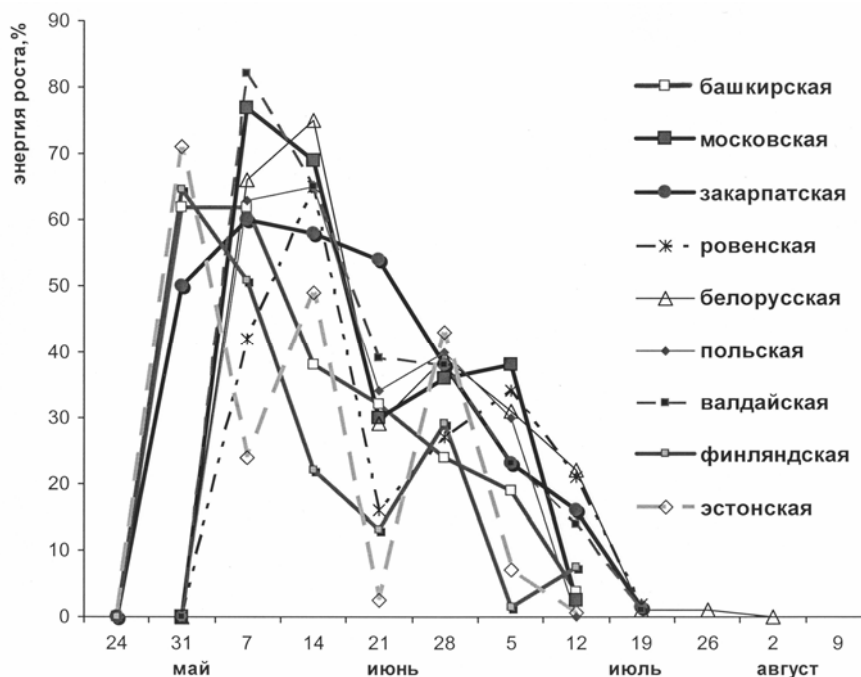


Рис. 3. Энергия роста по группам провениенций ели

Список литературы

1. Елагин И.Н. Методика ботанических исследований//Ботанический журнал. Т. 46. – № 7. – 1961. – С. 984–992.
2. Крюденер А.А. Основы классификаций типов насаждений: Монография. Изд. второе, стереотипное. – М.: МГУЛ, 2003. – 318 с.
3. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 386 с.
4. Мамаев С.А., Попов П.П. Ель сибирская на Урале (внутривидовая изменчивость и структура популяций). – М.:Наука, 1989. – С. 73–74.

5. Мерзленко М.Д., Живайкина Н.В. Фенология и сезонный рост ели в географических культурах Клинско-Дмитровской гряды // Лесохозяйственная информация. – 2003. – № 6 – С. 2–7.
6. Огиевский В.В. Энергия и интенсивность роста как показатель состояния культур: Материалы науч.-техн. конф. – Л., 1968. – 31 с.
7. Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. – М.:Наука, 1975. – 175 с.
8. Ростовцев С.А. Опыт географических культур ели обыкновенной в европейской части СССР: Экспресс информация. – 1980. – № 8. – С. 15–18.

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ НЕРАСТВОРЯЮЩЕГО ОБЪЕМА ПОЧВ

Г.Н. ФЕДОТОВ, доц. каф. химии и биотехнологии лесного комплекса МГУЛа, канд. хим. наук

Почвы являются одними из самых распространенных и самых сложных коллоидных систем на Земле. Изучение почв приносит все новую и новую информацию, уточняющую наши представления об этих важнейших объектах биосферы. Так, в начале XX века было обнаружено наличие у почв нерастворяющего объема (НО) [1,2], а несколько позднее – явление уменьшения концентрации солей в выщелачиваемом из почв растворе по мере увеличения давления [3–5].

В этот же период физико-химии выяснили, что вода изменяет свою структуру и свойства вблизи твердых поверхностей [6]. Аномальные особенности связанной воды были установлены для таких ее характеристик, как плотность, вязкость, диэлектрическая проницаемость, температуро-проводность [7]. Вполне логично выглядела попытка объяснить наличие в почвах НО присутствием в них связанной воды. Однако в связи с дальнейшим развитием науки стали накапливаться новые результаты, и подобное объяснение стало вызывать определенные сомнения. Так, по данным ЯМР [8] молекулы только в первых слоях, контактирующих с твердой фазой почв, обладают значительно отличающимися временами релаксации, и, следовательно, количество связанной воды в почвах должно быть достаточно мало. В то же время экспериментальное определение НО почв свидетельствует, что «связанной» воды со свойствами, отличными от свойств объемной воды, в них значительно больше, чем можно было бы ожидать, и что такой водой заполнены капилляры размером до 3 мкм [9].

Отметим противоречивость получаемых различными исследователями данных по плотности связанной воды (от 1,2–1,4 г/см³ до 1,84–2,4 г/см³). В последнее время

было убедительно доказано, что плотность связанной воды в тонких пленках толщиной около 5 нм повышена лишь на 5 % [7]. Можно предположить, что получение завышенных результатов при определении плотности воды определяется той же причиной, по которой наблюдается несоответствие между количеством воды, входящей в НО, и количеством реально связанной воды.

Для того чтобы получить более полное представление о природе НО, мы сгруппировали влияние различных факторов на величину нерастворяющего объема.

1. Увеличение рН приводит к росту НО [10,2].
2. Высушивание почв уменьшает НО [11].
3. Увеличение концентрации солей в растворе уменьшает НО [2].
4. Эффект уменьшения НО при высушивании находится в прямой зависимости от начальной влажности почвы [11].
5. Эффект уменьшения НО при высушивании обратно пропорционален концентрации солей в растворе [11].
6. Растворы различных солей дают отличающиеся величины НО [2].
7. Раствор сахара показывает в 2 раза меньшую величину НО, по сравнению с растворами солей [2].

Влияние некоторых из этих факторов объясняют с позиции различия энергий взаимодействия молекул воды с ионами в растворе или с твердой фазой почв, влияние других с позиции существования двойного электрического слоя на границе твердой и жидкой фаз. Однако единая, объясняющая влияние всех факторов концепция отсутствует. Попытка же объяснить явление с позиции «отрицательной адсорбции анионов» ошибочна.

Мы провели измерения разности потенциалов между пастами и растворами, контактирующими друг с другом. Разность потенциалов составляла единицы милливольт.

Полученные данные опровергают объяснение возникновения НО за счет «отрицательной адсорбции анионов» в поверхностном слое твердых частиц почв, так как при изменении концентрации анионов в растворе на 5–10 % при разности потенциалов между почвенной пастой и раствором 5мВ «поглощаемое» раствором количество электрических зарядов примерно равно 20 Кл, и емкость системы в этом случае должна составлять несколько тысяч фарад. Это невозможно в принципе, так как емкость всего земного шара составляет только 750 микрофарад.

Попытаемся разобраться в механизме данного явления. Для этого рассмотрим подробнее, что из себя представляет нерастворяющийся объем почвы. Прежде всего, необходимо остановиться на методике эксперимента. Она заключается в добавлении к почве солесодержащего раствора и определении изменения концентрации соли в растворе после контакта с почвой. Как правило, оценку проводят по анионам, так как концентрация катионов в большинстве почв (кроме латеритов) может изменяться и за счет ионного обмена между раствором и почвой. Определяя возрастающую концентрацию анионов в растворе, находят величину НО.

Отказавшись от концепции «отрицательной адсорбции анионов», мы должны рассматривать НО как объем, в котором не могут находиться растворенные вещества. Причин, по которым они не входят в НО, в общем случае, может быть две – либо молекулы воды связаны с твердой поверхностью, либо в этом объеме уже находятся частицы (ионы или молекулы), связанные с молекулами воды и уменьшающие ее химический потенциал. Как мы уже отмечали, до настоящего времени рассматривалась только первая возможность. Однако приведенные данные ЯМР свидетельствуют о том, что она неверна, и поэтому представляет интерес

анализ механизма реализации второй возможности.

Прежде чем начинать такой анализ, отметим весьма примечательное совпадение факторов, влияющих на НО, и факторов, влияющих на концентрацию солей в выделяемом из почвы прессованием или замещающей жидкостью – этанолом растворе. Так, в серии опытов с различными глинами было показано, что чем больше гидрофильность глины, тем при большей влажности проявлялась неоднородность выделяемого раствора. При использовании растворов с меньшей концентрацией электролита, концентрация выпрессовываемого раствора начинала изменяться раньше [4,5]. При замещении растворов из засоленных почв неоднородной части растворов вообще не обнаруживали [12]. Таким образом, характер поведения влаги, входящей в НО, и влаги, выделяемой методом прессования, совпадает, и это дает возможность выдвинуть гипотезу о едином механизме, определяющем их поведение.

Суммируя все вышеизложенное, можно предположить, что существует некая составляющая почв с большим, чем у воды, удельным весом, находящаяся на границе твердой и жидкой фаз почвы, обладающая изменяющейся структурой и способная поглощать из растворов воду. Причем увеличение рН и влажности почв приводит к увеличению размеров этой структуры, а рост концентрации солей в растворе или предварительное высушивание почв – к ее уменьшению.

Принимая во внимание, что поверхность практически всех твердых тел покрыта слоем геля [13,14], что коллоидное состояние вещества является обязательной промежуточной стадией при любых фазовых превращениях веществ, можно предположить, что рассмотрение границы твердой и жидкой фаз почвы только с позиций наличия на ней двойного слоя является явным упрощением, не позволяющим понять механизмы ряда реальных процессов, происходящих в почве, в том числе и механизма образования НО.

Отметим, что во многих почвоведческих работах обращено внимание на особые

свойства поверхности почвенных частиц [15–17]. При этом фигурируют различные термины, описывающие состояние вещества на поверхности грубодисперсной фракции почв – пленки-гели, пептизируемые осадки, железо-гуминовые и алюмо-гуминовые соединения нерастворимые в воде, органо-минеральный гель (ОМГ).

Авторы рассматривали пленки-гели как некий бесструктурный конгломерат, мы же предположили, что ОМГ – структурированное коллоидное образование, состоящее из коагуляционных структур органических и минеральных коллоидных частиц, а низкомолекулярные вещества и ионы находятся в адсорбционном слое коллоидных частиц или входят в состав диффузных атмосфер. Размещение на поверхности грубодисперсной фракции почв подобного коллоидного образования, по-нашему мнению, и придает почвам особые коллоидные свойства.

Проанализируем, как должны влиять факторы, изменяющие НО, на структуру и объем ОМГ почв, и как коррелирует изменение объема ОМГ с изменением НО.

1. Увеличение рН приводит к росту заряда на частицах ОМГ и увеличению занимаемого им объема. Растет при повышении рН и нерастворяющийся объем почв.

2. Высушивание почв приводит к коагуляции коллоидных частиц ОМГ в ближнем энергетическом минимуме и к уменьшению объема занимаемого ОМГ. Уменьшается при высушивании почв и нерастворяющийся объем.

3. Повышение концентрации солей в растворе «сжимает» ДЭС коллоидов и уменьшает объем ОМГ. Уменьшается при увеличении концентрации раствора и величина НО.

4. Различные соли по-разному влияют на объем ОМГ. Различные величины получаются при использовании для определения НО растворов различных солей.

Таким образом, наблюдается четкая корреляция между предполагаемыми на основе литературных данных изменениями структуры и объема ОМГ и изменениями величин НО.

Вышеизложенное позволяет предположить, что именно матрица ОМГ определя-

ет величину НО и неоднородность выпресовываемого раствора. Кроме этого можно сделать и другие выводы. Во-первых, что ОМГ почв включает в себя почвенную влагу. Во-вторых, что объем, который он занимает, меняется под действием различных факторов, но в каждом случае имеет конкретную величину. В-третьих, что существует граница, отделяющая ОМГ от «избыточной» влаги.

Следовательно, можно принять в качестве концепции, что проведение экспериментов по определению НО сводится к приведению в контакт поверхности грубодисперсных частиц твердой фазы почв, покрытой слоем геля, с жидкостью, содержащей растворенное вещество, и контролю за изменением концентрации этого вещества в растворе.

Термодинамическое описание подобной модели впервые было выполнено Доннаном [18]. Попытаемся применить его и для нашего конкретного случая определения НО почв.

Примем для упрощения, что в рассматриваемой системе: дисперсионная среда – раствор соли MeA , а дисперсная фаза – коллоидные частицы. Катионы Me^+ и анионы A^- свободно перемещаются по всей системе. В состоянии равновесия электрохимические потенциалы каждого из общих ионов (i -го вида) в подсистемах равны

$$\bar{\mu}_i + zF \bar{\psi} = \mu_i + zF \psi, \quad (1)$$

где μ_i и $\bar{\mu}_i$ – химические потенциалы иона;

z – заряд иона;

F – число Фарадея;

ψ , $\bar{\psi}$ – электрические потенциалы подсистем. Чертой обозначены величины, относящиеся к дисперсной подсистеме

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln a_i. \quad (2)$$

Примем $a_i = c_i$ при $c \rightarrow 0$, а $\bar{\mu}_i^0 = \mu_i^0$. С учетом этого условия для симметричного бинарного электролита ($z^+ = -z^- = z$), подставляя (2) в (1) и пренебрегая давлением набухания, находим:

$$RT \ln \bar{a}^+ + zF \bar{\psi} = RT \ln a^+ + zF \psi. \quad (3)$$

$$RT \ln \bar{a}^- - zF \bar{\psi} = RT \ln a^- - zF \psi. \quad (4)$$

Складывая эти два уравнения, получаем выражение для ионного равновесия:

$$\bar{a}^+ \bar{a}^- = a^+ a^- . \quad (5)$$

Для упрощения получаемых зависимостей с целью лучшего понимания происходящих процессов рассмотрим приближение $\bar{f}_i = f_i$, тогда

$$\bar{c}^+ \bar{c}^- = c^2 . \quad (6)$$

Теперь рассмотрим модельную ситуацию. Введем в воду, контактирующую с гелем, соль MeA. Примем, что объемы геля и контактирующего с ним раствора равны. Пусть концентрация соли в начальном состоянии в дисперсионной среде c_0 . В геле в начальном состоянии содержатся только коллоидные частицы и противоионы. Концентрации заряженных участков коллоидных частиц R^- и противоионов Me^+ примем равными X . Равновесное состояние в системе наступает за счет перехода n моль MeA из раствора в гель. Подставляя равновесные значения концентраций в (6), получим:

$$(X + n) n = (c_0 - n)^2 . \quad (7)$$

Решая относительно n , находим:

$$n = c_0^2 / (X + 2c_0) . \quad (8)$$

Из полученного выражения следует, что электролит не распределяется равномерно между гелем и контактирующим с ним раствором, а количество электролита, перешедшего в гель, зависит от количества геля, свойств коллоидных частиц и концентрации электролита в растворе. Если концентрация электролита в растворе намного превышает количество геля, то распределение происходит достаточно равномерно, в гель переходит и вода, и электролит, а определяемый нерастворяющийся объем мал. Если же концентрация электролита в растворе мала, то вода из раствора переходит в гель, а электролит в гель практически не переходит, и, следовательно, определяемый нерастворяющийся объем велик.

Конечно, Доннановское описание может дать лишь приближенное представление о происходящих процессах, так как активности компонентов принимаются рав-

ными в растворе и геле, но совпадение даже на качественном уровне подтверждает выдвинутое предположение об определяющем влиянии ОМГ почв на НО и состав выпресовываемых растворов.

Следует обратить внимание, что из приведенного термодинамического описания не следует, что гель поглощает только воду и не поглощает из раствора электролиты. Речь при определении НО может идти только о преимущественном поглощении воды по сравнению с растворенным веществом. В частности, при определении НО черноземов с использованием растворов сульфатов его величина получается равной нулю из-за взаимодействия сульфат-ионов с ионами кальция чернозема. В этом случае почвенный гель поглощает и воду, и растворенное вещество.

Нами проведено рассмотрение процесса определения НО, с одной стороны, с качественных позиций изменения объема почвенного геля, поглощающего воду из раствора, а с другой – полуколичественных позиций Доннановского описания поглощения гелем почвы электролитов раствора. Обращает на себя внимание совпадение направленности действия факторов на изменение объема геля и на поглощение гелем из растворов электролитов. Так, увеличение концентрации электролита уменьшает объем геля и увеличивает количество поглощенных гелем солей, то есть оба процесса действуют в направлении уменьшения определяемой величины НО. Повышение pH раствора увеличивает заряд коллоидных частиц и соответственно объем геля и уменьшает количество поглощенных гелем солей, что увеличивает определяемую величину НО. К тому же НО объем можно определять не только при помощи электролитов, но и используя другие растворимые в воде вещества (сахар). Все это позволяет предположить существование единого параметра, определяющего оба процесса, которым является соотношение химических потенциалов воды в геле и в растворе.

Проведенный анализ позволяет достаточно четко сформулировать, что из себя

представляет НО с физико-химических позиций. По нашему мнению, нерастворяющийся объем, определяемый принятым в почвоведении методом, является объемом чистой воды, входящей в структуру ОМГ почв при их контакте с теми или иными растворами. Отметим, что до контакта ОМГ почв уже содержит какое-то количество воды, и что при контакте с растворами в ОМГ почв входит не только чистая вода, но и какое-то количество раствора. Фактически объем воды, который находится в ОМГ складывается из трех составляющих:

$$V_{\text{омг}} = V_{\text{нач}} + V_{\text{раст}} + V_{\text{но}},$$

где $V_{\text{нач}}$ – начальное содержание воды в ОМГ до контакта с раствором;

$V_{\text{раст}}$ – количество воды, вошедшей в ОМГ в виде раствора;

$V_{\text{но}}$ – количество чистой воды, вошедшей в ОМГ из раствора.

Начальное содержание воды легко определить. Количество воды, входящей в ОМГ в виде раствора, используя условия эксперимента, вытекающие из Доннановской трактовки процесса, можно свести к нулю. Следовательно, проводя определение НО, можно определить количество воды, входящей в ОМГ почв, а значит оценить объем, который занимает ОМГ в почвах.

Изменение концентрации солей в выпрессовываемых растворах с предлагаемых позиций означает, что начинает выделяться вода, входящая в ОМГ почв. Это также позволяет оценить объем воды в ОМГ.

Список литературы

1. Думанский А.В., Думанская А.П. Связанная вода в почвах // Известия ГНИИ коллоидной химии. – Воронеж, 1934. – Вып. 2. – С. 43–55.
2. Трофимов А.В. К познанию невыделенной части почвенного раствора. Отрицательная адсорбция почвой электролитов // Научный агрономический журнал. – 1925. – № 10. – С. 613–628.
3. Крюков П.А. Горные, почвенные и иловые растворы. – Новосибирск: Наука СО АН СССР, 1971. – 220 с.
4. Крюков П.А., Комарова Н.А. Об отжимании воды из глин при сверхвысоких давлениях // Доклады АН СССР, 1954. – Т.99. – С. 617–619.
5. Крюков П.А., Комарова Н.А. Исследование растворов почв, илов и горных пород // Доклады 6 Междунар. конгр. почвоведов. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С.617-619.
6. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Овчаренко Ф.Д. и др. Вода в дисперсных системах. – М.: Химия, 1989. – 288 с.
7. Королев В.А. Связанная вода в горных породах: новые факты и проблемы // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 79–85.
8. Габуда С.П., Ржавин А.Ф. ЯМР в кристаллогидратах и гидратированных белках. – Новосибирск: Наука, 1978. – 160 с.
9. Снакин В.В., Присяжная А.А., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почв. – М.: РЭФИА, 1997. – 325 с.
10. Полубесова Т.А., Понизовский А.А. Режим и режимобразующие факторы содержания нерастворяющейся влаги в серой лесной почве сельскохозяйственного использования // Комплексное изучение продуктивности агроценозов. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1987. – С. 77–85.
11. Трофимов А.В. О пленочной влаге в почве. 1. Методика определения и свойства. 2. Динамика форм воды в почве // Научный агрономический журнал. – 1927. – № 9. – С. 560–584.
12. Комарова Н.А. К вопросу об изучении почвенных растворов // Почвоведение. – 1939. – № 10. – С. 53–64.
13. Липсон Г.А., Колодиева Т.С. Исследование процесса гидратации кластогенного кварца // Коллоидный журнал. – 1972. – Т. 34. – С. 235.
14. Мартынов Г.А. Двойной электрический слой на поверхности микропористых тел // Коллоидный журнал. – 1978. – Т. 40. – № 6. – С. 1110.
15. Золотарева Б.Н. Гидрофильные коллоиды и почвообразование. – М.: Наука, 1982. – 59 с.
16. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. – М.: Русаки, 2001. – 296 с.
17. Тюлин А.Ф. Органо-минеральные коллоиды почв, их генезис и значение для корневого питания высших растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 52 с.
18. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.

В разделе «Охотоведение» предлагается вниманию читателей серия статей известного специалиста в области охотоведения Н.Н. Харченко. В статье «Продолжительность жизни норных зверей в условиях Лесополья Среднего Подонья» рассматриваются вопросы корреляции между продолжительностью жизни и плодовитостью. Статьи «Суточная активность норных зверей Среднего Подонья», «Сезонная активность норных зверей Среднего Подонья», «Особенности сезонных миграций и расселения норных зверей в условиях Лесополья Среднего Подонья» и «Конкурентные отношения европейской и американской норки на Среднем Подонье» рассматривают суточную и сезонную активность норных зверей, миграции млекопитающих и конкурентные отношения различных видов норки.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОПОЛЬЯ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ

Н.Н. ХАРЧЕНКО, доц. ВГЛТА, канд. биол. наук

Рассматривая вопросы корреляции между продолжительностью жизни и плодовитостью, Н.А. Северцов (1855) делает вывод: «... мы видим полярность между питанием, поддержанием организма с одной стороны, и линяннем и деторождением – с другой; и, смотря по перевесу того или другого направления, порода поддерживается или быстрым размножением, или долговечностью особей, но никогда обоими вместе» [4]. Установлено, что организмы с большой продолжительностью жизни независимо от их трофического уровня в ответ на увеличение количества доступных ресурсов направляют энергию на рост и размножение. Организмы с малой продолжительностью жизни отвечают на благоприятные условия быстрым увеличением численности популяции [3].

Среди Насекомоядных зверей только ежи, да, вероятно, еще русская выхухоль, в естественных условиях доживают до 10 лет. Это самые крупные представители отряда в регионе. Продолжительность жизни мелких бурозубок, белозубок и кутор не превышает двух лет. При этом следует отметить, что в целом представители отряда сравнительно хорошо защищены от хищников (колючие панцири ежей, сложные норы выхухоли и крота, выделения пахучих желез бурозубок, белозубок и кутор). Однако все они, как правило, обнаруживают высокую зараженность паразитическими нематодами, заражаясь через поедаемых беспозвоночных – промежуточных хозяев этих паразитов.

Представители отряда Хищных зверей большие долгожители. Самые крупные из них (волк, лисица, корсак, енотовидная собака, европейский барсук, речная выдра) могут достигать 15–20-летнего возраста. Средний возраст остальных видов колеблется в пределах 5–10 лет. Хищники подвержены различным заразным, глистным и другим заболеваниям, иногда принимающим форму эпизоотий и вызывающих высокую смертность зверей на значительных пространствах. Особенно большое распространение болезни получают в «голодные годы», при неурожаях грызунов. Наибольшее распространение имеют чума, эпизоотический энцефалит, бешенство и др. Звери сильно страдают от чесотки, клещей, блох. Мелких хищников (ласка, горностай, норки, хори) преследуют более крупные хищники (в том числе и пернатые), но они более устойчивы к болезням.

Грызуны – самые не долгоживущие норные зверьки региона. Основная их масса в естественных условиях, несмотря на защитную функцию нор, живет не более 1–2 лет. Исключение составляют самые крупные из них (европейский бобр – 50 лет, степной сурик – 15 лет, обыкновенный хомяк – 15 лет, серый хомячок – 6–8 лет, ондатра – 6 лет, большой тушканчик – 5 лет), и ведущие постоянный подземный образ жизни (обыкновенный слепыш – до 6 лет).

Высокий уровень подвижности полевых и мышей ведет к значительной их гибели от многочисленных, часто специализированных хищников – миофагов, а периодиче-

ские повышения скученности – к возникновению эпизоотий. Более существенным для них является и пагубное воздействие неблагоприятных погодных условий (ливни, гололед, малоснежье и др.). В связи с этим, к зиме популяции лесных и полевых мышей, например, становятся чрезвычайно однородными по возрастной структуре и, как правило, представлены не размножавшимися зверьками позднелетних генераций. Они отличаются большей выживаемостью, в связи с длительной стабилизацией веса и размеров тела на низком уровне. Участвовавшие в размножении, доживают только до 3–4-х месячного возраста, а зверьки последней генерации живут 8–12 месяцев.

Для ряда млекопитающих (бурозубки и др.) известно и такое явление, как зимняя регрессия массы и размеров тела [2]. Сущностью адаптивного характера зимней регрессии считается возрастание массы потребляемой пищи на единицу массы тела. Таким образом, зверьки весенне-летних генераций, быстро созревающие и рано вступающие в размножение, способствуют наращиванию

численности популяции. Задача зимующих генераций – сохранить при наименьших затратах популяцию в зиму [1].

Следовательно, продолжительность жизни норных зверей региона, наряду с другими характеристиками жизненного цикла, носит выраженный адаптивный характер, и является одной из составляющих «стратегии выживания» видов в условиях изменяющейся окружающей среды.

Список литературы

1. Оленев В.Г. Анализ особенностей зимующих генераций мышевидных грызунов / В.Г. Оленев, А.В. Покровский, Г.В. Оленев // Адаптация животных к зимним условиям. – М.: Наука, 1980. – С. 64–69.
2. Пантелеев П.А. Зимняя регрессия массы тела у грызунов как адаптивное явление / П.А. Пантелеев, А.Н. Терехин // Адаптация животных к зимним условиям. – М.: Наука, 1980. – С. 75–83.
3. Риклефс Р. Основы общей экологии / Р. Риклефс. – М.: Мир, 1979. – 424 с.
4. Северцов Н.А. Периодические явления в жизни зверей, птиц и гадов Воронежской губернии / Н.А. Северцов. – М.: АН СССР, 1950. – 308 с.

СУТОЧНАЯ АКТИВНОСТЬ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ

Н.Н. ХАРЧЕНКО, доц. ВГЛТА, канд. биол. наук

Все млекопитающие по суточной активности подразделяются на *дневных*, *ночных* и *нейтральных* (активных круглосуточно). Однако характер суточной активности формировался как реакция не на световой режим, а на условия питания, с ним связанные. Не случайно количество зверей с дневным образом жизни уменьшается в открытых ландшафтах. Даже дневные животные не выходят из нор в жаркую часть летнего дня, а зимой в морозную или ненастную погоду и т.д.

Закономерное чередование периодов деятельного состояния и покоя на протяжении соответствующей части суток составляет суточный ритм активности животного. Различают *монофазную*, *двухфазную* и *полифазную* активность. В основе суточного

ритма лежит тип питания и соответствующая ему скорость пищеварения (внутренний датчик времени).

Среди представителей отряда Насекомоядных зверей ежи считаются сумеречными и ночными животными. Кривая их активности скорее соответствует двухфазному типу. Днем эти зверьки спят в своем логове, лежа на боку и подогнув лапки к голове. Обыкновенный крот, русская выхухоль и все землеройки имеют нейтральную полифазную активность, составляющую 50–70% времени суток. Однако к ночному времени приурочены самые долгие периоды суточной активности. Имеет место частая смена сна и бодрствования. Крошечная бурозубка, обладая существенно большей подвижностью, чем ее сравнительно более крупные сородичи, са-

мую высокую активность проявляет в утренние часы, спит до 80 раз в сутки.

Большая часть зверей из отряда Хищных имеет ночную активность. При этом проявляются двухфазные ее пики в первую и вторую половину ночи. В зависимости от обилия и характера корма, даже такие ночные хищники, как волк, лисица, корсак, могут быть активными полные сутки. Ночная полифазная активность характерна для енотовидной собаки, добывающей корм собирательством. Ночная монофазная активность присуща европейскому барсуку. Ночью эти зверьки рыщут по лесу, а возвращаются в нору на рассвете: летом – около трех часов утра, осенью – до восхода солнца. Днем барсуки лишь изредка и только в хорошую погоду выходят погреться на солнышке.

Самые мелкие хищники (ласка, горностай) относятся к животным с неблагоприятным соотношением поверхности тела и его массы, в результате чего теряют много тепла; для них характерен высокий основной обмен. Большую потерю энергии они вынуждены возмещать постоянно, поэтому охотятся круглосуточно, проявляя полифазный тип активности. В определенных условиях и хори могут проявлять нейтральный полифазный тип суточной активности.

Грызуны наиболее разнообразны по видам и типам суточной активности. Варианты дневной активности самые немногочисленные. Они характерны для таких растительноядных зверей как крапчатый и малый суслики, степной сурок (дневная двухфазная активность). Суточная активность сусликов зависит во многом и от погоды. В погожие дни зверьки выходят на кормежку в 6–7 часов утра. После подсыхания росы (9–10 часов) почти все население колонии кормится. Снижается активность с 12 до 15 часов дня. Вечерний подъем активности наступает с 17 до 21 часа.

В ненастные дни суслики отсиживаются в норах и даже временно запечатывают их земляными пробками, так как не выносят намокания.

Сурки-байбаки, как исключительно дневные норные звери, пасутся и греются на

солнце на протяжении всего светового дня, с перерывами на жаркие полуденные часы. В мае, после выхода из нор малышей, все зверьки ходят по участку с 5 часов утра до 21 часа вечера. Не имея потовых желез, байбаки не переносят перегрева и от избыточной температуры тела освобождаются в прохладной норе. Избегают также выходить из норы в сильный ветер, проливной дождь и густой туман. В местах сенокосения нормальная суточная жизнь обитателей колонии нарушается, поэтому после окончания этих работ зверьки начинают кормиться в разгар лета с весенней интенсивностью, т.е. полный день. В августе – начале сентября на поверхности остаются активными только сеголетки, продолжающие расти годовики, рожавшие самки и, по каким либо причинам, ослабленные особи. Они и становятся основной добычей активизирующихся к осени, ставших более многочисленными, хищников.

Ночная монофазная активность свойственна только желтогорлой мыши. Предпочитаемые ею на Среднем Подонье крупные желуди и орехи лещины быстро удовлетворяют кормовые потребности вида. Добычу зверьки всегда уносят и очень редко поедают на месте. Создаваемые постоянные запасы сокращают время суточной активности, придавая ей монофазный характер.

Ночная двухфазная активность характерна для всех видов сонь, домовый и лесной мышей, большого тушканчика и обыкновенного емуранчика. В природных условиях домовые мыши деятельны в сумеречные часы, а их суточная активность в постройках человека сдвигается на ночь. Добывая корм, сони деятельны в поздние сумерки и ночью. Выход из норы большого тушканчика наблюдается только после захода солнца, но молодые особи могут выходить на непродолжительное время и днем. Погода сильно не влияет на кормовую активность и зверьки жируют даже в дождь.

Ночную полифазную активность проявляют европейский бобр и ондатра. Ночные жировки продолжаются 1,5–2 часа, а в теплые ночи до восхода солнца. Отдельных кормящихся зверьков можно видеть в любое

время суток, но более активны они все же в сумерки и ночью.

Наиболее обычной для представителей отряда грызунов является нейтральная полифазная суточная активность. Все виды мышовок, мышь-малютка, крысы, обыкновенный хомяк и серый хомячок, полевки, степная пеструшка, обыкновенный слепыш активны полные сутки с определенными перерывами для отдыха. Мышь-малютка, например, за кормом из гнезда выходит практически каждый час, но не надолго. Частая смена активности и покоя, сравнительно равномерно распределяющаяся в течение суток, характерна для зеленоядных грызунов. У видов со смешанным питанием наблюдается меньшая частота выходов с более

четкими вечерними и утренними максимумами. У всеядно-семеноядных грызунов частота ритма меньше, но периоды активности более продолжительны. Нейтральный двух-трехфазный тип кривой с максимумом в вечерние часы характерен для обыкновенной слепушонки.

Таким образом, суточная активность норных зверей должна рассматриваться как важный адаптивный признак, связанный с трофической специализацией вида. Именно характер питания и опасность со стороны хищников определяют ритм и общий вид суточной активности. Устойчивому питанию и стабильной кормовой базе соответствует устойчивая суточная активность, и наоборот.

СЕЗОННАЯ АКТИВНОСТЬ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ

Н.Н. ХАРЧЕНКО, доц. ВГЛТА, канд. биол. наук

Часть норных зверей активна круглый год, другая – впадает в зимнюю спячку. Спячка – сложная эколого-физиологическая адаптация. В ее эволюционном развитии установлены три основные фазы: кратковременная гипотермия в течение суточного цикла; кратковременное оцепенение; настоящая спячка с совершенными механизмами разогревания. Экспериментально доказано, что все эти фазы стимулирует большей частью голод [2]. К видам зимней спячки относятся кратковременное оцепенение и настоящая спячка, но глубина последней может быть различной.

Среди Насекомоядных зверей зимоспящими являются только ежи, для которых их основные корма (беспозвоночные) в зимних условиях становятся недоступными. Ложатся в спячку ежи в октябре – ноябре. В состоянии спячки температура тела снижается до $+5^{\circ}\text{C}$. В мягкую погоду зимой ежи могут просыпаться и даже выходить из своего убежища. Для этих зверьков пагубны малоснежные морозные зимы и большие весенние паводки. Полностью они пробуждаются в конце марта – апреле, после схода снега. Весной много едят и пьют воду.

Основные корма хищников, их доступность и способы добывания позволяют им вести активный образ жизни на протяжении всего года. К зимоспящим относятся только енотовидная собака и европейский барсук, основными кормами которых являются беспозвоночные и мелкие позвоночные животные.

Енотовидная собака в конце ноября, набрав достаточное количество жира (35–50 % собственной массы) и достигнув предельной упитанности (до 8 кг), залегает в спячку. На зиму ложатся парами и целыми семьями, одиночно – только старые самцы. Молодые особи ложатся в норы почти всегда позже взрослых, так как отстают в нагуливание жира, необходимого для перезимовки в состоянии оцепенения. Спит енотовидная собака легко и чутко. Даже при хорошей упитанности в зимние оттепели выходит побродить, погреться на солнышке и при возможности подкормиться. От норы обычно дальше 100–150 м не отходит. Завершается состояние зимнего оцепенения в феврале-марте.

Накопив к октябрю запасы подкожного жира, вычистив нору и заполнив гнездовую камеру подстилкой, барсуки все реже и позже показываются из норы, чаще про-

пуская вечерние выходы, появляясь на поверхности 1–2 раза в неделю. С наступлением устойчивых морозов и выпадением снега переходят в состояние зимнего оцепенения (зимнего сна). Сон не сопровождается понижением температуры тела и замедлением жизненных функций. Пробуждаются барсуки с весенними оттепелями, используя их для прогулок, посещения озими. Регулярно начинают выходить из норы с появлением среди осевшего снега значительных проталин.

Почти половина видов из отряда Грызунов проводят зиму на Среднем Подонье в состоянии глубокой спячки. Среди них типичные зеленоеды – степной сурок и большой тушканчик; семенная орешниковая соня; семено-зеленоядные крапчатый и малый суслики, обыкновенный емуранчик; семено-плодо-насекомоядные соня полчок, лесная и садовая сони; семено-насекомоядные лесная, степная, южная и темная мышовки. Резко снижают зимнюю активность всеядный обыкновенный хомяк, семено-зеленоядный серый хомячок. Как правило, это виды, питающиеся мало доступными зимой концентрированными кормами (семена, насекомые). Проблему переживания бескормного периода они решают путем физиологических адаптаций: накоплением жировых отложений с последующей глубокой спячкой.

Степные сурки зимуют семьями (родительская пара, прибылые), но иногда в зимующую группу входят и неполовозрелые особи помета предыдущего года. Семьи, имеющие молодых сурков, засыпают позднее и просыпаются раньше на несколько дней, чем семьи, состоящие только из пары. В зависимости от погодных условий, глубокая спячка начинается в середине сентября-октябре и длится по март-апрель (около 200 дней). Осенью (в конце октября), перед залеганием в спячку, байбаки даже в неволе освобождаются от глистов, обильно выделяя их с испражнениями, хотя явно никаких глистогонных растений не использовали [1]. Спят байбаки свернувшись клубком, касаясь мордой живота и тесно прижавшись друг к другу. Температура тела зверьков снижается до температуры воздуха в норе (+3, +10⁰С), за-

медляется дыхание и сердцебиение. Кровь приобретает свойство сезонной гемофилии (не свертывается), глаза плотно сомкнуты, желудочно-кишечный тракт пуст. Зверьки периодически просыпаются, чтобы в уборной опорожнить мочевой пузырь от продуктов метаболизма, идут в туалет и обратно, не открывая глаз [4]. Весной выходят через новый ход.

Большие тушканчики начинают с середины сентября посещать свои зимовочные норы или активно строить новые. Массово впадают в спячку с наступлением ночных заморозков. На Среднем Подонье зимний сон длится с первой половины октября по март без перерывов.

Все виды сонь зимоспящие. Самый глубокий (связанный с замедлением всех жизненных процессов) и продолжительный (до первой половины июня) зимний сон у сони-полчка. Затяжная спячка этого вида связана с недостаточностью и малой калорийностью его весенних кормов. У лесной и садовой соней столь глубокой спячки не бывает, она может прерываться в затяжные оттепели. Орешниковая соня засыпает в сентябре, а просыпается в мае; отыскивает свои запасы орехов, желудей, других крупных семян, которыми усиленно питается для восстановления сил и энергии.

Уход в зимовочную нору крапчатого суслика определяется на севере ареала наступлением холодной и дождливой погоды, а на юге – выгоранием растительности. В засушливые годы суслики могут впасть в спячку уже в июне-июле, т.е. зимней их спячке, в этом случае, предшествует летняя. Первыми впадают в спячку половозрелые самцы, затем – самки (после распада выводков и подготовки зимовочных нор), последними залегают прибылые. Разница в сроках залегания различных половых и возрастных групп может достигать 1,5–2 месяцев [3]. В подобной последовательности идет и весеннее пробуждение. Длится спячка с августа по апрель (9 месяцев). Зимний сон глубокий, протекает в полном оцепенении, спят зверьки не просыпаясь. Имеющиеся в норе небольшие кормовые запасы используются весной после пробуждения.

Сроки ухода в спячку и пробуждения малого суслика сильно растянуты и также зависят от погодных нестабильных условий региона. Зимняя спячка обыкновенного емуранчика начинается после заморозков на почве. Общая ее продолжительность с октября по март. Зверьки могут прерывать спячку в зимние оттепели.

Семено-насекомоядные мышовки ко времени спячки быстро жиреют на концентрированных кормах, удваивая за счет жировых отложений свой вес. Общая продолжительность спячки в условиях региона – около 8 месяцев.

С наступлением холодов обыкновенные хомяки закладывают земляными пробками отверстия норы и впадают в зимнюю спячку, которая длится с конца сентября по апрель. Во время зимней неглубокой спячки зверьки периодически просыпаются и питаются заготовленными обильными запасами. В период зимних оттепелей могут даже выходить на поверхность. Крепко и надолго засыпают в особо морозные зимы. Регулярно покидать нору начинают с первыми проталинами.

Серого хомячка к зимоспящим видам не относят. Зимой зверьки имеют понижен-

ную активность, но в глубокую спячку не впадают. Свои кормовые потребности удовлетворяют за счет кормовых запасов, всегда присутствующих в норе.

На основании изложенного можно заключить, что зимняя спячка является распространенной адаптивной особенностью жизненных циклов норных животных региона. Наличие или отсутствие данной особенности жизненного цикла может служить надежным признаком для выделения жизненных форм норных животных.

Список литературы

1. Барабаш-Никифоров И.И. Звери юго-восточной части черноземного центра / И.И. Барабаш-Никифоров. – Воронеж: Воронежское кн. изд-во, 1957. – 340 с.
2. Башенина Н.В. Пути адаптации мышевидных грызунов / Н.В. Башенина. – М.: Наука, 1977. – 355 с.
3. Калабухов Н.И. Эколого-физиологические особенности «жизненных форм» грызунов лесостепи и степей левобережья Украины и Европейской части РСФСР / Н.И. Калабухов // Зоологический журнал. – М.: АН СССР, 1955. – Т. XXXIV. Вып. 4. – С. 734–746.
4. Машкин В.И. Европейский байбак: экология, сохранение и использование / В.И. Машкин. – Киров, 1997. – 156 с.

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ МИГРАЦИЙ И РАССЕЛЕНИЯ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОПОЛЬЯ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ

Н.Н. ХАРЧЕНКО, доц. ВГЛТА, канд. биол. наук

Миграциями называются сезонные, обратимые передвижения зверей на более или менее значительные расстояния [1]. Они носят приспособительный характер и связаны с сезонными изменениями метеорологических и кормовых условий, а также с определенными стадиями жизненного цикла. Миграции имеют и географическую специфику.

На Среднем Подонье обитатели полей наиболее подвижны. Это связано с такими значительными факторами беспокойства как: разрушение нор вспашкой, уход за посевами, уборка и вывоз урожая. После вспашки на полях остаются единичные экземпляры норников, лишенные нор, кормов, условий укрытости. Вселение на засеянное поле норных

зверей происходит после подрастания посевов, сюда они приходят за постоянно увеличивающимся по количеству и разнообразию кормом, а затем и поселяются. После уборки урожая норные зверьки поселяются в скирдах и стогах соломы, или мигрируют к жилью человека. Островки дикой растительности на полях служат стациями переживания. Таким образом, возникает четкий периодизм миграций и как следствие его – повышение плодovitости обитателей полей. В лесу миграции не так выражены за счет высокого уровня разнообразия и разнокачественности среды. Здесь более редки очаги заболеваний, отбор хищниками не так высок, не образуется большой скученности особей, даже в малокормное зимнее время.

Общая сезонная закономерность миграционных процессов следующая: летом норные звери проявляют наиболее высокую территориальность; осенью усиливается их подвижность, а инстинкт дома затухает; зимой подвижность резко падает, образуются различного рода локализации; весной вновь возрастает подвижность, завершающаяся возвращением в летние станции, образованием индивидуальных участков.

Насекомоядные звери регулярных, периодических и тем более обратимых миграций в условиях Среднего Подонья не имеют. Им свойственны расселения прибылых особей и кормовые, как правило, беспорядочные странствия в занимаемых биотопах. Русская выхоль покидает обмелевшие водоемы. Землеройки проявляют склонность к сезонным кормовым миграциям.

Хищные звери регулярно кочуют в пределах своих охотничьих территорий. Голодая, они расширяют их границы, постепенно переходя к бродяжничеству. Резкое снижение кормности угодий толкает зверей на нерегулярные, обычно необратимые миграции. Лисица и корсак наиболее склонны к сезонным обратимым миграциям. Глубоко-снежье и состояние наста лежит в их основе. В условиях региона сезонные перемещения лисиц слабо выражены. Здесь вид кочует по угодьям, в соответствии с их усилиями, затрачиваемыми на кормодобывание. Сезонные кочевки корсака – обычное явление и носят регулярный характер по всему ареалу, становясь практически закономерными у его гра-

ниц. На Среднем Подонье корсаки поздней осенью всегда откочевывают к югу.

Грызунам также свойственны расселения и переселения, приобретающие значительные масштабы, особенно, в годы массовых их размножений. Двигаясь по руслам рек, бобры пересекают участки, занимаемые другими семьями, и способны удаляться от брошенных своих поселений на расстояние до 200 км. На значительные расстояния переселяются и степные сурки. Передвигаются они по утренним и вечерним зорям, отдыхая в примитивных неглубоких норах. В составе их мигрирующих групп при одном самце бывают две самочки. Мыши и полевки имеют хорошо выраженные сезонные кормовые миграции в условиях лесопольного ландшафта. Водяной крысе свойственны сезонные обратимые миграции с четко выраженной сменой станций, однако в определенных условиях особи этого вида не выходят за рамки ограниченных передвижений.

Таким образом, в условиях лесопольных ландшафтов Среднего Подонья в полной мере проявляется приспособительный, адаптивный характер сезонных миграций норных зверей. Причем, характерной особенностью, в данной ситуации, является возникновение глубоких адаптаций к антропогенному воздействию на экосистемы региона.

Список литературы

1. Барабаш-Никифоров И.И. Териология / И.И. Барабаш-Никифоров, А.Н. Формозов. – М.: Высшая школа, 1963. – 393 с.

КОНКУРЕНТНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ И АМЕРИКАНСКОЙ НОРК НА СРЕДНЕМ ПОДОНЬЕ

Н.Н. ХАРЧЕНКО, доц. ВГЛТА, канд. биол. наук

Механизм конкуренции между рассматриваемыми видами норки не сводится только к физическим преимуществам того или другого вида. Он гораздо сложнее и должен рассматриваться на биоценоотическом уровне. Становится все более очевидным тот факт, что вместе европейская и американская норки, при явно большей экологической пластичности последней, длитель-

ное время сосуществовать не могут. Там, где появилась американская норка, через 5–10 лет европейская норка практически полностью исчезает [3].

Внешне американская и европейская норки очень похожи. Первая имеет выраженное белое пятно только на подбородке, тогда как у второй оно отчетливо проступает и на губах.

Промеры тела и его придатков нами выполнены на 18 экземплярах американской норки и на 2 экземплярах (самец и самка) европейской норки. Сравнивая в целом размеры рассматриваемых видов, можно утверждать, что особи американской норки более крупные и массивные. Средняя масса американской норки на 30 % больше, чем европейской. Это уже само по себе дает немалое преимущество акклиматизированному хищнику, самки которого в конкурентных отношениях за участок могут физически подавлять даже самцов аборигенной европейской норки. Соотношение отделов тела и его придатков у двух видов примерно равное. Однако американская норка имеет более выраженную оторочку из жестких волос по бокам пальцев, что увеличивает площадь гребущей поверхности конечностей и не мешает при передвижении по суше. У американской норки более высокие ноги. Тонкий и подвижный хвост у европейской норки составляет 44 %, а у американской – 53,4 % длины тела, что увеличивает возможности маневрирования последней при кормодобывании на воде и на суше.

В местообитаниях Среднего Подонья европейская норка широко распространена, но вместе с тем и очень малочисленна. Ее явно вытесняет американская норка, ставшая обычным, а в ряде мест и весьма многочисленным видом. Наблюдаются встречи и «цветных» экземпляров, сбежавших со звероводческих ферм и прижившихся на свободе. В островных лесах центральной лесостепи жизненным требованиям норок наиболее отвечают сильно захламленные участки по берегам ручьев и небольших речек. Обычны норки в бобровых угодьях и, прежде всего, в ольшаниках, по берегам стариц, по болотам, сильно поросших ивняком, в верховьях мелководных водохранилищ. В зимний период норки концентрируются в полостях береговых «нависов», в «пустоледьях», скрытых под снегом [2].

Аборигенная европейская норка более строга в выборе места расположения выводкового гнезда (таблица).

Судя по имеющимся данным, предпочтение в этом отношении, отдается собственным норам и дуплам деревьев. Укрытия устраиваются преимущественно в береговых

размытостях (под корневыми лапами древесно-кустарниковой растительности) и в тростниковых завалах пойменных мелководий. Норы других животных используются редко и, видимо, только с целью укрытия.

Американская норка выводковые гнезда стремится располагать в естественных полостях береговых размытостей и тростниковых завалов. Норы других зверей используются для этих целей даже чаще, чем собственные. Спектр убежищ, занимаемых под укрытия, сравнительно более широкий, с явным предпочтением тростниковых завалов и нагромождений лесного валежа. Следовательно, акклиматизированная американская норка для своего жилища избирает естественные полости и норы других животных, а собственных нор практически не строит, экономя, таким образом, силы и время.

По усредненным данным, в питании европейской норки преобладают лягушки (поздней осенью – 50 %, зимой и ранней весной – 55–57 %, с мая по ноябрь – 40 % случаев). Другие амфибии почти не поедаются. Мелкие млекопитающие (грызуны, насекомоядные) в начале зимы и ранней весной могут составлять до 30 % пищевого рациона, а в другое время – в пределах 10–15 %. Рыба поедается в относительно небольших количествах (до 10 %), с увеличением ее доли на период нереста окуня, плотвы, вьюна, гольца и др. Среднегодовая доля птиц в кормах норки европейской незначительная (до 5 %). На второстепенные корма приходится 15 %.

Для американской норки основным кормом является рыба со среднегодовой долей ее использования до 40 %. Этот показатель меньше, чем у речной выдры, но больше, чем у норки европейской. Среди отлавливаемых рыб преобладают мелкие экземпляры (до 200 г). Доля лягушек в пищевом рационе не зависит от типа водоема и их использование имеет четкую сезонную приуроченность (осеннее-зимне-весенние корма).

Добыча мелких млекопитающих – распространенное явление, но также имеет тенденцию к сезонным изменениям. В период ледостава млекопитающие могут становиться основным кормом (рыжая полевка, водяная крыса, ондатра, многие мыши, бурозубки и др.).

Распространение гнезд и убежищ норок по типам угодий

| Места расположений выводковых гнезд и убежищ | Количество гнезд и убежищ шт./% | | | |
|--|---------------------------------|----------|--------------------|----------|
| | Европейская норка | | Американская норка | |
| | выводковые гнезда | укрытия | выводковые гнезда | укрытия |
| Собственные норы | 3 / 50,0 | – | 1 / 7,1 | – |
| Береговые размытости | 1 / 16,7 | 5 / 41,7 | 4 / 28,6 | 6 / 9,4 |
| Тростниковые завалы | – | 3 / 25,0 | 5 / 35,7 | 8 / 25,8 |
| Дупла деревьев | 2 / 33,3 | 1 / 8,3 | – | – |
| Кули лесного валежа | – | 1 / 8,3 | 1 / 7,1 | 9 / 29,0 |
| Норы других животных | – | 2 / 16,7 | 3 / 21,4 | 7 / 22,6 |
| Брошенные строения | – | – | – | 1 / 3,2 |

Американская норка быстрее реагирует на появление массового, а значит и наиболее доступного корма. От нее страдают многие водоплавающие птицы в гнездовой период, возможен вред для домашней птицы. При наличии падали зверьки охотно поедают ее. Ими подбираются также подранки и битая пернатая дичь в активно эксплуатируемых охотничьих угодьях. Среднегодовой рацион американской норки в условиях региона составляет: рыба – 35%, млекопитающие – 15%, второстепенные корма – 15%.

При равной продолжительности жизни, возраст половой зрелости у норки американской наступает раньше (на 7-8 месяцев, против 12 месяцев у норки европейской). Период размножения также более ранний (с февраля) и более продолжительный. По М.Д. Абрамову [1], ранние сроки спаривания американских норок увеличивают продолжительность беременности, а значит новорожденные бывают более жизнеспособными и быстрее развиваются. Средняя плодовитость американской норки в присутствии конкурирующего вида (европейской норки) возрастает почти в два раза, что позволяет пришельцу уже за 3–4 года полностью осваивать отдельные водные системы [3].

Таким образом, определенное физическое подавление аборигенной норки (европейской) со стороны успешно акклиматизированного интродуцента (американской норки), более широкая экологическая пластичность и преимущества особенностей жизненного цикла последней позволили ей освоить и занять значительно более широкие околотоводные пространства. Европейская

норка оказалась оттесненной в относительно стабильные, но ограниченные по площади, отличающиеся выраженной локальностью условия верховий водотоков. Последнее резко сократило жизненное пространство аборигенного вида в пределах региона и привело норку европейскую на грань вымирания.

Конкурентные отношения американской норки с такими близкими по трофике и местам обитания видами, как выдра, лесной хорь, горностай, ласка также имеют место в условиях Среднего Подонья. Здесь американская норка активно осваивает околотоводные биотопы, вносит ощутимые изменения в состав зооценозов, становясь во главе иерархической цепочки этой группы хищников. Наиболее сильный ее конкурент – речная выдра, по крайней мере косвенно, зависит от уровня загрязнения водоемов и водотоков, а с другой стороны – явно уступает американской норке в использовании более широкой кормовой базы околотоводных лесных пространств.

На основании изложенного, дестабилизирующая роль американской норки в околотоводных экосистемах Среднего Подонья становится очевидной. Вселенный вид подлежит постоянному регулированию численности его особей.

Список литературы

1. Абрамов М.Д. Разведение норок / М.Д. Абрамов. – М., 1961. – 198 с.
2. Барабаш-Никифоров И.И. Звери юго-восточной части черноземного центра / И.И. Барабаш-Никифоров. – Воронеж: Воронежское кн. изд-во, 1957. – 340 с.
3. Сидорович В.Е. Норки, выдра, ласка и другие куны / В.Е. Сидорович. – Минск: Урожай, 1995. – 191 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ В ДЕРЕВЯННОМ ДОМОСТРОЕНИИ ЗА РУБЕЖОМ

Н.А. БУРДИН, *проф. каф. бух. учета, эконом. анализа и аудита МГУЛа, д-р экон. наук,*
В.В. ПЕШКОВ, *ОАО «НИПИЭИлеспром»*

Под клееными конструкционными изделиями из древесины за рубежом подразумевают товары, используемые в качестве традиционных стандартных пиломатериалов хвойных пород на рынках конструкционных пиломатериалов.

В основном это – клееные пиломатериалы из шпона, деревянные двутавровые балки и дощато-клееные лесоматериалы.

Клееные пиломатериалы из шпона являются наиболее широко используемым видом конструкционных композиционных пиломатериалов. Они производятся путем склеивания тонких листов шпона, которые набираются в пакет таким образом, чтобы текстура всех листов была параллельна длине заготовки. Затем склеенный пакет распиливается в размер в зависимости от его конструкционного назначения. Клееные пиломатериалы из шпона используются в самых различных областях, в том числе для изготовления ригелей и балок, накосных стро-

пильных ног и стропильных ног под ендовой, дощатого настила подмостей, а также в качестве материала для полок деревянных двутавровых балок (рис.1).

Производство клееных материалов из шпона в мире выросло с 1995 по 2002 гг. с 1,0 до 2,1 млн м³ – в 2,1 раза, из них 85 % было произведено и потреблено в Северной Америке.

Дощато-клееные лесоматериалы – это конструкционный напряженный материал, получаемый путем склеивания пиломатериалов толщиной 50 мм или менее. Дощато-клееные лесоматериалы обычно используются для изготовления ригелей, ферм, прогонов, балок и арок, а также в наружных конструкциях, как то: мосты, морские сооружения и опорные элементы линий электропередачи и связи (рис.2).

Производство дощато-клееных лесоматериалов в мире выросло с 1995 по 2000 гг. с 1,8 до 3,1 тыс.м³, более чем в 1,7 раза.

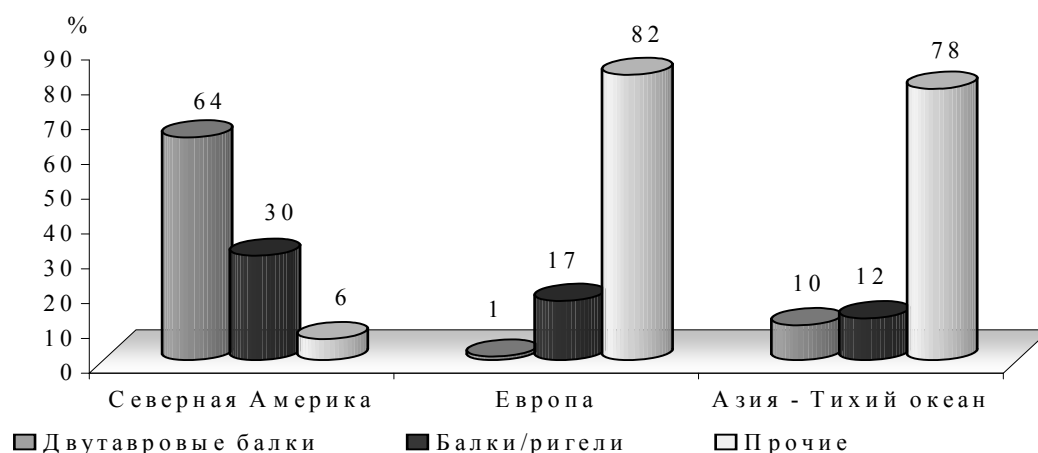


Рис. 1. Конечные области использования клееных пиломатериалов из шпона в разбивке по регионам

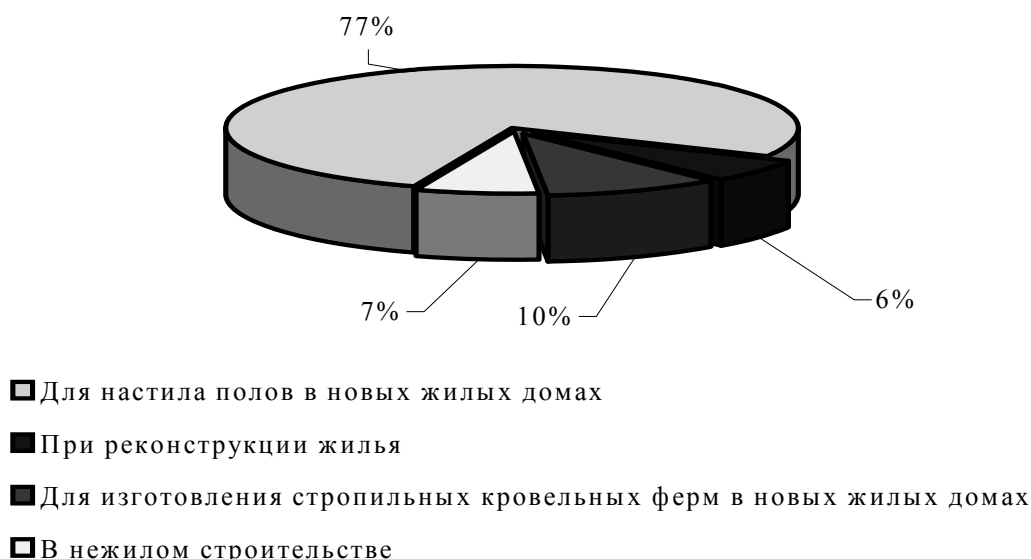


Рис.2. Спрос на дощато-клееные лесоматериалы в Европе

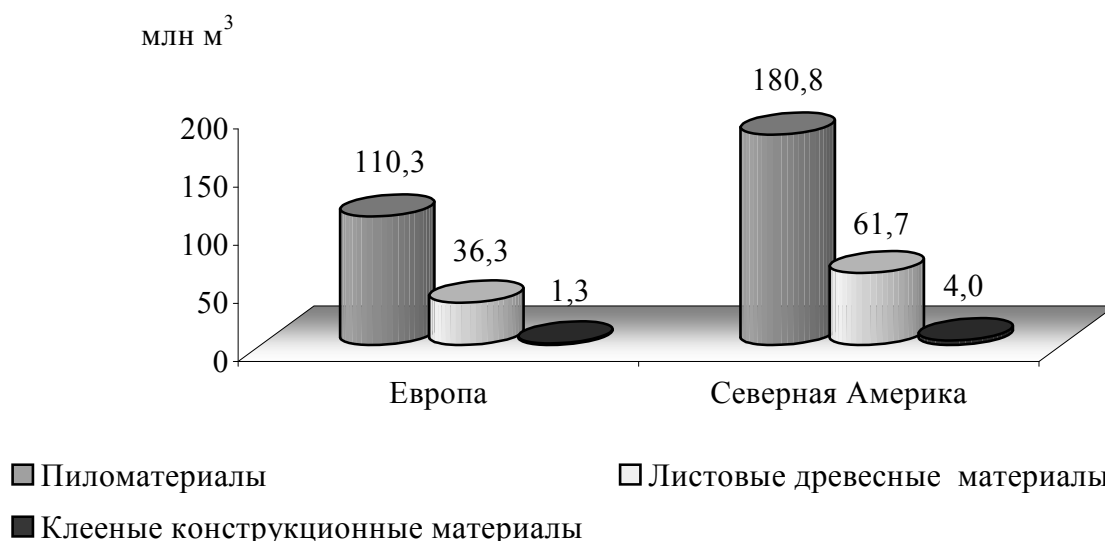


Рис. 3. Потребление пиломатериалов, листовых древесных материалов и клееных конструкционных материалов в Европе и Северной Америке

Деревянные двутавровые балки являются конструкционным несущим материалом, который используется, главным образом, в конструкциях перекрытия. Эти балки имеют большую длину и низкий удельный вес. Материалом для полок двутавровых балок обычно служат стандартные пиломатериалы или клееные пиломатериалы из шпона; шейка балки, как правило, изготавливается из

древесностружечных плит с ориентированной стружкой (OSB) или фанеры.

В числе факторов, содействующих развитию этого сектора, можно назвать стремление строителей получить материал, имеющий более предсказуемые эксплуатационные качества, стабильность цен и необходимость снижения затрат труда и времени на строительной площадке. Еще одним факто-

ром является необходимость сокращения объема отходов, образующихся на строительной площадке. Согласно результатам последних исследований национальной ассоциации строителей жилых домов, при строительстве одного односемейного дома в США образуется более 3,5 тонн отходов, из которых 38 % – древесные.

За период с 1995 по 2000 годы производство двутавровых балок в мире выросло с 0,8 до 1,9 млн м³ – в 2,3 раза, причем 95 % было произведено и потреблено в Северной Америке.

Потребление клееных конструктивных изделий из древесины растет, особенно быстро в Северной Америке и Европе, хотя в настоящее время их рынок по сравнению с пиломатериалами и листовыми древесными материалами невелик (рис.3).

Северная Америка

Двумя ключевыми факторами роста спроса на клееные конструктивные изделия из древесины в Северной Америке являются строительство преимущественно деревянных каркасных домов и изменения, происходящие в предложении древесины хвойных пород, связанные с резким сокращением поставок древесины хвойных пород из общественных естественных лесов в западной части США и Канады.

Факторами, влияющими на использование клееных конструктивных изделий из древесины в Северной Америке, являются объемы строительства нового жилья и тот факт, что доля деревянных каркасных домов составляет в нем 90 %.

В Европе доля жилых домов с деревянными каркасами составляет всего 10 %, а остальные 90 % приходятся на дома со стальными и железобетонными каркасами. В Японии доля жилых домов с деревянными каркасами и со стальными и железобетонными каркасами является примерно одинаковой. (рис. 4.)

Благодаря эксплуатационным характеристикам и приемлемой стоимости клееных

конструктивных изделий из древесины деревянные каркасные дома пользуются большой популярностью.

Развитию рынка клееных конструктивных изделий из древесины в Северной Америке способствовало принятие новых строительных правил, основывающихся на функциональных требованиях, в отличие от ранее применявшихся строительных правил, в которых определялись конкретные материалы и методы производства. Благодаря этому лесная промышленность Северной Америки, выпускающая клееные конструктивные изделия из древесины, смогла воспользоваться имеющейся в изобилии относительно дешевой древесиной быстрорастущих пород, которая прежде использовалась недостаточно эффективно. Североамериканская промышленность начала выпуск высококачественных конструктивных изделий из древесных пород, которые ранее считались «сорными», например осины, березы, клена красного и амбрового дерева.

Клееные конструктивные изделия из древесины обладают двумя функциональными преимуществами, которые должны способствовать расширению их использования в жилищном строительстве:

1) равномерная прочность, которая повышает их конструктивную ценность и обеспечивают более эффективный монтаж;

2) наличие более эффективной технологии переработки, обеспечивающей более высокий выход продукции из сырья.

Выход готовой продукции с одного неокоренного бревна в лесопильной промышленности Северной Америки составляет в среднем 40 % , в то время как соответствующий показатель по клееным материалам из шпона составляет 52 %, кроме того цены на клееные конструктивные изделия из древесины являются относительно стабильными, что особенно ценится крупными строительными компаниями, которые продают многие дома еще до того, как они будут построены.

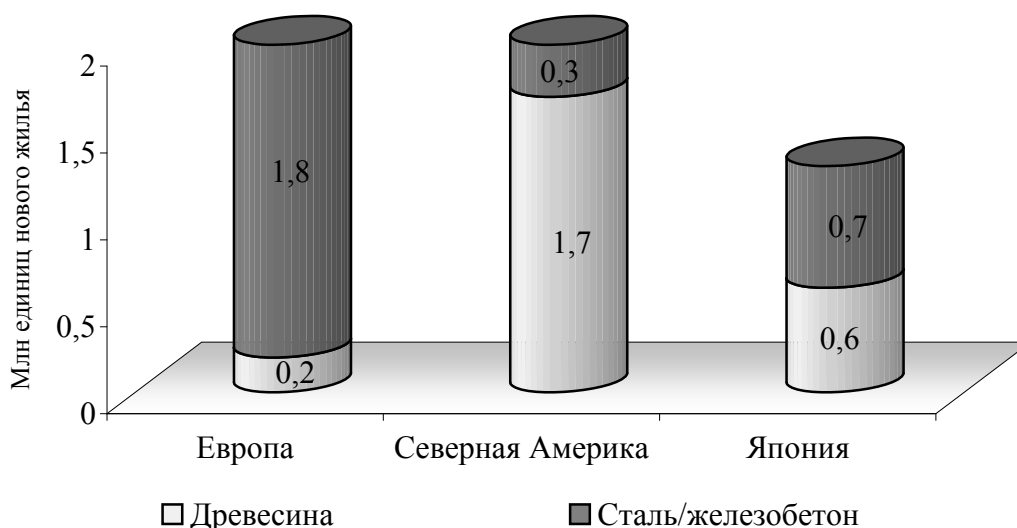


Рис.4. Строительство деревянных каркасных домов

Экономия затрат, которую дают клееные конструкционные изделия из древесины, чаще всего измеряют в показателях экономии труда.

В качестве примера можно привести конструкцию пологого перекрытия: в традиционной деревянной конструкции используется 133 доски, в то время как в конструкции из двутавровых балок – всего 80 (на 40 % меньше), в связи с чем ее монтаж требует меньших затрат труда. В большинстве случаев погонный метр клееных конструкционных изделий из древесины, по сравнению с традиционными материалами, стоит дороже, однако, они являются более прочными и обеспечивают экономию труда. Последнее особенно важно, так как в секторе строительства Северной Америки ощущается нехватка квалифицированной рабочей силы. В связи с этими тенденциями строители вынуждены все больше внедрять трудосберегающие методы строительства, включая возведение различных видов сборных домов, как то: домов из модульных секций (состоящих из 2–6 секций заводского изготовления), мобильных и панельных домов (панели изготавливаются на заводах). На дома, полностью построенные на месте, сегодня приходится менее трети объема строительства нового жилья в США.

В Северной Америке клееные пиломатериалы из шпона используются главным образом в секторе жилищного строительства в качестве материала для полок двутавровых балок (50 %), а также для изготовления конструкционных балок (43%), включая ригели гаражных дверей, прогоны, опорные балки и т.п. Двутавровые балки служат опорами для пола и стропилами в платформо-каркасных деревянных конструкциях.

Сегодня в США из двутавровых балок монтируется 40 % всех междуэтажных перекрытий над первым и последующим этажами (исключая первый этаж, пол которого является бетонным), при этом ожидается, что в течение 10 лет эта доля возрастет до 80 %.

Европа

В Европе основным видом клееных конструкционных изделий из древесины являются дощато-клееные лесоматериалы. Они используются, главным образом, в качестве элементов несущих конструкций при возведении торговых и промышленных зданий. Они могут служить балками, аркадами и колоннами.

Доля дощато-клееных лесоматериалов в общем объеме потребления клееных конструкционных изделий из древесины в Европе составляет 95 %. Европа не только потребляет большое количество этих лесоматериалов, но и производит их.

материалов, но и является их крупнейшим экспортером, главным образом, в Японию.

Ведущим европейским производителем и крупнейшим в мире потребителем дощато-клееных материалов на душу населения является Германия.

Объем потребления клееных пиломатериалов из шпона в Европе составил, согласно оценке, 93 тыс. м³. Наиболее распространенными изделиями из этих материалов являются балки, фермы и стойки. В Европе эти материалы используются, главным образом, в модульных строительных конструкциях, на которые приходится 80 % потребления подобных материалов, а также для изготовления двутавровых балок или балок/ригелей – приблизительно 20 %.

В Европе получили применение и двутавровые балки, однако объемы их потребления являются незначительными, при этом они используются, главным образом, в качестве поддерживающих элементов в системах формирования бетона.

Азиатско-тихоокеанский регион

Япония является крупнейшим потребителем и производителем клееных конструктивных изделий из древесины в Азиатско-тихоокеанском регионе.

В 90-е годы прошлого века Япония стала чрезвычайно важным рынком сбыта дорогостоящих европейских лесных товаров, включая пиломатериалы и клееные конструктивные изделия из древесины.

Об этом росте свидетельствует резкое увеличение поставок в Японию пиломатериалов хвойных пород из Европы в период 1992–2000 гг. В 1992 г. экспорт Европы в Японию составлял всего 10 тыс. м³, однако к 2000 г. он возрос до 2,7 млн м³. Из Европы в Японию поставляются главным образом высококачественные высушенные пиломатериалы, причем их экспортерами являются, главным образом, традиционные производители, утрачивающие свою долю на Европейском рынке в связи с появлением на нем более дешевой продукции из стран Восточной Европы и Балтии.

Ожидается, что в течение ближайшего десятилетия Европа будет продолжать осуществлять экспортные поставки в Японию, поскольку постоянно изменяющиеся потребности Японии в области использования древесины уже создали и будут создавать возможности для наращивания европейского экспорта дорогостоящих лесоматериалов в Японию. Большая часть лесоматериалов, экспортируемых в Японию, используются в жилищном строительстве и секторе реконструкции.

В Японии жилые дома заменяются новыми через каждые 20–30 лет, что чаще всего обусловлено утратой конструктивной целостности сооружения, гниением древесины или желанием изменить стиль. В силу исторических и практических причин долговечность деревянных жилых домов в Японии в два раза короче, чем в Европе и Северной Америке (здесь речь идет в частности о землетрясениях).

Как уже упоминалось выше, на японском рынке жилья на долю деревянных каркасных домов приходится почти половина объема строительства нового жилья.

Сектор деревянных каркасных конструкций включает три подсектора: традиционные балочно-стоечные, японские легкие каркасные и сборные.

Сектор жилых домов из балочно-стоечных конструкций потребляет больше всего клееных конструктивных материалов из древесины. В 2000 г. объемы производства дощато-клееных лесоматериалов в Японии резко возросли и составили – 622 тыс. м³, в 2002 г. этот показатель достиг рекордного уровня – 782 тыс. м³.

Дощато-клееные лесоматериалы используются, главным образом, для изготовления длинных ригелей каркаса, стоек и нижних опорных брусьев. Быстрое развитие сектора дощато-клееных лесоматериалов является результатом увеличения спроса на клееные конструктивные изделия из древесины в качестве заменителя сырых пиломатериалов из плотной древесины и других традиционных изделий из пиломатериалов.

В Японии цены на пиломатериалы, используемые в жилищном строительстве, всегда были высокими, значительно выше, чем, например, в Северной Америке. Это было обусловлено главным образом требованиями к внешнему виду лесоматериалов, применяемых в стоечно-балочных конструкциях, как то: отсутствие сучков, крупные размеры, уплотненные годичные кольца и единообразная окраска. Можно сказать, что в прошлом первостепенную важность имел внешний вид конструкции жилого дома, а не его эксплуатационные качества. При этом исходили из того, что необходимость в чрезвычайно прочных конструкциях отсутствует, поскольку старые дома довольно быстро заменяются новыми.

Однако после землетрясения в Кобе в 1995г. все изменилось. Японские потребители стали очень серьезно относиться в вопросу обеспечения безопасности конструкций жилых домов, особенно к типам конструкций и материалам, используемым при строительстве. Сектор жилищного строительства Японии переживает «большой взрыв», который вызван изменениями в нормах и правилах как обязательного, так и необязательного характера. Изменения в нормативно-правовых механизмах, регулирующих деятельность сектора жилищного строительства, осуществляются по трем основным направлениям.

Во-первых, это изменения, которые в 1998–2000 гг. были привнесены в деятельность Правительственной жилищно-кредитной корпорации. Это учреждение занимается предоставлением ипотечных кредитов на строительство нового жилья и реконструкцию зданий.

Вторым направлением является пересмотр закона о строительных правилах. В результате этого пересмотра, который был начат в мае 1998 года и пока еще не завер-

шен, закон о строительных нормах и правилах будет преобразован из основанного на технических условиях свода строительных правил, применимого лишь к некоторым видам строительства, в свод, учитывающий эксплуатационные характеристики и применяемый в отношении всех видов жилищного строительства.

Третьим важным направлением является новый закон о гарантиях качества жилья, который был принят в апреле 2000года. Этот закон предусматривает промежуточную и окончательную проверку качества выполненных работ, дающую право на выдачу гарантии качества сроком на десять лет, которая теперь является обязательной. Оба вышеуказанных закона предусматривают приемочный контроль качества всех новых жилых домов и поощряют принятие добровольных мер по проверке эксплуатационных качеств нового жилья (таблица).

Двутавровые балки в Японии не получили широкого распространения, а клееные материалы из шпона и дощато-клееные лесоматериалы используются в крупных масштабах в неконструкционных целях, преимущественно в качестве декоративного материала при изготовлении мебели, а также ее деталей и компонентов.

В Австралии клееные материалы из шпона используются, главным образом, в строительстве.

В Новой Зеландии действуют два завода, которые производят в год примерно 40 тыс. м³ конструкционных и неконструкционных клееных материалов из шпона для японского рынка. Объем их потребления в Новой Зеландии незначителен. Общий объем производства клееных материалов из шпона в Индонезии и Малайзии составляет приблизительно 60 тыс. м³ в год, при этом они также в основном идут на экспорт, главным образом, в Японию.

Девять показателей качества жилья, используемых в Японии

| Показатель | Пояснение |
|------------------------------------|--|
| Устойчивость конструкции | Сейсмостойкость, несущая способность конструкции, прочность фундамента |
| Пожарная безопасность | Время распространения пожара, термодатчики, пожарные выходы и т.д. |
| Долговечность | Гниение и изнашивание |
| Удобства технического обслуживания | Соотношение отдельных и общих стояков |
| Энергоэффективность | Изоляция, типы окон и т.д. |
| Качество воздуха | Вентиляция, отсутствие формальдегида |
| Освещенность | Отношение площади оконных проемов к площади стен |
| Акустика | Звукоизоляция |
| Беспрепятственный доступ | Удобства для лиц пожилого возраста и лиц с физическими недостатками |

Перспективы развития рынка клееных конструкционных изделий из древесины

У рынка клееных конструкционных изделий из древесины имеются блестящие перспективы, причем стимулами для его развития являются общая тенденция к поиску эффективных методов строительства, растущая обеспокоенность состоянием окружающей среды и общая потребность в доступном жилье. Сектор клееных конструкционных изделий из древесины будет продолжать развиваться и увеличивать свою долю на рынке за счет устаревающих традиционных строительных материалов.

Так, по прогнозам ассоциации производителей конструкционных изделий из древесины, объемы производства дощато-клееных лесоматериалов в Европе могут вырасти к 2003 г. до 1,8 млн м³ по сравнению с 1999 г. на 15–20 %.

По данным ассоциации производство клееных конструкционных материалов из древесины в Северной Америке, доля которой сегодня составляет в мире 54%, вырастет к 2006 г. примерно в 1,5 раза.

Развитию сектора клееных конструкционных изделий из древесины способствуют быстрые изменения, происходящие в технологии склеивания, технологических процессах прессования, геометрии слоев,

системах сушки и т.д. Кроме того, во всем мире в настоящее время принимаются строительные правила, в которых, в отличие от прежних, определяются не подлежащие использованию конкретные материалы, а функциональные требования к материалам. Основанные на функциональных требованиях, правила позволяют строителям, архитекторам и разработчикам в полной мере использовать более высокие эксплуатационные качества клееных конструкционных изделий из древесины. В связи с применением этих правил во всех странах мира спрос на такие конструкции растет все более быстрыми темпами.

Эти материалы можно назвать подлинно возобновляемыми в силу того, что многие из них производятся из тонкомерной древесины, заготавливаемой при рубках молодого древостоя. Производство некоторых клееных конструкционных изделий из древесины расширяет возможности сектора лесного хозяйства, поскольку создает рынок сбыта для древесины более низкого качества (как по породному составу, так и по диаметру). Появление возможностей для сбыта разнородной или разносортной древесины содействует зачастую снижению затрат на лесозаготовки и обеспечивает рентабельность других лесохозяйственных операций.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСНОГО СЕКТОРА

М.А. МЕНЬШИКОВА, доц. каф. бух. учета, экон. анализа и аудита МГУЛа, канд. экон. наук

Для постановки и решения задач управления затратами на предприятиях лесного сектора необходимо провести оценку системы управления фирмы, компании. С этой целью анализируется распределение полномочий и ответственности по уровням управления, а также устанавливается эффективность работы структурных подразделений лесопромышленных предприятий и их взаимодействие. Исследуются системы бухгалтерского и налогового учета, действующие на предприятиях отрасли с точки зрения их полноты, достоверности и оперативности представления информации.

Степень достоверности отражения финансовых и товарных потоков устанавливается путем анализа системы документооборота.

На предприятиях лесного сектора для принятия управленческих решений используются различные финансово-экономические показатели. Их состав зависит от цели принимаемых управленческих решений, но при этом довольно часто они принимаются не обоснованно.

В период исследований требуется познакомиться с работой плановой службы, с организацией системы внутреннего контроля, необходимо обратить внимание на уровень автоматизации информационных потоков.

С целью принятия обоснованного управленческого решения требуется выделить стратегические цели развития экономического субъекта, а также сбалансированную систему показателей (ССП), включающую в себя не только финансовые, но и нефинансовые показатели.

Представляется целесообразным определять эффективность стратегии управления затратами по комплексу показателей,

характеризующих эффективность функционирования фирмы: рентабельность продаж, капитала, активов, производительности труда, оборачиваемости капиталов, ликвидности. Перечисленные показатели характеризуют использование трудовых ресурсов, основного и оборотного капитала.

В качестве единого обобщенного показателя предлагаем использовать интегральный показатель эффективности управления затратами (Σ упр.затр.) в организации:

$$\Sigma \text{ упр.затр.} = A_1 \times K_{\text{тр}} + A_2 \times K_{\text{об}} + A_3 \times K_{\text{осн}}, \quad (1)$$

где A_1, A_2, A_3 – удельный вес соответствующих видов ресурсов в себестоимости продукции (весомости соответствующих видов ресурсов в себестоимости);

$K_{\text{тр}}, K_{\text{об}}, K_{\text{осн}}$ – коэффициенты использования трудовых ресурсов, оборотных активов, основных средств соответственно.

Коэффициент использования трудовых ресурсов рекомендуется рассчитывать путем соотношения значений фактического ($\text{ПТ}_{\text{ф}}$) и нормативного ($\text{ПТ}_{\text{н}}$) показателей, установленных путем деления фонда оплаты труда ($\Phi_{\text{от}}$) и прибыли (Π) на среднегодовую численность персонала (Ч):

$$K_{\text{тр}} = \text{ПТ}_{\text{ф}} : \text{ПТ}_{\text{н}}; \quad (2)$$

$$\text{ПТ}_{\text{ф(н)}} = (\Phi_{\text{от}} + \Pi) : \text{Ч}; \quad (3)$$

Коэффициент использования оборотных активов определяется делением фактического ($K_{\text{ф}}$) и нормативного ($K_{\text{н}}$) значений следующих показателей: отношение объема продаж ($O_{\text{п}}$) к среднему остатку оборотного капитала ($C_{\text{об}}$):

$$K_{\text{об}} = K_{\text{ф}} : K_{\text{н}}; \quad (4)$$

$$K_{\text{ф(н)}} = O_{\text{п}} : C_{\text{об}}; \quad (5)$$

Коэффициент использования основного капитала – отношение фактического

(Φ_{ϕ}) и нормативного ($\Phi_{н}$) значений, установленных путем деления объема продаж на среднегодовую стоимость основных средств ($C_{осн.}$):

$$K_{осн.} = \Phi_{\phi} : \Phi_{н}; \quad (6)$$

$$\Phi_{\phi(н)} = O_{п} : C_{осн.} \quad (7)$$

Полученное значение интегрального показателя будет свидетельствовать о степени соответствия эффективности использования ресурсов установленным нормативам.

В качестве нормативных (эталонных) значений вышеуказанных показателей могут быть использованы результаты деятельности лесопромышленного предприятия в предыдущем году, показатели лучших отечественных предприятий; аналогичных производств в других странах.

Коэффициент экономичности управления ($K_{упр.}$) можно определить следующим образом:

$$K_{упр.} = 1 - Z_{упр.} : Z_{общ.}, \quad (8)$$

где $Z_{упр.}$ – затраты на управление;

$Z_{общ.}$ – затраты на производство продукции.

На разных этапах своего развития экономические субъекты стремятся к достижению определенных целей. Для оценки близости достижения цели рекомендуется выработать критерии оценки деятельности предприятия.

Разработка стратегии управления включает в себя:

- определение миссии фирмы, компании (то есть определение будущего);
- установление стратегических целей с точки зрения удовлетворенности заказчиков, покупателей, владельцев;
- определение задач, стоящих перед системой управления затратами;
- определение информационных потребностей управления.

Описание стратегии развития в виде совокупности причинно-следственных связей, которые превращают стратегию в план действий, может быть определено как стратегическая карта. Она способствует доведению до отдельных подразделений предприятия их роль в реализации общей стратегии.

При построении системы управления затратами необходимо сформулировать:

- систему подконтрольных показателей, состав и уровень их детализации;
- структуру и формы представления отчетности по затратам;
- сроки представления отчетности;
- используемые компьютерные программы;
- распределение ответственности за полноту, своевременность и достоверность информации, содержащейся в отчетах по затратам.

Для построения эффективной системы управления затратами необходимо выделить центры ответственности, где формируются затраты, классифицировать затраты, а затем воспользоваться системой управленческого учета затрат. В результате внедрения системы управления затратами руководитель предприятия получит возможность своевременно выявлять недостатки в планировании, формировании затрат и принимать управленческие решения.

Показатели, которые используются в расчетах критериев деятельности сегментов, должны быть контролируемы. С этой точки зрения необходимо отделить прямые затраты и косвенные, которые чаще всего относятся к неконтролируемым затратам.

Большинство активов лесопромышленного предприятия можно увязать с деятельностью подразделений. Здания, оборудование чаще всего находятся под контролем определенных подразделений. Запасы готовой продукции и дебиторская задолженность по ней контролируются определенным сегментом. В меньшей степени менеджеры подразделений предприятий лесного сектора контролируют денежные средства. Распределение обязательств по подразделениям, сокращая стоимость их чистых активов, улучшает значение показателей рентабельности активов и остаточного дохода. Для оценки деятельности сегментов менеджеры лесопромышленных предприятий могут распределять обязательства по своему назначе-

нию между отдельными подразделениями. В этом случае стоимость активов подразделения будет рассчитываться как разность между контролируемыми активами и обязательствами подразделения.

Результаты оценки деятельности сегмента не всегда совпадают с результатами оценки деятельности его руководителя. Оценка деятельности подразделения и его менеджера осуществляется на основе показателей рентабельности активов и остаточного дохода.

Для оценки деятельности сегментов должны использоваться финансовые и нефинансовые показатели. При этом необходимо соблюдать следующие правила:

- число показателей должно быть оптимальным;
- показатели должны быть взаимозависимы и ограничивать друг друга, улучшение одних показателей не должно приводить к ухудшению других, улучшение одного показателя не должно приводить к автоматическому улучшению других;
- необходимо разрабатывать новые альтернативные показатели на случай, если наглядность существующих критериев снизится.

При составлении отчетов по центрам затрат следует помнить, что детальность отчетов уменьшается по мере увеличения уровня руководителя, которому они представляются. Такой подход называется управлением по исключениям. Его суть состоит в следующем: менеджеру нет необходимости проверять отчеты, составленные на более низком уровне управления до тех пор, пока не возникнет какая-либо управленческая проблема. Сегментарная отчетность должна содержать информацию об отклонениях фактических показателей от плановых, что позволяет реализовать на практике принцип управления по отклонениям.

На лесопромышленных предприятиях в состав отчетности центров затрат рекомендуется включать следующие показатели по различным уровням управления.

По бригадам:

- основные и вспомогательные материалы;

- прямые трудовые затраты;
- энергия на технологические цели;
- амортизация по основным средствам, закрепленным за данным структурным подразделением;
- прочее.

По цехам:

- расходы по бригадам;
- общецеховые расходы (заработная плата мастера, амортизация оборудования цеха, электроэнергия на освещение, уборка помещений цеха).

По предприятию в целом:

- расходы по цехам;
- общехозяйственные расходы (амортизация здания заводоуправления, заработная плата администрации, расходы на отопление и освещение).

Пример построения отчетности центров затрат приведен в табл. 1.

Планирование и учет на предприятии должны быть организованы таким образом, чтобы обеспечить поступление необходимой информации в форме, наиболее оптимальной для управляющих.

Управленческий учет дает возможность оценивать работу управляющего, но и требует обеспечить его необходимыми средствами и инструментами.

Выбор центров ответственности за издержки требуют анализа структуры и ответственности, который должен раскрыть:

- имеющиеся центры ответственности;
- имена ответственных управляющих;
- существование подразделений или затрат, за которые никто не несет ответственности и с дублированием ответственности;
- размеры подразделений, выраженные числом занятых в них работников, суммой издержек, объемами деятельности.

Информация об ответственности за затраты определяется в сопоставлении со сметами или нормативными затратами.

Для контроля прямых затрат должны использоваться нормативы, для контроля накладных – сметы. На практике возможны иные решения.

**Отчетность центров затрат различных уровней управления
на деревообрабатывающем комбинате**

| Показатели | Отчетный период | | | Нарастающим итогом с начала года | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| | по смете | фактиче- ски | откло- нение | по смете | факти- чески | откло- нение |
| Отчет бригадиру бригады № 1 | | | | | | |
| Основные материалы | | | | | | |
| Затраты на оплату труда | | | | | | |
| Вспомогательные материалы | | | | | | |
| Энергия на технологические цели | | | | | | |
| Прочее | | | | | | |
| Итого по бригаде № 1 | | | | | | |
| Отчет начальнику производственного цеха | | | | | | |
| Бригада № 1 | | | | | | |
| Бригада № 2,3,4 и т.д. | | | | | | |
| Итого по бригадам | | | | | | |
| Общехозяйственные расходы: | | | | | | |
| – зарплата мастера цеха с начислениями | | | | | | |
| – амортизация оборудования цеха | | | | | | |
| – электроэнергия на освещение | | | | | | |
| – уборка помещений цеха | | | | | | |
| Итого по бригадам (с учетом общехозяйственных расходов) | | | | | | |
| Отчет менеджеру завода | | | | | | |
| Заготовительный цех | | | | | | |
| Сборочный цех мягкой мебели | | | | | | |
| Сборочный цех корпусной мебели | | | | | | |
| Отделочный цех | | | | | | |
| Итого по цехам | | | | | | |
| Общехозяйственные расходы | | | | | | |
| – амортизация здания заводоуправления | | | | | | |
| – отопление и освещение | | | | | | |
| – зарплата администрации с начислениями | | | | | | |
| Итого затраты комбината | | | | | | |

По каждой статье затрат и по каждой сфере ответственности необходимо обеспечить получение следующей информации:

- для каждой статьи, элемента, комплекса затрат, ответственность за который несет руководитель (менеджер), определяется допустимая или нормативная величина затрат для их контроля по центрам ответственности;
- по центрам ответственности собираются и сообщаются данные о фактических затратах и отклонениях, от сметы или норматива.

Плановые сметы затрат составляются по центрам ответственности как лимит рас-

ходов на определенный период (год, квартал, месяц) с детализацией по статьям.

Сравнение фактических издержек с допустимыми позволяет планировать работу на конкретном участке.

По прямым затратам центров ответственности рекомендуется определять нормативную величину по каждому элементу, каждой статье на единицу продукции или на иной объемный показатель (например: м³, норма-час) По косвенным затратам рекомендуется составлять сметы затрат как лимит расходов на определенный период с расшифровкой по статьям. На основе таких смет рекомендуется контролировать затраты

в производственных, обслуживающих и управленческих подразделениях. Это, в основном, накладные расходы: общепроизводственные, общехозяйственные и иные накладные расходы.

Для составления смет по накладным расходам центров ответственности необходимо:

- описание центров ответственности, назначение лиц, ответственных за контроль издержек;
- выделение статей затрат, за которые несет ответственность конкретный руководитель;
- использование методов составления смет, позволяющих определить суммы, которые можно использовать при любых обстоятельствах;
- разработать рабочий план счетов аналитического управленческого учета, позволяющий получать информацию о фактических затратах по всем статьям, предусмотренным сметами.

В ходе планирования могут составляться *жесткие* и *гибкие* сметы.

Жесткие сметы составляются по постоянным фиксированным издержкам данного периода. Гибкие сметы предусматривают, что статьи затрат, включенные в смету, подразделяются на три группы в зависимости от объема производства: постоянные, переменные, условно-переменные.

Необходимо выделить показатель контроля исполнения сметы, который представляет собой количественное значение показателя, наилучшим образом измеряющего объем хозяйственных операций или интенсивность нагрузки на затраты по конкретной статье сметы.

Сметные затраты по статьям, зависящим от показателя контроля исполнения сметы, для сопоставления с фактическими затратами и определения отклонений пересчитываются в меру изменения данного показателя.

Сумма пересчета сметной статьи (сумма, начисляемая по сметной статье) за период равна сумме, утвержденной по смете, плюс численное значение показателя кон-

троля исполнения сметы, умноженное на сметную норму.

Сметная норма представляет собой сумму затрат на единицу показателя контроля исполнения сметы и является ожидаемыми издержками. Сумма пересчета сметной статьи за период равна сумме, утвержденной по смете, плюс численное значение показателя контроля исполнения сметы, умноженное на сметную норму.

Группировку затрат по центрам ответственности рекомендуется выполнять на счетах управленческого учета, что позволит получать информацию об отклонениях по статьям сметы и обоснованно принимать управленческие решения.

С этой целью в бухгалтерском учете на предприятиях лесобрабатывающей промышленности должна быть выделена отдельная группа счетов второго порядка, имеющих самостоятельную систему записей на счетах.

Счета второго порядка для отражения затрат по центрам ответственности предприятий лесного сектора должны иметь аналитическую детализацию не только по центрам ответственности, но и по статьям сметы, при этом рекомендуется использовать счета третьего и четвертого порядка. Например:

204 «Основное производство по центрам ответственности»;

254 «Общепроизводственные расходы по центрам ответственности»;

264 «Общехозяйственные расходы по центрам ответственности» и т.д.

На счете 204 «Основное производство по центрам ответственности» должна учитываться вся необходимая информация в разрезе центров ответственности, статей прямых затрат, фактических и нормативных с выделением отклонений на счетах.

Счета третьего порядка выделяются для учета затрат в разрезе центров ответственности. Они могут быть закодированы следующим образом, например, 20401 «Прямые затраты по центру №1». На счетах четвертого порядка может быть детализирована информация о нормативных затратах по соответствующим элементам: материальные затраты, затраты на оплату труда.

Суммы прямых фактических затрат записываются по дебету счета 204 «Основное производство по центрам ответственности» в корреспонденции с предварительно выделенным счетом 274 «Отражение затрат по центрам ответственности».

Суммы нормативных издержек на фактический выпуск продукции за месяц записываются по кредиту счета 204 «Основное производство по центрам ответственности» и по дебету счета 274 «Отражение издержек по центрам ответственности».

Сальдо по дебету счета 204 «Основное производство по центрам ответственности» означает отклонение, характеризующее сумму превышения фактических затрат над нормативными. Сальдо по кредиту счета характеризует экономию издержек по сравнению с нормативными значениями. В конце отчетного периода сальдо по счету 204 «Основное производство по центрам ответственности» закрывается в корреспонденции со счетом 273 «Отражение затрат по центрам ответственности». В течение года сальдо по счету накопительно отражает суммы отклонений фактических затрат от нормативных.

В подразделениях вспомогательных производств для группировки и обобщения данных о нормативных и прямых фактических затратах по центрам ответственности может использоваться счет 234 «Вспомогательное производство по центрам ответственности».

Накладные производственные и общехозяйственные затраты по центрам ответственности могут учитываться на счетах 254 «Общепроизводственные расходы по центрам ответственности» и 264 «Общехозяйственные расходы по центрам ответственности». На данных счетах обобщается информация по сметам затрат на содержание и эксплуатацию оборудования, общепроизводственные и управленческие накладные расходы в производственных подразделениях организации, управленческие и общехозяйственные расходы по центрам ответственности.

Издержки каждого центра ответственности детализируются в разрезе сметных статей на счетах четвертого порядка. Дебетовое сальдо характеризует перерасход по данной статье, кредитовое – экономию. Сальдо отражает отклонения накопительно с начала года, а в конце года закрывается в корреспонденции со счетом 274 «Отражение издержек по центрам ответственности».

Цель учета по центрам ответственности состоит в обобщении данных о затратах и доходах по каждому центру ответственности с тем, чтобы отклонения от заданного этому центру можно было отнести на конкретное лицо.

Схема учета затрат по центрам ответственности лесопромышленных предприятий (табл. 2) может быть представлена следующим образом:

Т а б л и ц а 2

Учет затрат по центрам ответственности на лесопромышленных предприятиях

| Наименования показателей | Центры ответственности основного производства | Центры ответственности вспомогательного производства | Центры ответственности администрации |
|--|---|--|--------------------------------------|
| Первичные затраты по местам возникновения | + | + | + |
| Распределение затрат центров ответственности администрации | + | + | – |
| Распределение затрат центров ответственности вспомогательного производства | + | – | – |
| Общая сумма затрат по центрам ответственности основного производства | + | – | – |

Применение на практике различных систем управления затратами зависит от задач, стоящих перед предприятием.

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ЛЕСНОГО СЕКТОРА

С.В. ФРОЛОВ, *асп. Государственного университета гуманитарных наук*

После начала реформ большинство предприятий лесного сектора было приватизировано, что заставило их перейти на новые условия хозяйствования. Однако это только ухудшило их экономическое положение. Это произошло по ряду причин, одной из которой является неэффективный менеджмент и отсутствие целенаправленной стратегии развития на многих предприятиях. Поэтому для улучшения функционирования предприятий лесного сектора представляется необходимым внедрение на них системы стратегического управления.

Руководители многих предприятий лесного сектора, пытаясь вывести их из кризиса, предпринимают меры, носящие ограниченный характер. Из-за отсутствия спроса на продукцию и высоких транспортных издержек они вынуждены снижать объемы производства или полностью останавливать производство определенной продукции. Кроме того, им приходится сокращать расходы на социальные нужды, продавать устаревшее оборудование и т.д. Все эти меры носят временный характер. Поэтому, если они и позволят предприятию обрести определенную устойчивость, то лишь в краткосрочной перспективе.

Вышесказанное требует от руководителей предприятий принятия определенных шагов. Для оперативного улучшения деятельности предприятия нужно более четко организовать работу всех структур предприятия, скоординировав взаимодействие между сотрудниками и его различными отделами, включая отделы маркетинга, производственный, финансовый и другие.

Успешная деятельность предприятия в немалой степени зависит от управленческого персонала, которому нужно перестроить работу с учетом запросов рынка, то есть проявлять большую инициативность, готов-

ность передать свой опыт и умение работать в команде. Кроме того, предприятию нужна систематизация информации об основных потребителях его продукции, с которыми оно может сотрудничать на внутреннем и внешнем рынках, а также о деятельности фирм-конкурентов.

Если предприятие зависит от поставок древесины сторонними организациями, можно создать собственное лесозаготовительное производство, для чего необходимо подготовить нормативные документы, связанные с передачей леса в аренду, и учесть затраты на приобретение лесозаготовительной техники, арендную плату за пользование участком леса, на заготовку древесины и ее транспортировку до места переработки. Такие меры помогут снизить затраты на древесное сырье и решить проблему своевременности его поставок.

Предприятию нужно также составить производственный план, в котором предусматривалась бы возможность перехода на производство новых видов лесных товаров, а также подготовить бизнес-план предприятия. В бизнес-план можно включить исполнительное резюме, характеристику предприятия и выпускаемой продукции и услуги, маркетинг-план, управленческое и организационное видение предприятия, финансовый план.

Обозначенные выше меры, которые направлены на исправление текущего кризисного положения предприятия, необходимо сочетать с разработкой стратегии предприятия, осуществляемой путем стратегического планирования и последующего перехода на стратегическое управление. Это позволит предприятию использовать конкурентные преимущества и выйти на перспективное развитие.

Процесс разработки стратегии на предприятии осуществляется через страте-

гическое планирование, которое указывает направления и параметры его будущего развития организации. Стратегическое планирование включает в себя определение миссии, целей и задач, разработку стратегий их, отбор и контроль.

При планировании стратегии, прежде всего, необходимо определить миссию предприятия, которая бы показывала смысл его существования и придавала ему уникальные черты. Миссия отражает намерения предприятия, а также дает представление о сфере и принципах деятельности, основных целях. Она должна объединять усилия сотрудников предприятия на выполнение поставленных задач. При формулировании миссии следует учитывать характер деятельности предприятия и условия, в которых оно функционирует. Она не должна содержать каких-либо временных ограничений по выполнению стратегии. Так как миссия определяет будущую направленность предприятия, она не должна зависеть от его текущего состояния.

Следующий этап планирования стратегии предполагает установление целей, то есть определенных задач, которые ставятся перед предприятием или его подразделениями и конкретизирующих миссию. Каждое предприятие определяет цели самостоятельно, однако при этом на их формулирование накладывает определенные ограничения отрасль, а также внутренняя среда предприятия. При постановке целей должны учитываться определенные требования. В частности, цели должны устанавливаться на определенный временной период (долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные) и быть конкретно наполненными и реальными. Они должны быть согласованы с другими целями и ресурсами, необходимыми для их достижения. Кроме того, цели должны иметь четкую направленность и предусматривать возможность их контроля во время реализации стратегии. По временным рамкам цели могут группироваться на стратегические, с периодом реализации от 5 до 10 лет, тактические, планируемые на 3-5 лет, и оперативные, выполняемые в повседневной работе. Тактические цели характеризуются конкре-

тизацией задач и определяются в количественных показателях. Практика показывает, что при планировании стратегии постановке целей следует уделять особое внимание, так как предприятия, имеющие перед собой целевые установки, обладают определенными преимуществами перед конкурентами. Цели всегда следует устанавливать в количественных и измеримых показателях, избегая неопределенности в формулировках.

Цели предприятия позволяют его сотрудникам лучше узнать о направлении его деятельности, поставщикам определиться со сроками и качеством поставок, которые они должны обеспечить, клиентам познакомиться с производимой продукцией и услугами.

Цели могут быть установлены в таких направлениях деятельности.

- Экономическая деятельность предприятия, включающая прибыльность, долю рынка, объем продаж, финансовые ресурсы, разработку и производство продукта, обновление технологий и т.д.

- Инновационная сфера. Здесь предприятие определяет развитие новых технологий, производство новых товаров, новые способы ведения бизнеса и т.д.

- Работа с клиентами.

- Кадры. Цели направлены на оптимизацию организационного строения предприятия и его управления, работу с человеческими ресурсами, включая повышение квалификации сотрудников, устранение текучести кадров и т.д.

- Социальная сфера.

После определения миссии и постановки целей проводится всесторонний анализ внутреннего состояния предприятия, который поможет выявить его сильные и слабые стороны, а также возможности ресурсного обеспечения. Такой анализ называется управленческим обследованием. Он основывается на комплексном обследовании различных функциональных сторон предприятия, например, отдела маркетинга и финансов, производства, персонала и организационной культуры.

При исследовании маркетинговой деятельности следует обратить внимание на улучшение ее работы. Как правило, для этого анализируют следующие области маркетинговой деятельности:

– долю рынка, на котором функционирует предприятие и которую оно занимает;

– ассортимент выпускаемой продукции. Некоторые предприятия производят ограниченное число продуктов, но при этом уделяют внимание их качеству (другие, наоборот, стараются достичь успеха, производя как можно больше товаров различного ассортимента);

– исследование рыночной структуры и структуры клиентов (этот показатель постоянно изменяется, поэтому подходить к исследованию данной проблемы нужно очень внимательно);

– рыночные исследования и разработки (специалисты маркетинга должны вести широкие разработки новых товаров и услуг и постоянно поддерживать связь со всеми отделами предприятия; с производственным отделом необходимо определить возможности выпуска новых видов лесных товаров на действующих производственных мощностях путем возможного изменения технологий на производстве, его переоборудования);

– сбыт, реклама и продвижение товара (специалистам в области маркетинга следует наладить отношения с потребителями лесных товаров, для чего ранжировать их по приоритетности продаж; следует активизировать рекламную деятельность и организовать сбыт продукции через сеть агентов в различных регионах России);

– получение прибыли (нужно постоянно контролировать прибыль от различных направлений деятельности предприятия).

При исследовании финансового положения предприятия нужно обратить внимание на динамику его платежеспособности, коэффициент ликвидности, дебиторскую и кредиторскую задолженность, наличие собственных оборотных средств, коэффициент финансирования, и т.д. Проведенный по

этим показателям анализ дает возможность оценить финансовое положение предприятия, выявить резервы по его улучшению и определить целесообразность привлечения заемных средств.

При анализе производственного процесса следует обратить внимание на следующие показатели.

- Способность предприятия производить товар с меньшими издержками по сравнению с конкурентами.

- Наличие доступа к сырьевым ресурсам, включая степень зависимости от поставщиков.

- Новизна оборудования.

- Способность выйти на рынки, недоступные для конкурентов.

- Контроль качества продукции.

- Планирование производственного процесса с целью его оптимизации.

Для рассмотрения этих проблем можно создать оперативные группы, в которые входят специалисты по различным направлениям деятельности предприятия. Это позволит найти нетрадиционные способы решения проблем с помощью метода мозговой атаки, который хорошо зарекомендовал себя при поиске новых идей.

При выработке стратегии предприятия необходимо перестроить или усовершенствовать его структуру управления. Несмотря на наличие пяти типов организационных структур, наибольшее распространение в настоящее время получили функциональная организационная структура и организационная структура на основе стратегических единиц бизнеса. Выбор данных организационных структур зависит от размера организации, ее диверсифицированности, географического размещения, используемого оборудования, реализуемой стратегии и т.д. Для более точного определения необходимой организационной структуры предприятия можно использовать положительный опыт других предприятий лесного сектора.

На этом же этапе анализируется внешняя среда, детально изучается конъюнктура внутреннего и внешнего рынков, на

которых функционирует предприятие, оценивается степень риска. Для определения спроса на лесную продукцию, нужно выявить потребности населения и различных организаций, в том числе строительных и ремонтных фирм, магазинов, клиентов. Для упрочнения позиции предприятия на рынке требуется информация о числе конкурирующих предприятий, производящих подобную продукцию, их производственных мощностях, специализации, оснащенности современным оборудованием.

Анализируя конъюнктуру лесопродукции на внешних рынках, следует определить основных производителей и потребителей продукции, реализуемой на них, их объемы, особенности реализации и поставок.

Проведя анализ внутренней и внешней среды предприятия, его руководство может приступить к разработке стратегии, ее конкретизации и оценки.

На первой стадии определения стратегии осуществляется разработка стратегических альтернатив, их соответствие внешней среде, ресурсам предприятия и стратегическим целям. Обычно число стратегических вариантов лимитируется потенциальными возможностями предприятия, уровнем его экономического развития, объемом финансовых ресурсов, квалификацией персонала, организационной культурой, целями и требованиями внешней среды. Важно разработать как можно большее количество стратегий, привлекая к этому не только руководителей высшего звена, но и среднего звена. Это позволит значительно расширить стратегический выбор.

Дальнейшим шагом при разработке стратегии является оценка отобранных стратегических альтернатив. Они не должны противоречить функциональным стратегиям предприятия, а также внешнему окружению, целям и ресурсам.

На заключительном этапе выбирается одна или несколько самых перспективных стратегий или их комбинации. Обычно выбирают стратегии, которые в наибольшей степени позволяют использовать имеющийся

потенциал и накопленный опыт предприятия. Как указывалось выше, при выборе альтернативных стратегий следует учитывать ограниченность ресурсов предприятия и другие факторы, лимитирующие его потенциал. Первый способ отбора стратегии предполагает выбор двух или трех наиболее перспективных стратегий, а затем, после оценки наиболее интересных сторон в каждой из них, выбор одного варианта. Можно также, рассматривать стратегии по очереди, учитывая положительные моменты в каждой из них.

При выборе стратегии следует обращать внимание на следующие моменты.

- Вид деятельности предприятия и особенности отрасли. Здесь важно учитывать уровень конкуренции со стороны предприятий, производящих подобную продукцию и поставляющих ее на те же рынки.

- Особенности внешнего окружения. Нужно рассмотреть, стабильно оно или подвержено изменениям, а также предсказуемость этих изменений.

- Следует учитывать характер целей, которые устанавливают менеджеры или владельцы предприятий.

- Следует предусмотреть, какая степень риска допустима для предприятия. Риск можно оценить по следующим составляющим:

- реалистичность целей, заложенных в стратегию;

- негативные последствия, которые могут быть в результате провала стратегии;

- компенсация за риск, в случае успешной реализации стратегии;

- внутреннюю среду предприятия, его сильные и слабые стороны (используя сильные стороны, можно добиться дополнительных конкурентных преимуществ; в то же время нужно уделять внимание слабым сторонам, которые представляют для него угрозу);

- имеется ли опыт реализаций прошлых стратегий (при выработке стратегий руководители часто оказываются под давлением прошлых стратегий; с одной стороны это положительный момент, так как при на-

личии опыта есть большая вероятность успешной реализации стратегии, с другой – это является лимитирующим фактором);

– временной фактор стратегии быстро устаревает, поэтому для достижения наиболее оптимальных результатов это следует учитывать;

– эффективность стратегии зависит от ее соответствия данным, полученным в результате SWOT-анализа (если стратегия не использует внешние возможности и сильные стороны предприятия, а также внешние угрозы и слабые стороны предприятия, то она скорее всего обречена на неудачу);

– при разработке и выборе стратегии следует определить ее соответствие миссии предприятия и ее способности обеспечить выполнение ранее поставленных целей;

– необходимо убедиться во взаимосвязи выбранной и функциональных стратегий, работающих на выбранную стратегию;

– следует учитывать влияние различных групп как внутри предприятия, так и во внешнем окружении.

Для более точной оценки эффективности выбранной стратегии используется метод разработки сценариев, включающий все возможные варианты развития событий. Однако на практике предприятия используют три варианта развития: оптимистический, пессимистический и компромиссный. Если эти сценарии адекватно отображают состояние внешней и внутренней среды, выражают интересы руководства предприятия, предусматривают возможные риски, то они помогут отобрать стратегию, наилучшим образом соответствующую данному предприятию.

В связи с постоянными изменениями, происходящими как внутри предприятия, так и в его внешней среде, выбранная стратегия начинает устаревать. Поэтому она постоянно требует доработки. Изменения в стратегию следует вносить на регулярной основе, а также в случае смены направления деятельности фирмы и изменений во внутренней и внешней средах. Такие изменения целесообразно отслеживать в системе оперативного управления компанией, которая должна иметь компьютерное обеспечение. Должны также контролироваться учет поступления сырья и материалов по всем подразделениям предприятия, конкретные мероприятия по координации всех его служб, составление отчетных форм, раскрывающих финансовое состояние предприятия на определенную дату.

Планирование и реализация стратегий являются видом управленческой деятельности, который требует значительных усилий и затрат времени, но в конечном счете поможет предприятию выжить в жестких условиях хозяйствования. Поэтому управление стратегией должно осуществляться через должное отношение к ней руководителей и сотрудников предприятия всех уровней.

Список литературы

1. Круглова Н.Ю. Стратегический менеджмент. – М.: РДЛ, 2003.
2. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения. – М.: Дело, 2003.
3. Румянцева З.П. Управление организацией. – М.: Инфра-М, 2003.
4. Фатхутдинов Р.А. Стратегический менеджмент. – М.: Дело, 2002.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЛЕСНЫХ МАШИН С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В.Н. КОРШУН, доц. каф. проектирования лесного оборудования СибГТУ, канд. техн. наук,
Д.Г. КОКОТОВ, асп. каф. проектирования лесного оборудования СибГТУ

Лесные почвы обладают наименее поврежденной структурой и существенно отличаются по своим механическим свойствам от сельскохозяйственных почв. Для конструирования лесных машинотракторных агрегатов необходимо знать динамические входные воздействия от опорной поверхности на рабочие органы и движители машин.

Моделирование вертикальной структуры опорной поверхности

Смоделируем вертикальную структуру лесной почвы как механического предмета труда и опорной поверхности движения машин в виде двухкомпонентной среды с единичными включениями (рис.1 а). Свойства компонентов существенно разнятся. Минеральное основание лесной почвы 1 является случайной поверхностью, простирается до недеформированного горизонта и оценивается толщиной h_m , а формирование лесной подстилки 2, состоящей из живого напочвенного покрова, опада и нижележащего слоя перегнивших растительных остатков, находящихся в различной стадии разложения, толщиной h_n , также происходит под влиянием целого ряда случайных факторов. Единичные включения 3 представлены совокупностью корней, диаметром d_o , и пней, высотой h_{nn} . Очевидно, что лесная поверхность носит случайный характер. В зимнее время к двум компонентам добавляется третий компонент – снег. При моделировании взаимодействия опорных элементов лесных машин с опорной поверхностью зимой следует использовать трехкомпонентную модель. Движение транспортных машин по заснеженной местности смоделировано в работе [1].

Взаимосвязь двух случайных функций: высоты микронеровностей минерально-

го основания $h_m(l)$ и толщины подстилки $h_n(l)$, определяет высоту микронеровностей опорной поверхности $H(l) = h_m(l) + h_n(l)$ (где l – длина пути). Функция $H(l)$ также является случайной. Представим опорную поверхность как выход динамической системы, входом которой является минеральное основание (рис. 1 б). Свойства динамической системы можно оценить по ее реакции на динамическое воздействие. Чаще всего свойства динамических систем оценивают по их реакции на входе в виде дельта-функции (функция Дирака)

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0 \\ \infty, & t = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где t – время.

Пусть Δl – задержка системы по l на реакцию системы на входе в виде дельта-функции, тогда для устойчивой системы – $v(\Delta l, l) = v(\Delta l)$ [где $v(\Delta l)$ – весовая функция системы при всех l]. Если примем параметры системы постоянными, тогда свойства системы, преобразующей вход в выход, не зависят от характера входного воздействия. Таким образом, можно записать

$$H(l) = \int_0^{\infty} v(\Delta l) \cdot h_i(l - \Delta l) dl. \quad (2)$$

Выражение (2) справедливо при всех зависимостях $h_m(l)$. Зависимости $h_m(l)$ в настоящее время достаточно исследованы как зависимости для описания опорных сред движения лесных машин по волокам и вырубкам. Очевидно, что при антропогенном и техногенном воздействии на почву данные зависимости претерпевают изменения. По утверждению П.М. Мазуркина, статистические законы нормального распределения для опорных поверхностей в данном случае изменяются [2].

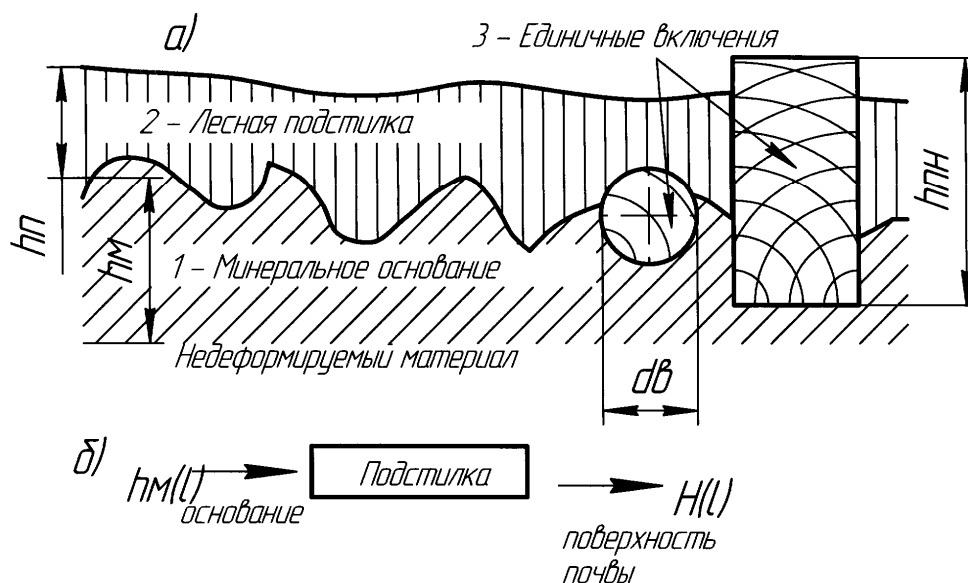


Рис. 1. Вертикальная структура модели опорной поверхности (а) и схема динамической системы (б)

Поскольку параметры динамической системы (2) постоянны, линейны и устойчивы, то поданная на вход системы стационарная функция даст на выходе стационарную функцию. Установлено, что случайная функция микронеровностей минерального основания лесных почв, неподвергавшихся техногенному воздействию, является стационарной функцией с нормальным распределением [3], поэтому лесная поверхность также будет стационарной функцией с нормальным распределением.

Согласно теории вероятностей корреляционная функция опорной поверхности связана с корреляционными функциями минерального основания зависимостью

$$R_{HH}(l) = R_{h_m h_m}(l) + R_{h_n h_n}(l) - R_{h_m h_n}(l) - R_{h_n h_m}(l), \quad (3)$$

где $R_{h_m h_n}(l)$, $R_{h_n h_m}(l)$ – взаимные корреляционные функции основания и высоты лесной подстилки.

Параметры распределения микронеровностей лесных почв как опорных сред движения машин приведены в работах [4,5,6]. В опубликованных работах микрорельеф лесной почвы определялся с целью получения статистических параметров опорной поверхности как входного воздействия на движители лесных машин. Исследования касались главным образом волоков как трасс

движения лесозаготовительных машин. Однако лесохозяйственные машины могут функционировать на нераскорчеванных и раскорчеванных вырубках, под пологом леса, на расчищенных площадях, на старопашотных почвах, на сильно задернелых почвах, на торфяниках и болотах, на пригородных почвах и территориях, подвергнувшихся интенсивному техногенному и антропогенному воздействию. Характер микронеровностей на указанных площадях будет различен. Входные параметры на рабочие органы почвообрабатывающих машин как динамических систем определены только для сельскохозяйственных площадей.

Для нахождения статистических характеристик опорной поверхности $h_m(l)$ в 2000 – 2003 годах было проведено экспериментальное исследование лесной почвы как предмета труда и среды движения лесохозяйственных агрегатов. Профили трасс замерялись перед проходом лесохозяйственного агрегата и после выполнения операции обработки почвы. Параметры измерялись разработанным измерительным комплексом, выполненным на базе персонального компьютера с аналогово-цифровым преобразователем. Шаг квантования принимался равным одному метру. Данные вводились в компьютерную систему в виде структурированного файла данных.

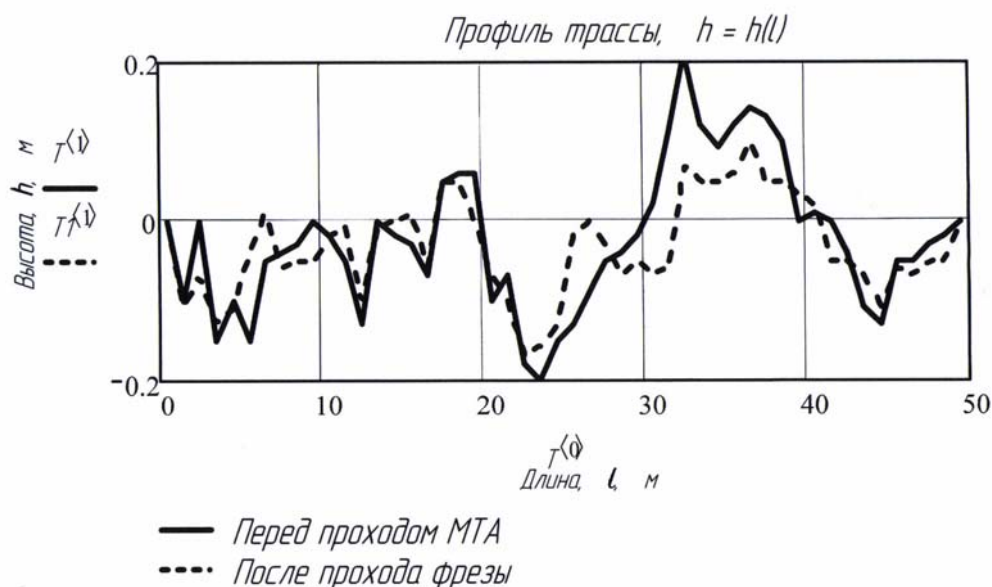


Рис. 2. Микропрофили минерального основания вырубki

На рис. 2 показаны микропрофили раскорчеванной трехлетней вырубki с засыпанными ямами от пней (категория грунта — 4 удара плотномера ДорНИИ, влажность 24 %, сильное задернение).

Проведенная статистическая обработка позволила получить корреляционные функции для оценки входного воздействия на формирование опорной поверхности. Анализ опубликованных исследований позволяет на основе статистических моделей прогнозировать микропрофиль лесной почвы как механического предмета труда и среды движения машин. Для определения вероятностных характеристик лесной опорной поверхности как механического предмета труда необходимо определить параметры передаточных функций лесной подстилки. Если рассматривать опорную поверхность в системе «машина-местность», то к основным параметрам подстилки следует относить: зависимость деформации подстилки от нормальной нагрузки от рабочих органов и движителей машин; сопротивление подстилки сдвигу; плотность; жесткость и упругость. Рабочие органы машин взаимодействуют со всеми компонентами динамической системы опорной поверхности, механические свойства которых различаются. Воздействия минерального основания и подстилки на рабочие органы и

опорные элементы машин носят стационарный характер, а единичные включения (корни, погребенная древесина, камни, пни) создают дискретные импульсные нагрузки. Импульсные воздействия от единичных включений (корни) аппроксимируются при компьютерном моделировании функцией Дирака, а препятствия прямоугольной формы (пни) — функцией Хевисайда.

Моделирование динамической системы (см. рис. 2) на основе метода конечных элементов (МКЭ) выполнялось в программном средстве MATLAB-6.1 (MathWorks, Inc.) (приложение SIMULINK). Свойства компонента 1 (см. рис. 1), по своим механическим характеристикам аналогичного грунтам, моделировались двухфазной средой. Одна фаза представлялась элементами с упругими линейными характеристиками и образовывала жесткий скелет грунта, а другая фаза моделировалась в виде несжимаемой жидкости.

Моделирование горизонтальной структуры опорной поверхности

Горизонтальная структура опорной поверхности определяется механическими параметрами и законами распределения единичных включений и ее компьютерное моделирование в графическом редакторе AutoCAD представлено нами в работе [7].

Моделирование структуры и свойств лесной подстилки

Механические свойства лесной подстилки, являющейся промежуточным компонентом опорной поверхности, менее всего изучены.

Для прогнозирования параметров подстилки может быть предложена следующая методика:

1) входными величинами является микропрофиль минерального основания и данные по типам насаждений, время и место движения машины по опорной поверхности, среднегодовое количество осадков;

2) на основании входных данных прогнозируется средняя толщина (математическое ожидание) подстилки h_n (см. рис. 1);

3) моделируются физико-механические параметры подстилки (при сдвиге и смятии) в зависимости от плотности при взаимодействии с опорными элементами машин;

4) на основании микропрофиля и свойств подстилки моделируется ансамбль реализаций (геометрические и физико-механические параметры) лесной опорной поверхности;

5) на основании полученных данных моделируется взаимодействие рабочих органов и опорных элементов с поверхностью и определяется реализация входного воздействия на машину.

Толщина подстилки существенно зависит от времени года, поэтому параметры подстилки прогнозируются на конкретную дату и место движения машины. Обработка данных А.С. Аткина, Л.И. Аткиной, Н.И. Германовой, Е.Д. Коробова, Н.Т. Спициной и других авторов [8] позволила выявить значения статистических характеристик толщины лесной подстилки как случайного процесса. Было установлено, что на формирование опорной поверхности существенную роль играет частота минерального основания и толщина подстилки, причем с ростом среднего значения толщины подстилки h_n (см. рис. 1), уменьшается высота преобладающих неровностей опорной поверхности.

Статистическая обработка позволила выявить модель формирования неровностей опорной поверхности, рассчитать значения высот и длин неровностей поверхности лесной почвы. Было установлено колебание толщины подстилки относительно среднего значения. Применялась гармоническая корреляционная модель $h_n = h_n(l)$ вида

$$h_n = K_0 \cdot \sin(l + K_1) + K_2, \quad (4)$$

где h_n – текущее значение толщины подстилки, см;

l – длина пути реализации процесса, м;

K_0, K_1, K_2 – коэффициенты в корреляционных моделях.

Сравнение прогнозируемых по корреляционным моделям данных с данными, полученными А.С. Аткиным [8], показало их удовлетворительную сходимость, причем относительная среднеквадратичная ошибка не превышала 12 %. В результате обработки данных в системе MatchCAD определен спектральный состав неровностей поверхности движения машин и толщины подстилки. Все это дало возможность составить математические зависимости для компьютерного моделирования микропрофиля опорной поверхности.

При взаимодействии с рабочими органами и движителями лесных машин подстилка деформируется и свойства ее изменяются. Для моделирования поведения подстилки при сжатии применялась модель упруго-пластической среды Друккера-Прагера. Эта модель использовалась для моделирования деформации почвы в работе J. Vario [11]. Расчеты, проведенные по модели Друккера-Прагера в системе MathCAD, показали, что на начальных этапах нагружения опорной поверхности ходовыми системами болотных тракторов, у которых удельное давление на почву составляет значения, не превышающие 30 кПа (ДТ-75Б), при толщине подстилки 15 см, деформации на почву не передаются, и гусеницы тракторов не погружаются в минеральную часть почвы (рис. 3).

По мере взаимодействия рабочих органов машин с опорной поверхностью происходит уплотнение подстилки. Для моде-

лирования процесса уплотнения подстилки может быть предложена формула

$$\rho_i(h_i) = c_0 + c_1(\rho_{i-1}) \cdot \delta^1 + c_2(\rho_{i-1})^2 \cdot \delta^2 + c_3(\rho_{i-1})^3 \cdot \delta^3, \quad (5)$$

где ρ_{i-1} – плотность лесной подстилки до i -этапа деформирования, на первом шаге расчетов принимается плотность недеформированной подстилки;

$\delta = h_{ni} / (h_n)$ – относительная деформация подстилки, определяемая по модели Друккера-Прагера;

h_n – толщина подстилки до деформирования;

c_j – коэффициенты аппроксимации.

Из рис. 3 видно, что деформирование опорной поверхности существенно зависит от плотности подстилки. Многими исследователями утверждается, что распределение плотности подчиняется нормальному закону. Однако плотность опада и подстилки зависит от многих факторов и не является стационарной функцией, и имеет тенденцию к росту в зависимости от времени. Случайная функция $\rho(t)$ плотности может быть представлена как сумма случайной стационарной функции ρ , не зависящей от времени, и зависящего от времени года математического

ожидания $M_\rho(t)$ или $[\rho(t) = \rho + M_\rho(t)]$. Уплотнение подстилки зависит от мощности опада и времени, прошедшего с момента максимального листопада. Проведенные эксперименты [9,10] позволяют составить уравнения, аппроксимирующие результаты измерений:

$$M_\rho(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3, \quad (6)$$

где t – порядковый номер дня, отсчитываемый от начала листопада;

a_i – коэффициенты аппроксимации.

Влажность подстилки моделируется как нормально распределенная величина с математическим ожиданием и средним квадратичным отклонением для конкретного района производства лесохозяйственных работ. Анализ и обработка литературных данных позволяет прогнозировать плотность подстилки в зависимости от климатических районов и типа древостоя.

В процессе взаимодействия рабочих органов машин с опорной поверхностью происходит изменение плотности подстилки не только в вертикальном направлении, но и в горизонтальном.

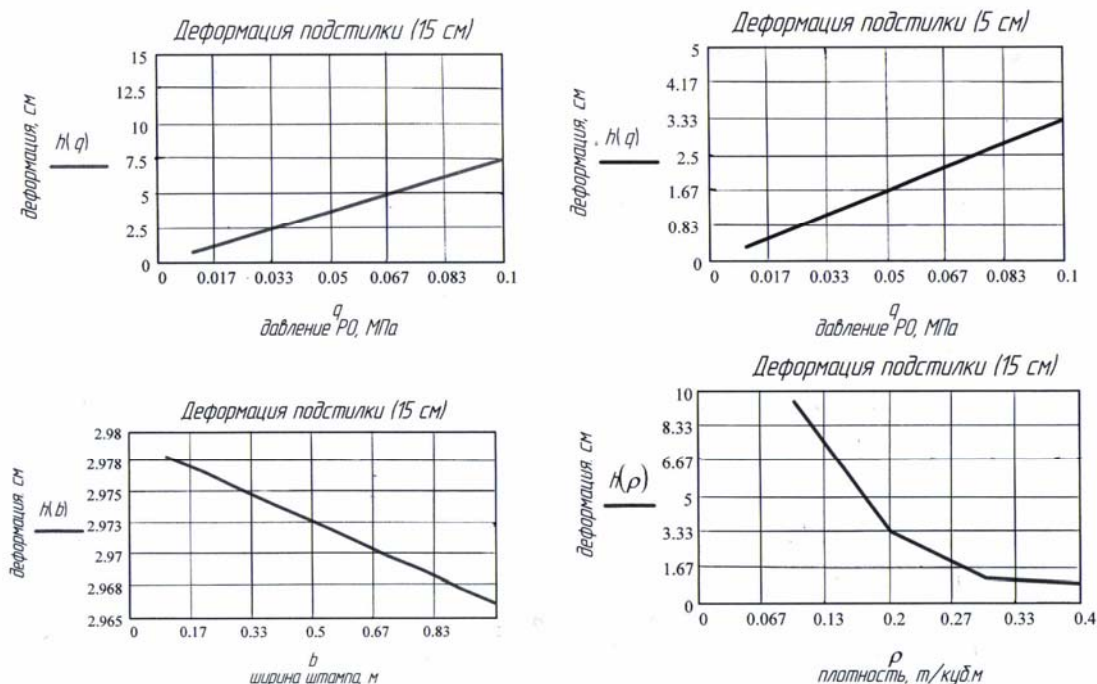


Рис.3. Графики зависимости деформации подстилки от нагрузок

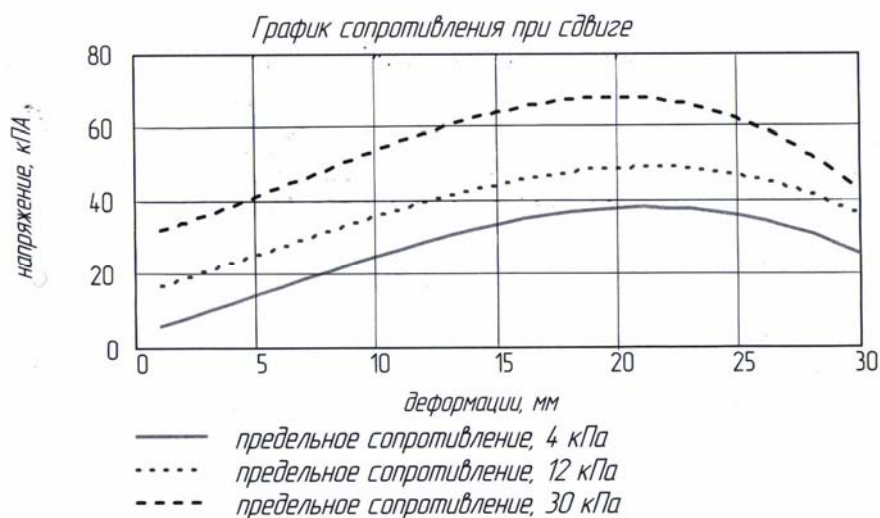


Рис. 4. Графики сопротивления подстилки при сдвиге

Такие процессы наблюдаются при исследовании работы движителей лесных машин. При сдвиге процессы деформирования часто описываются степенными зависимостями

$$\tau(s) = \tau_0 + (\tau_n - \tau_0) \cdot (1 - e^{-a \cdot S_0} + b \cdot S_0^c \cdot e^{-d \cdot S_0}), \quad (7)$$

где $\tau(s)$ – текущее значение касательных напряжений в материале, Па;

τ_0 – начальное значение удельного сопротивления сдвигу;

τ_n – предельное сопротивление сдвигу;

S – абсолютный сдвиг, м;

$S_0 = S / S_n$ – относительный сдвиг;

S_n – сдвиг почвы при предельном сопротивлении сдвигу;

a, b, c – коэффициенты пропорциональности, рассчитываемые в результате обработки экспериментальных данных.

На рис. 4 приведены результаты исследований сопротивления лесной подстилки при сдвиге, выполненные по модели (7).

Расчеты, проведенные по модели (7), показывают, что для опорных поверхностей с ненарушенной структурой при возрастании сдвига подстилка вначале уплотняется, и касательная сила увеличивается до максимума, соответствующего определенному сдвигу S_0 . В этот момент достигают максимума силы внутреннего сцепления. Затем происходит срыв подстилки при преодолении сил внут-

реннего сцепления, и касательная сила снижается до значений, обусловленных силами внутреннего трения. У рыхлой подстилки внутреннее сцепление между элементами отсутствует, поэтому с ростом деформации сдвига касательная сила линейно возрастает до значений, обусловленных внутренним трением.

Выводы

Предложена и реализована в соответствующих программных средствах многокомпонентная компьютерная модель, описывающая механические свойства лесной опорной поверхности движения машин. Структура поверхности моделируется двумя компонентами, представленными случайными поверхностями, и единичными включениями, создающими импульсные нагрузки на рабочие органы и движители лесных машин. Поверхность минерального основания генерируется на основе данных по микропрофилям. Параметры лесной подстилки прогнозируются на основе данных по климату, типу древостоев, скорости разложения, району использования лесных машин и учитывают деформирования сжатия и сдвигу в результате взаимодействия с машинами. Результаты моделирования используются при конструировании как входные динамические воздействия на рабочие органы и движители лесных машин.

Список литературы

1. Роторно-винтовые машины. Основы теории движения/ И.О. Донато, В.А. Жук, Б.В. Кузнецов и др. – Н. Новгород: НПК, 2000. – 451 с.
2. Сабанцев Ю.Н., Мазуркин П.М. Статистическое моделирование лесоэкономических данных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 390 с.
3. Мазуркин П. М. Биотехническое проектирование. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1994. – 348 с.
4. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин. – М.: Экология, 1995. – 257 с.
5. Варава В.И. Расчет и конструирование упругих систем транспортных машин. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 144 с.
6. Гостев Б.П., Мельников В.И. Основы динамики лесовозного подвижного состава. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 220 с.
7. Коршун В.Н. Моделирование движения агрегата по вырубке // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров и систем управления лесного комплекса: Межвуз. сб. научн. трудов. – Вып. 7. – Ч. 1. – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – С. 61 – 64.
8. Аткина Л.И., Аткин А.С. Особенности накопления подстилок в лесных сообществах // Почвоведение. – 2000.– № 8. – С. 1004 – 1008.
9. Коршун В.Н. Основные физико-механические и технологические свойства опавших листьев // Машины и орудия для механизации лесозаготовок и лесного хозяйства: Межвуз. сб. научн. трудов. – Л.: ЛТА, 1984. – С. 50 – 52.
10. Коршун В.Н. Роторные рабочие органы лесохозяйственных машин. Концепция конструирования: Монография. – Красноярск: СибГТУ, 2003. – 228 с.
11. J.Vario. Simulating soil deformation using a critical-state model// Europ. J. Soil. Sc. – 1997. – Vol. 48. – N 1. – P. 59 – 70 (англ.).

КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ МОДУЛЬНОЙ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ

Ю.А. ШИРНИН, *проф. каф. ТОЛП МарГТУ, д-р техн. наук,*
 Е.М. ОНУЧИН, *асп. каф. ТОЛП МарГТУ*

Модульная лесная машина (МЛМ), включающая базовый тягово-энергетический модуль (колесный сельскохозяйственный трактор) и установочный модуль, представляющий собой одно или двухосный полуприцеп, являясь перспективной базой технологических машин для комплексного производства лесосечных и лесовосстановительных работ, в тоже время не обладает достаточной маневренностью для их эффективного выполнения.

Известные технические решения (крестообразная сцепка, переламывающееся дышло и т. д.), конструкция и работа которых описаны многими авторами [1, 2, 3], не позволяют существенно повысить это качество. Поэтому была поставлена задача разработать техническое решение, качественно повышающее маневренность и функциональность МЛМ и дать математическое описание его работы.

Для решения поставленной задачи предложено следующее конструктивное ре-

шение шасси установочного модуля (рис. 1). К раме 1 шасси крепится порталый мост 2, внутри которого смонтированы дифференциал 3 и конические передачи привода вращения колес 4, который может быть осуществлен например от гидромотора. На специальных кронштейнах порталого моста устанавливаются поворотные цапфы 5 колес. Привод поворотных цапф осуществляется от гидромоторов 6 через червячные передачи 7.

Предложенная конструкция шасси установочного модуля обеспечивает достаточный независимый поворот колес установочного модуля вокруг шарниров поворотных цапф, что позволяет качественно повысить маневренность МЛМ благодаря реализации следующих режимов движения (рис. 2).

Прямолинейное или криволинейное движение МЛМ с заблокированным механизмом поворота колес установочного модуля. В этом случае установочный модуль работает как полуприцеп с неподвижными колесами.

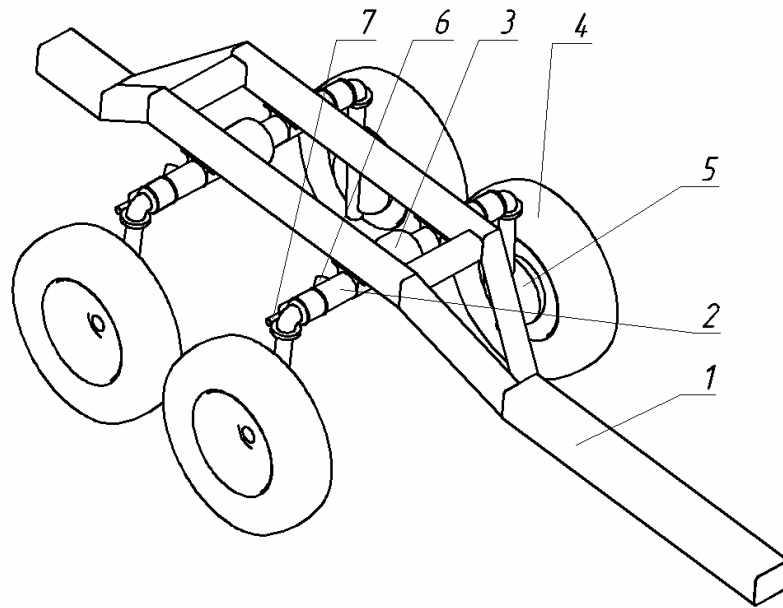


Рис. 1. Компонка двухосного шасси установочного модуля: 1 – рама шасси; 2 – порталный мост; 3 – дифференциал; 4 – колесо; 5 – поворотная цапфа; 6 – гидромотор привода поворота колес; 7 – червячная передача

Поворот установочного модуля вокруг неподвижного тягово-энергетического модуля. В этом случае колеса установочного модуля посредством механизма поворота устанавливаются перпендикулярно линии, соединяющей их оси вращения и точку сцепки, и благодаря приводу вращения колес обеспечивается его поворот вокруг точки сцепки (т.О₂).

Движение МЛМ в повороте. В этом случае благодаря механизму поворота колес установочного модуля достигается его движение по следу колес тягово-энергетического модуля при повороте МЛМ.

Поворот установочного модуля вокруг тягово-энергетического модуля, движущегося по прямолинейной или криволинейной траектории (общий случай движения МЛМ). В этом случае благодаря независимому приводу вращения и поворота колес достигается поворот установочного модуля вокруг движущегося по произвольной траектории тягово-энергетического модуля.

Последний случай является наиболее общим, и для его аналитического описания необходимо найти закон движения МЛМ, который в общем случае определяется следующими 3 независимыми переменными:

$\theta_{\dot{y},i}$ – угол поворота управляемых (передних) колес тягово-энергетического модуля; $\omega_{\dot{y},i}$ – скорость вращения ведущих (задних) колес тягово-энергетического модуля; $\theta_{\dot{o},i}$ – угол поворота колес установочного модуля. В качестве зависимой переменной общего случая движения МЛМ удобно принять угол перелома машины – ψ , т. е. угол в горизонтальной плоскости между продольными осями тягово-энергетического и установочного модулей.

Необходимо отметить, что с точки зрения эффективности управления движением МЛМ оператору удобнее задавать не угол поворота колес установочного модуля, а необходимую скорость изменения угла перелома МЛМ – $\dot{\psi}$, т. е. угловую скорость вращения установочного модуля относительно тягово-энергетического модуля – $\omega_{\dot{o},i \dot{y},i}$. По заданным оператором независимым переменным, определяющим движение МЛМ ($\theta_{\dot{y},i}$, $\omega_{\dot{y},i}$, $\omega_{\dot{o},i \dot{y},i}$), бортовая ЭВМ машины может рассчитать значения зависимых переменных ($\theta_{\dot{o},i}$, $\omega_{\dot{o},i}$ – скорость вращения колес установочного модуля) и выдать соответствующие команды приводам вращения и поворота колес установочного модуля.

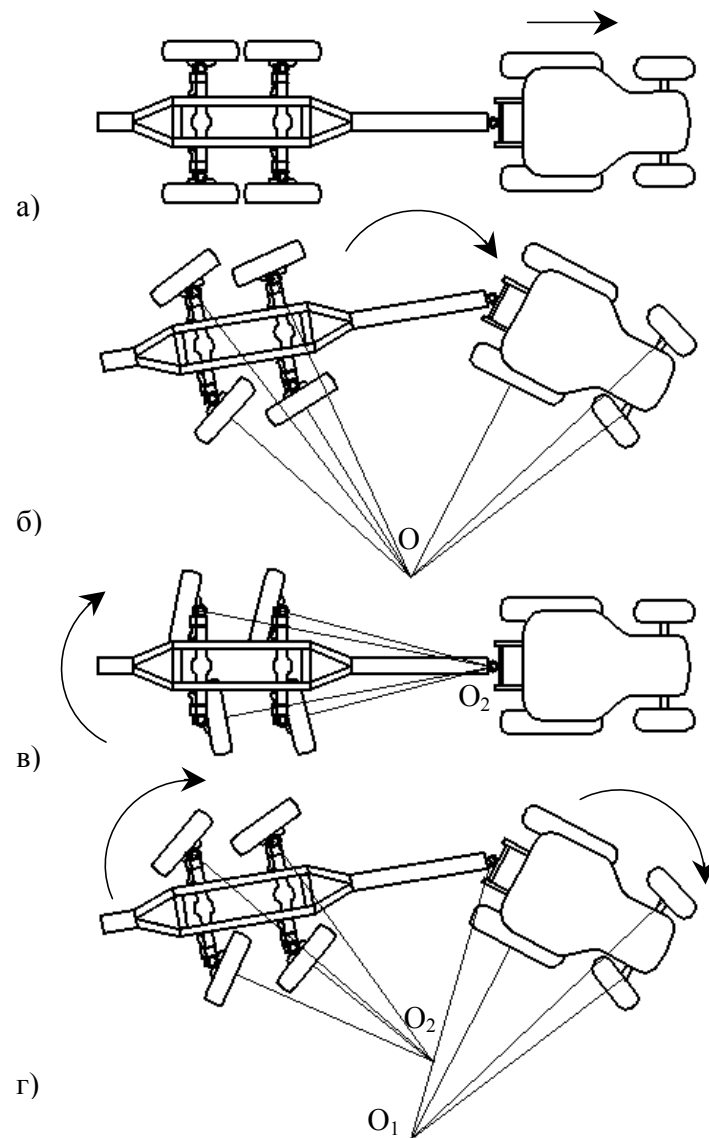


Рис. 2. Режимы движения МЛМ: а – прямолинейное движение; б – движение в повороте; в – поворот установочного модуля вокруг неподвижного тягово-энергетического модуля; г – поворот установочного модуля вокруг движущегося тягово-энергетического модуля; O, O₁ O₂ – мгновенные центры поворота соответственно МЛМ, тягово-энергетического модуля, установочного модуля

Таким образом, задачами исследования кинематики общего случая движения МЛМ является установление функциональной зависимости угла перелома машины от независимых переменных $\theta_{\dot{\gamma},i}$, $\omega_{\dot{\gamma},i}$, $\theta_{\dot{o},i}$ (обратная задача) и нахождение зависимых переменных $\theta_{\dot{o},i}$, $\omega_{\dot{o},i}$ при заданных управляющих воздействиях $\theta_{\dot{\gamma},i}$, $\omega_{\dot{\gamma},i}$, $\omega_{\dot{o},i}$ (прямая задача).

Для решения обратной задачи кинематики общего случая движения МЛМ воспользуемся расчетной схемой представленной на рис. 3. МЛМ можно представить в

виде двух твердых тел, шарнирно соединенных между собой и совершающих плоское движение. Первое твердое тело образует тягово-энергетический модуль (отрезок ABC на рис. 3), движение которого однозначно определяется скоростью т. В ($v_{\dot{\gamma},i}$) и направлением скорости т. А (угол $\theta_{\dot{\gamma},i}$). Второе тело составляет установочный модуль (отрезок CFD на рис. 3). Движение установочного модуля определяется скоростью в шарнире (т. С) $v_{\dot{n}o}$ и углом поворота колес установочного модуля $\theta_{\dot{o},i}$.

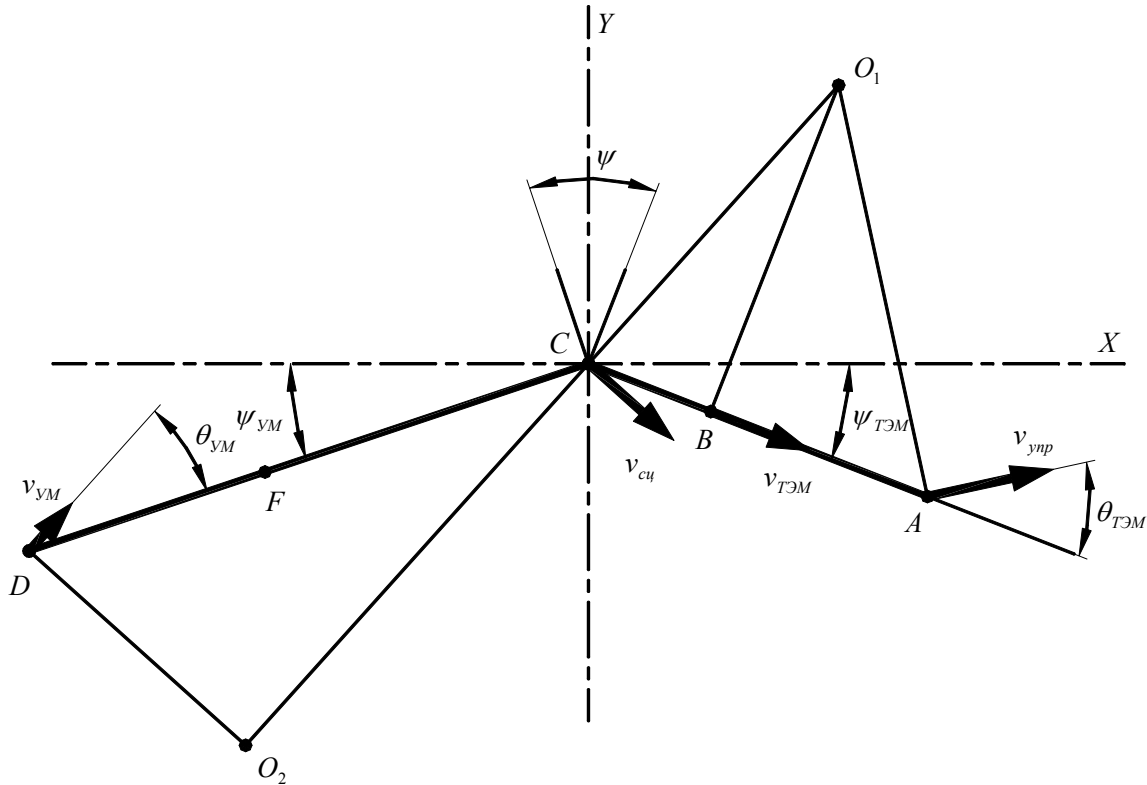


Рис. 3. Схема общего случая движения МЛМ

Угол перелома МЛМ ψ можно выразить через углы поворота тягово-энергетического и установочного модулей относительно оси X неподвижной системы координат $\psi = \psi_{\dot{o}.i} - \psi_{\dot{o}.i}$, при этом углы $\psi_{\dot{o}.i}$ и $\psi_{\dot{o}.i}$ являются положительными, если вращение соответствующего модуля относительно т. С происходит против часовой стрелки.

Справедливо также и следующее выражение для угловых скоростей вращения модулей относительно т. С:

$$\dot{\psi} = \dot{\psi}_{\dot{o}.i} - \dot{\psi}_{\dot{o}.i} \quad (1)$$

Угловая скорость вращения тягово-энергетического модуля выражается соотношением $\dot{\psi}_{\dot{o}.i} = \frac{v_{\dot{o}\dot{o}} \sin \theta_{\dot{o}.i} + v_{\dot{n}\dot{o}} \sin \theta_{\dot{n}\dot{o}}}{AC}$.

Скорость управляемых колес тягово-энергетического модуля (т. А) $v_{\dot{o}\dot{o}}$ согласно теореме о скоростях точек плоской фигуры можно выразить соотношением

$$v_{\dot{o}\dot{o}} = \frac{v_{\dot{o}\dot{i}}}{\cos \theta_{\dot{o}.i}}.$$

В свою очередь скорость сцепки (т. С) выражается соотношением $v_{\dot{n}\dot{o}} = \frac{v_{\dot{o}.i}}{\cos \theta_{\dot{n}\dot{o}}}$, где $\theta_{\dot{n}\dot{o}}$ – угол между направлением скорости (т. С) и продольной осью тягово-энергетического модуля (отрезком AC);

$$\theta_{\dot{n}\dot{o}} = \frac{\pi}{2} - \text{Arctg} \left(\frac{AB}{BC} \text{tg} \theta_{\dot{o}.i} \right).$$

Таким образом после подстановки получаем

$$\dot{\psi}_{\dot{o}.i} = \frac{\left(1 + \frac{BC}{AB} \right)}{AC} \text{tg} \theta_{\dot{o}.i} v_{\dot{o}.i} \quad (2)$$

Аналогично для угловой скорости вращения установочного модуля относительно (т. С) можно записать так:

$$\dot{\psi}_{\dot{o}i} = \frac{v_{\dot{o}i} \sin \theta_{\dot{o}i} + v_{\dot{n}\dot{o}} \sin (\theta_{\dot{n}\dot{o}} + \psi)}{CD},$$

где скорость колес установочного модуля (т. D)

$$v_{\dot{o}i} = v_{\dot{n}\dot{o}} \frac{\cos (\theta_{\dot{n}\dot{o}} + \psi)}{\cos \theta_{\dot{o}i}} \quad (3)$$

Подставив указанные величины в выражение для $\dot{\psi}_{oi}$, получаем

$$\dot{\psi}_{oi} = \left(\frac{\frac{BC \cos \psi}{ABCD} + \frac{\sin \psi \operatorname{ctg} \theta_{o\dot{y}i}}{CD}}{+ \frac{AB \operatorname{ctg} \theta_{o\dot{y}i} - BC \operatorname{tg} \psi}{ABCD} \operatorname{Cos} \psi \operatorname{tg} \theta_{oi}} \right) \operatorname{tg} \theta_{oi} v_{o\dot{y}i}. \quad (4)$$

После подстановки выражений (2) и (4) получаем дифференциальное уравнение, описывающее общий случай движения МЛМ

$$\dot{\psi} = \left(\frac{\frac{AB+BC}{ABAC}}{\left(\frac{BC \cos \psi}{ABCD} + \frac{\sin \psi \operatorname{ctg} \theta_{o\dot{y}i}}{CD} + \frac{AB \operatorname{ctg} \theta_{o\dot{y}i} - BC \operatorname{tg} \psi}{ABCD} \operatorname{Cos} \psi \operatorname{tg} \theta_{oi} \right)} \right) \operatorname{tg} \theta_{o\dot{y}i} v_{o\dot{y}i}. \quad (5)$$

Аналитическое решение уравнения (5) при условии функциональной зависимости от времени входящих в него переменных $v_{o\dot{y}i} = f(t)$, $\theta_{o\dot{y}i} = f(t)$, $\theta_{oi} = f(t)$ вызывает затруднения, поэтому искомая функция находится численными методами. Пример функции $\psi = f(t)$, представленный на рис. 4, получен путем численного решения уравнения (5) в среде Mathematica 3.0 для следующих условий: $AB = 4$ м, $AC = 5$ м, $BC = 1$ м, $CD = 5$ м, $\theta_{o\dot{y}i} = 15^\circ$, $\theta_{oi} = 10^\circ$, $v_{o\dot{y}i} = 0,2$ м/с, $\psi_0 = 0$. По графику видно, что при указан-

ных условиях перелом МЛМ вначале происходит против часовой стрелки, а затем по часовой.

Таким образом, в каждом конкретном случае можно получить функцию $\psi = f(t)$ при заданных параметрах машины (AB , AC , BC , CD), параметрах ее движения ($\theta_{o\dot{y}i}$, θ_{oi} , $v_{o\dot{y}i}$) и начальных условиях (ψ_0), т. е. получить решение обратной задачи кинематики общего случая движения МЛМ.

Для решения прямой задачи кинематики, т. е. для определения θ_{oi} и v_{oi} при заданных $v_{o\dot{y}i}$, $\theta_{o\dot{y}i}$, $\dot{\psi}$ и ψ_0 необходимо ввести дополнительные условия. С практической точки зрения наибольший интерес вызывает равномерный взаимный поворот тягово-энергетического и установочного модулей относительно вертикальной оси, проходящей через точку сцепки. Условие такого движение выражается следующим уравнением:

$$\dot{\psi} = \varphi = \operatorname{const}, \quad (6)$$

где φ – угловая скорость взаимного поворота тягово-энергетического и установочного модулей.

Проинтегрировав выражение (6) с учетом начального условия $\psi(t=0) = \psi_0$, получаем

$$\psi = \varphi t + \psi_0. \quad (7)$$

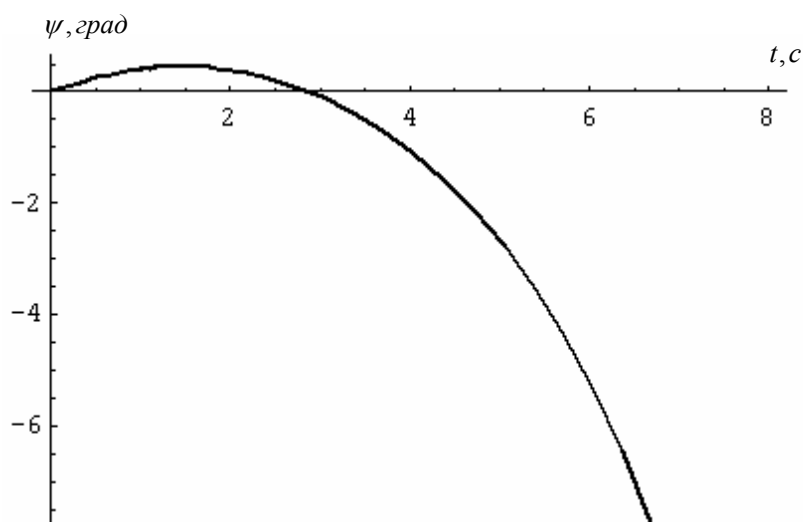


Рис. 4. Пример численного решения дифференциального уравнения общего случая движения МЛМ

После подстановки выражений (5) и (6) в уравнение (4) получаем

$$\varphi = \left(\frac{AB + BC}{AB AC} - \left(\frac{BC \cos(\varphi t + \psi_0)}{AB CD} + \frac{\sin(\varphi t + \psi_0) \operatorname{ctg} \theta_{\dot{y},i}}{CD} + \frac{AB \operatorname{ctg} \theta_{\dot{y},i} - BC \operatorname{tg}(\varphi t + \psi_0) \cos(\varphi t + \psi_0) \operatorname{tg} \theta_{\dot{y},i}}{AB CD} \right) \right) \operatorname{tg} \theta_{\dot{y},i} v_{\dot{y},i} .$$

Откуда можно выразить

$$\operatorname{tg} \theta_{\dot{y},i} = - \frac{AB CD \operatorname{ctg} \theta_{\dot{y},i} \left(\varphi - \left(\frac{AB + BC}{AB AC} - \frac{BC \cos(\varphi t + \psi_0)}{AB CD} - \frac{\operatorname{ctg} \theta_{\dot{y},i} \sin(\varphi t + \psi_0)}{CD} \right) \operatorname{tg} \theta_{\dot{y},i} v_{\dot{y},i} \right)}{(AB \operatorname{ctg} \theta_{\dot{y},i} - BC \operatorname{tg}(\varphi t + \psi_0)) \cos(\varphi t + \psi_0) v_{\dot{y},i}} .$$

После определения $\theta_{\dot{y},i}$ по формуле (3) рассчитывается и $v_{\dot{y},i}$.

Решение прямой задачи кинематики общего случая движения МЛМ может быть также достигнуто методом табулирования функций $\theta_{\dot{y},i} = f(v_{\dot{y},i}, \theta_{\dot{y},i}, \dot{\psi}, \psi_0)$ и $v_{\dot{y},i} = f(v_{\dot{y},i}, \theta_{\dot{y},i}, \dot{\psi}, \psi_0)$, полученных дифференцированием численных решений уравнения (5), вычисленных для различных исходных данных.

Таким образом, предложенное техническое решение шасси установочного модуля МЛМ позволяет качественно повысить ее маневренность и функциональность, а полученное математическое описание движения может быть использовано при проектировании систем управления МЛМ.

Работа выполнена при финансовой поддержке МО РФ в рамках гранта 2002 г. по фундаментальным исследованиям в области технических наук.

Список литературы

1. Кувалдин Б.И. Прицепной состав лесовозных дорог: Учеб. пособ. для вузов / Б.И. Кувалдин. – 2-е изд. перераб. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 240 с.
2. Соколов Г.М. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозного автопоезда при движении на кривых: Автореф. дисс... д-ра техн. наук: 05.21.01. – Воронеж, 1998. – 33 с.
3. Тракторные поезда / П.П. Артемьев, Ю.Е. Атаманов, Н.В. Богдан и др.; Под ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1982. – 183 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

В.В. САВЕЛЬЕВ, докторант МарГТУ, канд. техн. наук

Несоблюдение габаритных и весовых параметров при размещении различных лесоматериалов на лесовозных автопоездах приводит к значительному перегрузу его составных частей, повышенным осевым нагрузкам и интенсивному воздействию колес автопоездов на дорожную одежду.

При расчете на прочность дорожных одежд нежесткого и жесткого типов следует определять расчетные параметры подвижной нагрузки, для вычисления которых необходимо знать статические нагрузки на

колеса всех осей лесовозных автопоездов [1].

Приведенная в справочной литературе [2, 3, 4] информация о распределении нагрузки от массы лесовозных автопоездов на дорогу не в полной мере учитывает вид и длину лесоматериалов, параметры их размещения на подвижном составе и другие данные. Поэтому определение полной массы на оси лесовозного автопоезда в каждом конкретном случае требует уточнения или обоснования.

Осевые нагрузки лесовозных автопоездов зависят от вида перевозимых лесоматериалов – хлыстов, полухлыстов, сортиментов – и их размещения на подвижном составе, наличия и места расположения навесного погрузочного оборудования – гидравлического манипулятора, аутригеров, упора, – вида прицепного состава, действующей системы габаритных и весовых ограничений на перевозку крупногабаритных грузов [5].

С учетом вышеперечисленных факторов нагрузку на любую ось автопоезда можно определить суммированием отдельных составляющих:

$$R_i = R_{ici} + R_{iit} + R_{ie} , \quad (1)$$

где R_i – нагрузка на i -ую ось автопоезда, кН;

R_{iit} , R_{iit} , R_{ie} – нагрузки на оси автопоезда от массы соответственно снаряженного автомобиля или прицепного состава, навесного оборудования и перевозимых лесоматериалов, кН;

i – количество осей автопоезда.

Расчетная схема для определения осевых нагрузок самозагружающихся автопоездов, сформированных с прицепами-ропусками для вывозки хлыстов, полухлыстов или сортиментов, приведена на рис. 1.

Нагрузка на переднюю и заднюю ось (тележку) автомобиля от навесного оборудо-

вания определяется из следующих уравнений:

$$\sum M_A = 0; g G_y \ell_o + R_{ci} L - g G_{ai} (\ell_1 + \ell_o - \ell_{ai}) - g G_a (\ell_1 + \ell_o - \ell_a) = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_B = 0; g G_y (L + \ell_o) + g G_{ai} (L - \ell_o - \ell_1 + \ell_{ai}) + g G_a (L - \ell_o - \ell_1 + \ell_a) - R_{ci} L = 0 . \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2):

$$R_{ci} = g [G_{ai} (\ell_1 + \ell_i - \ell_{ai}) + G_a (\ell_1 + \ell_o - \ell_a) - G_y \ell_o] / L; \quad (3)$$

$$R_{ti} = g [G_y (L + \ell_o) + G_{ai} (L - \ell_2 + \ell_{ai}) + G_a (L - \ell_2 + \ell_a)] / L = 0, \quad (4)$$

где R_{ti} , R_{ci} – нагрузка на переднюю и заднюю ось (тележку) автомобиля от массы навесного оборудования, кН;

G_{ai} – масса навесного гидравлического манипулятора (ГМ), т;

G_a – масса аутригеров, т;

G_y – масса упора, т;

L – база автомобиля, м;

ℓ_o – расстояние от упора до передней оси автомобиля, м;

ℓ_o , ℓ_{ai} , ℓ_a – расстояния от линии крепления ГМ соответственно до задней части кабины, до центра масс ГМ и до центра масс аутригеров, м;

$$\ell_2 = \ell_i + \ell_1 .$$

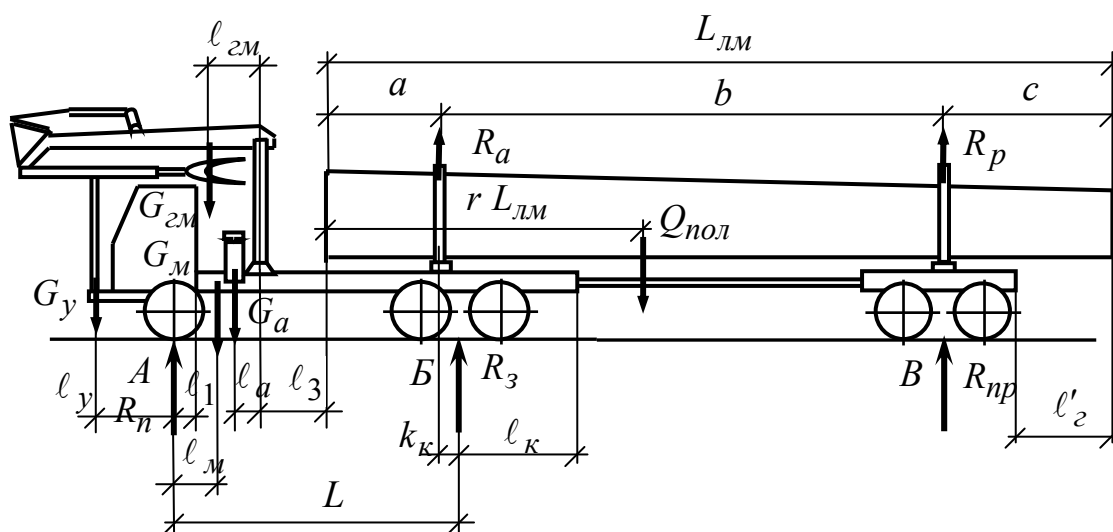


Рис. 1. Расчетная схема определения осевых нагрузок лесовозных автопоездов (автомобиль + прицеп-ропуск)

Аналогичным образом определяется нагрузка на оси автопоезда от массы перевозимых лесоматериалов:

на переднюю ось автомобиля

$$R_{r,\bar{e}} = R_a k_e / L; \quad (5)$$

на заднюю ось (тележку)

$$R_{\varphi,\bar{e}} = R_a (L - k_e) / L; \quad (6)$$

на оси прицепа-ропуска

$$R_{r,\delta,\bar{e}} = R_{\delta}, \quad (7)$$

где R_a, R_{δ} – реакции коника автомобиля и прицепа-ропуска, равные величине нагрузки на коники от $Q_{i,i,\bar{e}}$, кН [6];

k_e – расстояние от центра коника до задней оси (тележки) автомобиля, м.

$$R_a = Q_{i,i,\bar{e}} \gamma_{\bar{a}} (\dot{a} + b - r L_{\bar{a}i}) / b; \quad (8)$$

$$R_p = Q_{i,i,\bar{e}} \gamma_{\bar{a}} - R_a, \quad (9)$$

где $Q_{i,i,\bar{e}}$ – полезная нагрузка на автопоезд, м³;

$\gamma_{\bar{a}}$ – средняя плотность древесины, т/м³;

\dot{a} – свес лесоматериалов за коник автомобиля, м;

b – расстояние между кониками, м;

$L_{\bar{a}i}$ – длина пакета лесоматериалов, м;

r – коэффициент, зависящий от величины обрезки вершинной части хлыстов ($r = 0,33 \dots 0,5$) [6].

Осевые нагрузки автопоезда (см. рис. 1) составят:

на переднюю ось автомобиля

$$R_r = R_{r,\bar{n}} + R_{r,i} + R_{r,\bar{e}}, \quad (10)$$

на заднюю ось (тележку) автомобиля

$$R_{\varphi} = R_{\varphi,\bar{n}} + R_{\varphi,i} + R_{\varphi,\bar{e}}, \quad (11)$$

на оси прицепа-ропуска

$$R_p = R_{\delta,\bar{n}} + R_{r,\delta,\bar{e}}, \quad (12)$$

где $R_{r,\bar{n}}, R_{\varphi,\bar{n}}, R_{\delta,\bar{n}}$ – снаряженная масса соответственно на переднюю и заднюю оси автомобиля и прицепного состава [3, 4], кН.

Для автопоездов без навесного гидравлического манипулятора осевые нагрузки определяются по формулам (10)...(12) при $R_{r,i} = 0$ и $R_{\varphi,i} = 0$.

Расчетная схема для определения осевых нагрузок автомобилей в составе са-

мозагружающихся автопоездов, скомплектованных с прицепами или работающих без прицепного состава на вывозке сортиментов, приведена на рис. 2.

Общая нагрузка на переднюю и заднюю оси (тележку) автомобиля определяется по формулам (10) и (11).

При расположении навесного гидравлического манипулятора (ГМ) за кабиной автомобиля и стрелы ГМ в транспортном положении над кабиной на упоре значения составляющих осевой нагрузки определяются по следующим формулам:

нагрузка на переднюю $R_{r,i}$ и заднюю $R_{\varphi,i}$ оси (тележку) автомобиля от массы навесного оборудования по формулам (3) и (4);
нагрузка на оси автопоезда от массы перевозимых лесоматериалов:

– на переднюю ось автомобиля

$$R_{r,\bar{e}} = g Q_a k_c / L; \quad (13)$$

– на заднюю ось (тележку)

$$R_{\varphi,\bar{e}} = g Q_a (L + k_c) / L; \quad (14)$$

нагрузка от массы снаряженного автомобиля:

– на переднюю ось автомобиля

$$R_{r,\bar{n}} = g [G_i (L - \ell_i) + G_c (\ell_4 - \ell_5)] / L; \quad (15)$$

– на заднюю ось (тележку)

$$R_{\varphi,\bar{n}} = g [G_i \ell_i + G_c (2L + \ell_5 - \ell_4)] / L, \quad (16)$$

где Q_a – полезная нагрузка на автомобиль, т;

$k_{\bar{n}}$ – расстояние от центра тяжести сортиментов до задней оси (тележки) автомобиля, м;

G_c – масса стоек коника, т;

ℓ_4, ℓ_5 – расстояния от центра стоек до задней оси (тележки) автомобиля, м;

G_i – масса снаряженного автомобиля, т;

ℓ_i – расстояние от центра тяжести автомобиля до передней оси, м.

При установке ГМ за кабиной автомобиля и размещении стрелы в транспортном положении на пачке сортиментов:

$$R_{r,i} = g [G_{\bar{a}i} (L - \ell_o - \ell_1 - \ell_i) + G_{\bar{a}} (L - \ell_o - \ell_1 + \ell_a)] / L; \quad (17)$$

$$R_{\varphi,i} = g [G_{\bar{a}i} (\ell_i + \ell_1 + \ell_i) + G_{\bar{a}} (\ell_i + \ell_1 - \ell_a)] / L. \quad (18)$$

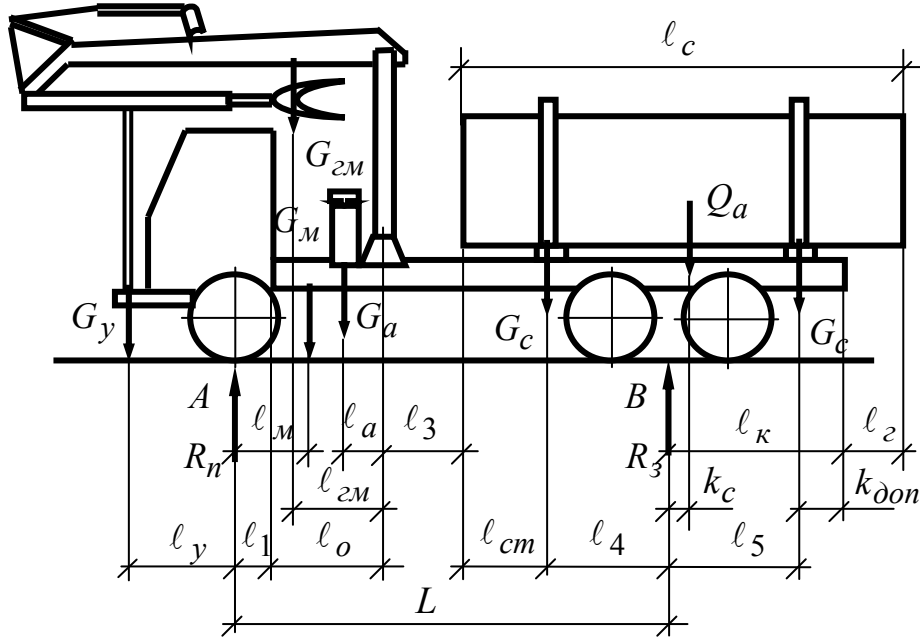


Рис. 2. Расчетная схема определения осевых нагрузок лесовозных автомобилей

При установке ГМ в задней части шасси автомобиля и размещении стрелы в транспортном положении на пачке сортиментов

$$R_{r,i} = g[G_{ai}(l_e + l_a) + G_a(l_e + l_a - l_a) + G_a(l_e + l_a)] / L; \quad (19)$$

$$R_{c,i} = g[G_{ai}(L + l_e + l_a) + G_a(L + l_e + l_a - l_a) + G_a(L + l_e + l_a)] / L, \quad (20)$$

где l_e – расстояние от задней оси (тележки) до конца рамы автомобиля, м;

l_a – расстояние от рамы автомобиля до линии крепления ГМ на надрамнике или специальной дополнительной раме, м;

G_a – масса выступающей за раму автомобиля части надрамника или специальной дополнительной рамы, т.

Нагрузки на оси прицепа или полуприцепа в составе автопоезда при вывозке сортиментов определяются по аналогичной методике.

Полученные расчетом величины осевых нагрузок автомобиля и прицепного состава не должны превышать допустимых ограничений. По осевым нагрузкам автотранспортных средств имеются ограниче-

ния от 4 до 10 кН в зависимости от типа колес, типа осей и расстояний между ними. Полная масса одиночного трехосного автомобиля должна составлять не более 24 т, а автопоезда с пятью и более осями – 36...44 т [6].

Если осевые нагрузки или полная масса автопоезда превышают допустимые значения, то следует: 1) изменить параметры размещения или длину перевозимых лесоматериалов; 2) пересмотреть вариант установки навесного гидравлического манипулятора или расположения его стрелы в транспортном положении; 3) изменить модификацию навесного гидравлического манипулятора, марку и модификацию автомобиля или сцепного состава.

Предлагаемая математическая модель определения осевых нагрузок автопоездов, используемых для вывозки различных лесоматериалов, позволит не только рассчитать нагрузку на все оси, но и выполнить формирование лесовозных автопоездов с учетом действующих весовых и габаритных ограничений и обосновать расчетное транспортное средство для проектирования дорожных конструкций.

Список литературы

1. Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01. – М.: Государственная служба дорожного хоз-ва м-ва транспорта РФ, 2001. – 145 с.
2. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83. Министерство транспортного стр-ва СССР. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с.
3. Краткий автомобильный справочник / А.Н. Познизовкин, Ю.И. Власко, М.Б. Ляшков и др. – М.: АО «Трансконсалтинг», НИИАТ, 1994. – 779 с.
4. Машины и оборудование лесозаготовок: Справочник / Е.И. Миронов, Д.Б. Рохленко, Л.Н. Беловзоров и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 440 с.
5. Смирнов М.Ю., Андрианов Ю.С. Весовой контроль на автомобильных дорогах: Учеб. пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 118 с.
6. Смирнов М.Ю. Организация вывозки лесоматериалов: Учеб. пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 80 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА МАРШРУТА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Э.Ф. ГЕРЦ, *Уральский государственный лесотехнический университет*

Лесосечные работы в древостоях с незначительной густотой имеют свои особенности. В таких насаждениях по лесоводственным требованиям, как правило, возможны только сплошные рубки. При заготовке леса лесозаготовительной машиной (ЛЗМ) необходим выбор такого маршрута перемещения по пасеке или ленте разрабатываемой за один проход, при котором путь, проходимый ЛЗМ при разработке лесосеки, был бы минимальным, а ширина ленты, разрабатываемой за один проход, – максимальной. Непрямолинейный маршрут перемещения ЛЗМ в процессе разработки ленты леса с поворотами позволяет ей в качестве очередного выбирать ближайшее дерево, лежащее в стороне от продольной оси ленты.

Математическая модель

В основу математической модели выбора маршрута положено движение по взаимосопряженным кривым. Поворот на месте, возможный для гусеничных ЛЗМ, связан со значительными потерями энергии и времени на буксование, а для колесных ЛЗМ не возможен вовсе. Такая тактика выбора маршрута наиболее целесообразна для фланговых ЛЗМ.

Фланговая ЛЗМ заготавливает в редианах с рабочей позиции, как правило, только одно дерево. В качестве очередного

заготавливаемого дерева всегда рассматривается ближайшее по оси абсцисс дерево. В предлагаемой модели выбора маршрута приняты следующие допущения и ограничения:

– на стоянке в рабочей позиции машина располагается вдоль ленты, причем абсцисса стоянки машины и абсцисса заготавливаемого дерева равны: $x_{mi} = x_j$;

– взаимное положение машины и дерева, для заготовки которого осуществляется переезд, определяется минимальным и максимальным вылетом рабочего органа

$$r + \frac{d_j}{2} \leq x_{mi} - x_j \leq R - d_j;$$

– радиус поворота ЛЗМ при переезде ограничивается минимально допустимым радиусом $R_{nj} \geq R_{nm}$;

– необходимость заготовки всех деревьев, расположенных на разрабатываемой ленте со стороны вырубki, $y_j^{доств} \leq y_{j+1}^{недоств}$.

Необходимый радиус поворота для переезда к очередной рабочей позиции определяется следующим образом:

$$R_{nj} = \frac{\Delta y^2 + \Delta x^2}{4\Delta y}.$$

Расстояние переезда между двумя рабочими позициями зависит от их взаимного расположения:

– при $\Delta x \geq \Delta y$ расстояние переезда складывается из двух взаимосопряженных дуг радиусом R_{nj} и составляет $l_k = R_{nj} \alpha$;

где α – угол между продольной осью ленты и направлением переезда между двумя смежными рабочими позициями

$$\alpha = 2\pi - 4 \operatorname{arctg} \frac{\Delta x}{\Delta y};$$

– при $\Delta x < \Delta y$ маршрут также состоит из двух взаимосопряженных дуг радиусом R_{nj} и отрезка прямой равного в этом случае

$$R_{nj} = \frac{\Delta x}{2}, \text{ а } l_n = \Delta x - \Delta y - z;$$

где z – величина, характеризующая взаимное положение дерева и машины на двух смежных стоянках, $z = (y_{j+1} - y_{mi+1}) - (y_j - y_{mi})$.

Средняя ширина ленты, пройденная ЛЗМ за один проход, составит при этом

$$b = \frac{n_3 \cdot 10^4}{L_n N_n},$$

где n_3 – число деревьев заготовленное на ленте, шт;

L_n – длина ленты, м;

N_n – число деревьев на гектаре, шт.

В соответствии с математической моделью перемещения ЛЗМ разработан моделирующий алгоритм.

Экспериментальные исследования

Для эксперимента на основании анализа работы валочно-пакетирующей машины ВМ-4 в качестве варьируемых факторов, определяющих расстояние переезда между деревьями, были приняты:

– число деревьев на гектаре;

– крутизна маневрирования, определяемая радиусом поворота.

Уровень варьирования факторов выбирался на основании целесообразности маневрирования ЛЗМ при переезде, которая в свою очередь определяется уменьшением расстояния переезда, отнесенного к одному заготовленному дереву, и увеличением ширины разрабатываемой ленты леса. Для густоты насаждения минимальный и максимальный уровни варьирования приняты 2 и 6 (100 дер/га) соответственно. Для колесных тракторов минимальный

радиус поворота, величина ограниченная конструктивно, для гусеничных тракторов он может равняться нулю. Однако поворот на месте связан со значительными потерями времени и энергии при буксовании. В практике работы гусеничных машин минимальный радиус поворота ограничивается 2–4 метрами. На этом основании нижний и верхний уровни варьирования минимального радиуса поворота были приняты 4 и 8 метров.

Эксперимент на имитационной модели проводился по полному факторному плану 2^2 . Для определения числа дублированных опытов и нормальности распределения выходной величины в центре плана был поставлен эксперимент с 190 кратным повторением.

Окончательный вид регрессионных моделей, отражающих зависимости расстояния переезда между стоянками и средней ширины ленты, имеют вид:

$$L_g = 10.32 - 1.05N + 0.49R_{nm},$$

$$B = 8.07 - 0.79N - 0.36R_{nm} + 0.04NR_{nm}.$$

Значения отклика, предсказанные полученными уравнениями регрессии, приведены в табл.

Проверка адекватности регрессионных моделей была проведена с использованием коэффициента детерминации. Проведенный анализ показал, что рассматриваемые уравнения регрессии достаточно определены включенными переменными. Этот вывод обеспечивается с доверительной вероятностью 0,95.

Проверка адекватности имитационной модели работе реальной ЛЗМ проведено сравнением значения выходных параметров модели и данных, полученных в натуральных экспериментах. В данном случае для оценки адекватности модели принято сравнение средних значений ширины ленты, разрабатываемой ВМ-4 за один проход. В работе [1] приведена средняя ширина ленты, разрабатываемая за один проход в зависимости от числа деревьев на гектаре, полученная в результате длительных наблюдений за работой ВМ-4.

Для оценки адекватности имитационной модели реальному процессу использовались результаты прогонов модели на суммарную длину ленты 4000 метров в каждой точке плана. В таблице представлены результаты, полученные в результате натуральных измерений и в результате экспериментов на имитационной модели.

Из таблицы видно, что результаты натуральных измерений лежат в диапазоне изменения результатов моделирования при различных минимальных радиусах поворота, причем крутизна маневрирования при переезде связана с плотностью насаждения. По мере увеличения плотности насаждения ширина ленты, разрабатываемой за один проход реальной ВПМ, соответствует увеличению крутизны маневрирования.

Увеличение ширины ленты, разрабатываемой фланговой ЛЗМ, за счет маневрирования в эксперименте варьируется от 0,4

до 3,4 метра в зависимости от плотности насаждения и крутизны маневрирования. Графическая интерпретация уширения ленты, разрабатываемой за один проход в зависимости от плотности насаждения с ограничением крутизны маневрирования, приведена на рис. 1.

В общем случае ширина ленты, разрабатываемой за один проход для фланговой ЛЗМ, определится как сумма вылета технологического оборудования и уширение ленты (ΔB) за счет маневрирования

$$B = \Delta B + R .$$

На рис. 2 приведена зависимость расстояния переезда фланговой ЛЗМ с шириной рабочей зоны технологического оборудования 2 и 4 метра, отнесенного к одному заготовленному дереву в зависимости от плотности насаждения при прямолинейном перемещении по ленте и при маневрировании.

Т а б л и ц а

Значение ширины ленты, разрабатываемой ВПМ с рычажным технологическим оборудованием

| Число стволов на га | Натурные измерения | Модель с минимальным радиусом поворота, м | | |
|---------------------|--------------------|---|-----|-----|
| | | 4 | 6 | 8 |
| 200 | 4,2 | 5,4 | 4,8 | 4,3 |
| 400 | 3,0 | 4,1 | 3,7 | 3,3 |
| 600 | 2,5 | 2,8 | 2,6 | 2,4 |

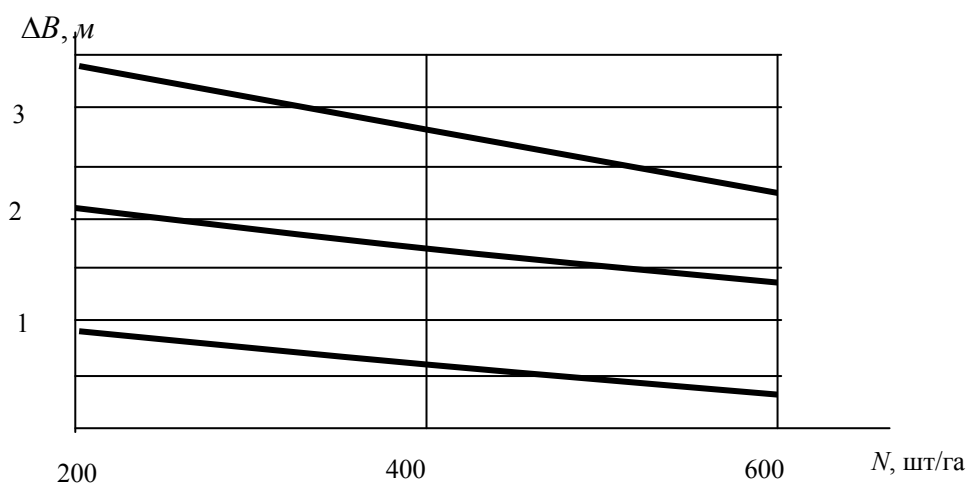


Рис. 1. Зависимость уширения ленты, разрабатываемой фланговой ЛЗМ от плотности насаждения

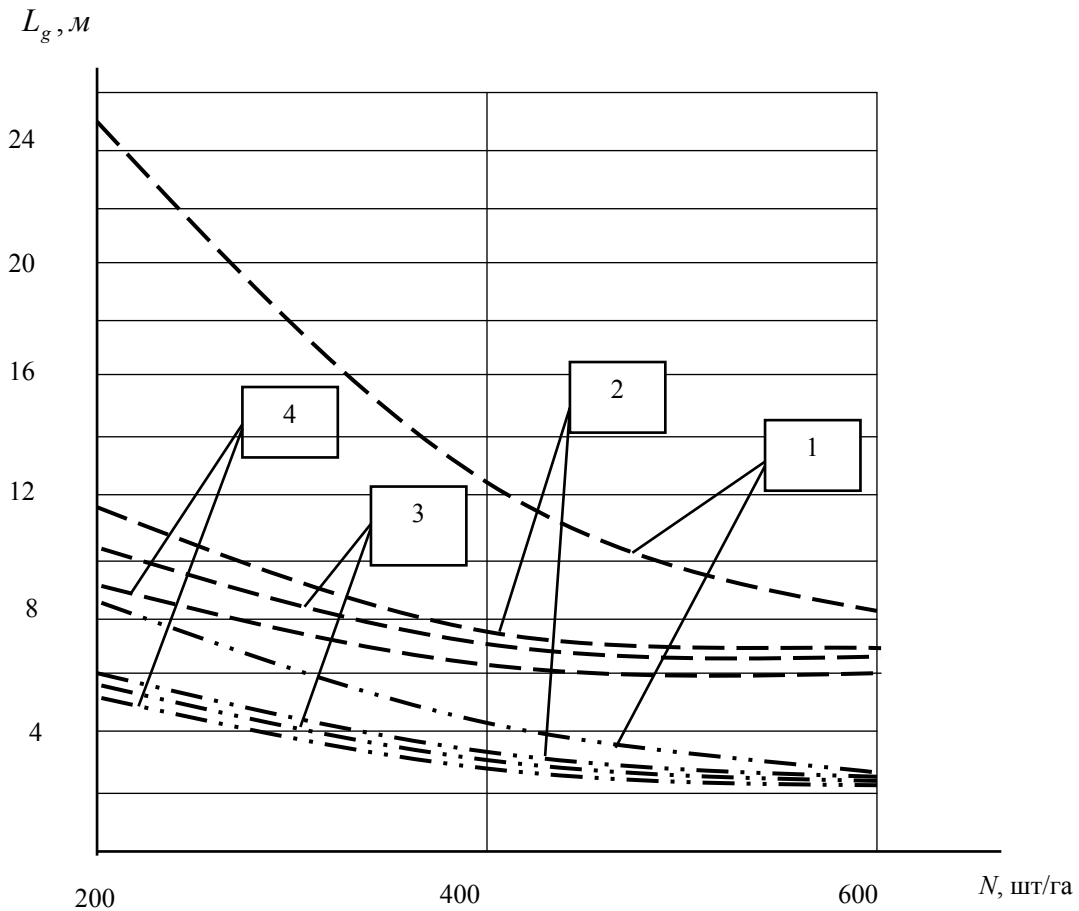


Рис. 2. Зависимость расстояния переезда, отнесенного к одному заготовленному дереву, от густоты насаждения при прямолинейном перемещении (1) и маневрировании с минимальным радиусом поворота 8 м (2); 6 м (3); и 4 м (4); — — — — для ЛЗМ с шириной рабочей зоны 2 м, — · · — — для ЛЗМ с шириной рабочей зоны 6 м

Из рис. 2 очевидно, что изменение крутизны маневрирования в анализируемом диапазоне густоты древостоев оказывает незначительное влияние на среднее расстояние переезда ЛЗМ на одно заготовленное дерево (0,9–2,3 и 0,1–0,7 метра для ЛЗМ с шириной рабочей зоны 2 и 6 метров соответственно, в зависимости от минимального радиуса поворота). Вместе с тем маневрирование позволяет уменьшить путь перемещения ЛЗМ, отнесенный к одному заготовленному дереву на 2,3 – 15,7 и 0,3– 3,0 метра для тех же условий в сравнении с прямолинейным перемещением. Это составляет для ЛЗМ с шириной рабочей зоны технологического оборудования 2 метра – 28–63 % и для ЛЗМ с

шириной рабочей зоны технологического оборудования 6 метров – 11–36 %.

Вывод

Таким образом, для фланговых ЛЗМ при сплошных рубках в насаждениях с густотой менее 600 дер/га может быть рекомендовано перемещение вдоль ленты с крутизной маневрирования в пределах возможностей базового шасси. Причем эффективность маневрирования убывает с увеличением ширины рабочей зоны технологического оборудования.

Список литературы

1. Виногоров Г.К. Лесосечные работы. –М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 272с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА МНОГОСЛОЙНОГО ХВОРОСТЯНОГО НАСТИЛА ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ВОЛОКА

Э.Ф. ГЕРЦ, *Уральский государственный лесотехнический университет*

Переход лесопользования на несплошные рубки не является абсолютным решением всех проблем, связанных с переходом на многоцелевое и непрерывное лесопользование. Изъятие части древесины для удовлетворения потребности в сырье должно исключать повреждение компонентов леса в процессе рубок. Одним из компонентов леса, подверженным наибольшему риску повреждения, является почвогрунт. Трелевка древесины тяжелыми тракторами приводит к уплотнению почвы и далее к образованию колеи, которая в свою очередь может служить причиной эрозии почвы. Заготовка древесины в Уральском регионе кроме того зачастую затруднена недостаточной несущей способностью грунта. Так по Свердловской области доля лесного фонда с устойчиво влажными и сырыми грунтами составляет 30 % и еще 39 % лесного фонда имеет периодически влажные грунты. Технологическим приемом, позволяющим осуществлять трелевку древесины в этих условиях без негативных экологических последствий, является формирование хворостяного настила, выполняющего функции дорожного полотна и перераспределяющего нагрузку от движителя трелевочной машины на грунт. Однако необходимые и достаточные прочностные характеристики хворостяного настила для условий различного сочетания несущей способности грунтов, типа движителя, величины и кратности действия нагрузки должны, во избежание разрушения волока и невозможности дальнейшей работы, определяться расчетом.

Условием работы хворостяного настила как гибкой пластины, передающей нагрузку во всех направлениях, является ориентация отдельных ее элементов. Таковой может быть укладка порубочных остатков чере-

дующимися продольными и поперечными слоями. При расчете предполагается, что слои уплотнены так, что обеспечивается их совместная работа. Тогда в пределах упругой деформации применима гипотеза плоских сечений. Поэтому закон распределения удлинений и укорочений по высоте пакета линейен.

Условием равновесия продольных и поперечных слоев пакета под действием нормальных напряжений и изгибающего момента является равенство суммы сжимающих и суммы растягивающих напряжений, а также равенство суммы моментов внутренних сил относительно нейтральной оси изгибающему моменту.

Задача определения деформаций пакета является главной при оценке его формоизменяемости. Определим прогиб пакета при условии защемления короткой стороны под действием распределенных изгибающих моментов на свободных сторонах по однородному дифференциальному уравнению:

$$\frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 f}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 f}{\partial y^4} = 0, \quad (1)$$

где f – прогиб пакета в вертикальной плоскости.

Распределение изгибающих моментов по краям $x = 0$, $x = a$ соответственно представим в виде тригонометрических рядов:

$$f_1(y) = \sum_{m=1}^{\infty} N_m \sin \frac{m\pi y}{b}, \quad (2)$$

$$f_2(y) = \sum_{m=1}^{\infty} M_m \sin \frac{m\pi y}{b}.$$

Граничные условия имеют следующий вид:

$$f = 0 \text{ при } x = 0, x = a, y = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = 0 \text{ при } y = 0; \quad (4)$$

$$-\frac{E \cdot h^3}{12(1 - \mu^2)} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f_1(y) \text{ при } x = 0; \quad (5)$$

$$-\frac{E \cdot h^3}{12(1-\mu^2)} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f_2(y) \text{ при } x = a; \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \mu \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) = 0 \text{ при } y = b; \quad (7)$$

$$\frac{\partial^3 f}{\partial y^3} + (2-\mu) \frac{\partial^3 f}{\partial x^2 \partial y} = 0 \text{ при } y = b; \quad (8)$$

где E – модуль упругости,
 μ – коэффициент Пуассона,
 h – толщина настила.

Решив уравнение (1), определим прогиб в следующем виде:

$$f = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (A_{mn} \cdot ch \frac{mn\pi y}{a} + B_{mn} \cdot sh \frac{mn\pi y}{a} + C_{mn} \frac{mn\pi y}{a} \cdot ch \frac{mn\pi y}{a} + D_{mn} \frac{mn\pi y}{a} \cdot ch \frac{mn\pi y}{a}) \times \\ \times \sin \frac{mn\pi y}{a} + \sum_{m=1}^{\infty} \left(E_m ch \frac{m\pi x}{b} + F_m sh \frac{m\pi x}{b} + G_m \frac{m\pi x}{b} sh \frac{m\pi x}{b} + H_m \frac{m\pi x}{b} ch \frac{m\pi x}{b} \right) \sin \frac{m\pi y}{b} \quad (9)$$

Решение (9) в виде бесконечных рядов, из которых первая сумма двойная, что является новым в теории элементов. Непосредственной подстановкой (9) в (1) можно убедиться, что решение (9) удовлетворяет основному дифференциальному уравнению.

Постоянные $A_{mn}, B_{mn}, \dots, H_m$ определим из граничных условий (3) – (8).

Условие (3) дает три уравнения:

$$E_m = 0, \quad A_{mn} = 0, \\ E_m \cdot ch \frac{m\pi a}{b} + F_m \cdot sh \frac{m\pi a}{b} + G_m \frac{m\pi a}{b} \cdot sh \frac{m\pi a}{b} + H_m \frac{m\pi a}{b} \cdot ch \frac{m\pi a}{b} = 0; \quad (10)$$

По условию (4) определим:

$$\frac{a}{b} \left(E_m \cdot ch \frac{m\pi x}{b} + F_m \cdot sh \frac{m\pi x}{b} + G_m \frac{m\pi x}{b} sh \frac{m\pi x}{b} + H_m \frac{m\pi x}{b} \cdot ch \frac{m\pi x}{b} \right) \\ + \sum_{n=1}^{\infty} n(B_{mn} + D_{mn}) \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} = 0. \quad (11)$$

Из условия (5) находим:

$$-\sum_{m=1}^{\infty} \frac{m^2 \pi^2}{b^2} \sin \frac{m\pi y}{b} (E_m + 2G_m) \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} = f_1(y) \\ \text{или, с учетом (2), получим окончательно} \\ -\frac{m^2 \pi^2}{b^2} \cdot \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} (E_m + 2G_m) = N_m. \quad (12)$$

Из условия (6) находим:

$$-\frac{m^2 \pi^2}{b} \cdot \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \left[E_m ch \frac{m\pi a}{b} + F_m sh \frac{m\pi a}{b} + G_m (2ch \frac{m\pi a}{b} + \frac{m\pi a}{b} sh \frac{m\pi a}{b}) \right. \\ \left. + H_m (2sh \frac{m\pi a}{b} + \frac{m\pi a}{b} ch \frac{m\pi a}{b}) \right] = M_m. \quad (13)$$

Из условия (7) имеем:

$$2C_{mn} ch \frac{mn\pi b}{a} + 2D_{mn} \cdot sh \frac{mn\pi b}{a} (1-\mu) (A_{mn} \cdot ch \frac{mn\pi b}{a} + B_{mn} \cdot sh \frac{mn\pi b}{a} + C_{mn} \frac{mn\pi b}{a} \times \\ \times sh \frac{mn\pi b}{a} + D_{mn} \frac{mn\pi b}{a} \cdot ch \frac{mn\pi b}{a}) = 0. \quad (14)$$

Для данной $\frac{b}{a} > 1$ при всех значениях $m=1, 2, 3 \dots$ и $n=1, 2, 3 \dots$, можно считать

$$ch \frac{mn\pi b}{a} = sh \frac{mn\pi b}{a}. \quad (15)$$

Преобразуем (14) с учетом (15) и получим

$$C_{mn} \left(2 + \frac{mn\pi b}{a} - \mu \frac{mn\pi b}{a} \right) + D_{mn} \left(2 + \frac{mn\pi b}{a} - \mu \frac{mn\pi b}{a} \right) + (1 - \mu)(A_{mn} + B_{mn}) = 0. \quad (16)$$

Из условия (8), учитывая (15), получим

$$\begin{aligned} & \frac{(-1)^m \cdot a^3}{b^3} \left[E_m ch \frac{m\pi x}{b} + F_m sh \frac{m\pi x}{b} + G_m \frac{m\pi x}{b} sh \frac{m\pi x}{b} + H_m \frac{m\pi x}{b} ch \frac{m\pi x}{b} \right. \\ & \left. + 2H_m sh \frac{m\pi x}{b} \cdot \frac{2-\mu}{1-\mu} + G_m ch \frac{m\pi x}{b} \cdot \frac{2-\mu}{1-\mu} \right. \\ & \left. - \sum_{n=1}^{\infty} n^3 sh \frac{mn\pi b}{a} \sin \frac{mn\pi x}{a} \left(A_{mn} + B_{mn} - C_{mn} \frac{1+\mu - \frac{mn\pi b}{a} + \mu \frac{mn\pi b}{a}}{1-\mu} - \right. \right. \\ & \left. \left. - D_{mn} \frac{1+\mu - \frac{mn\pi b}{a} + \mu \frac{mn\pi b}{a}}{1-\mu} \right) \right] = 0. \quad (17) \end{aligned}$$

Преобразуем условия (11) и (17), разложив гиперболические функции и их произведения на $\frac{m\pi x}{b}$ в ряды Фурье по синусам в интервале $0 \leq x \leq a$.

Для вычисления коэффициентов разложения в ряд Фурье вычислим следующие интегралы:

$$\int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{n \cdot b^2 a}{m\pi(a^2 + k^2 b^2)} \cdot (1 - e^{\frac{m\pi a}{b}} \cdot \cos mn\pi), \quad (18)$$

$$\int_0^a e^{-\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{nb^2 a}{m\pi(a^2 + n^2 b^2)} (1 - e^{-\frac{m\pi a}{b}} \cdot \cos mn\pi), \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & \int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{b}{m\pi} \int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} d(e^{\frac{m\pi x}{b}}) = \\ & = - \int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx - \frac{nb}{a} \int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \cos \frac{mn\pi x}{a} dx = \\ & = - \int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx - nbe^{\frac{m\pi a}{b}} \cdot \cos mn\pi + \frac{nb^2}{a} \int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \times \\ & \times \cos \frac{mn\pi x}{a} dx - \frac{n^2 b^2}{a^2} \int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx. \quad (20) \end{aligned}$$

Перенеся последний интеграл правой части в левую, получим

$$\int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{a^2}{a^2 + n^2 b^2} \left[\frac{nb}{a} \int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \cos \frac{mn\pi x}{a} dx - \int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx \right. \\ \left. - nbe^{\frac{m\pi a}{b}} \cos mn\pi \right]. \quad (21)$$

Первый интеграл правой части (20) равен

$$\int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \cos \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{b}{m\pi} e^{\frac{m\pi a}{b}} \cdot \cos mn\pi - \frac{b}{m\pi} + \frac{nb}{a} \int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx. \quad (22)$$

Подставив (22) в (20), найдем

$$\int_0^a \frac{m\pi x}{b} e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \left[\left(\frac{nb^2}{am\pi} - nb \right) \cdot e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \cos mn\pi - \frac{nb^2}{am\pi} \right. \\ \left. + \frac{n^2 b^2 - a^2}{a^2} \int_0^a e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx \right] \frac{a^2}{a^2 + n^2 b^2}. \quad (23)$$

Далее, имея в виду (18), получим окончательно

$$\int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot e^{\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{2a^3 b^2 n}{m\pi(a^2 + n^2 b^2)^2} \left[\frac{2ab - m\pi(n^2 b^2 + a^2)}{2ab} \cdot e^{\frac{m\pi a}{b}} \cdot \cos mn\pi - 1 \right]. \quad (24)$$

Рассуждая подобным образом, находим интеграл:

$$\int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot e^{-\frac{m\pi x}{b}} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{2a^3 b^2 n}{m\pi(a^2 + n^2 b^2)^2} \left[-\frac{2ab + m\pi(n^2 b^2 + a^2)}{2ab} \cdot e^{-\frac{m\pi a}{b}} \cdot \cos mn\pi + 1 \right]. \quad (25)$$

Для нашего случая ряд Фурье будет иметь вид:

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a}, \quad (26)$$

где $b_n = \frac{2}{a} \int_0^a f(x) \sin \frac{mn\pi x}{a} dx$.

Коэффициенты b_n для функций:

$$sh \frac{m\pi x}{b}, ch \frac{m\pi x}{b}, \frac{m\pi x}{b}, sh \frac{m\pi x}{b}, \frac{m\pi x}{b}, ch \frac{m\pi x}{b}$$

могут быть определены с помощью интегралов (18), (19), (24), (25) и, соответственно, будут равны:

$$b_n^I = \frac{2}{a} \int_0^a sh \frac{m\pi x}{b} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{1}{a} \int_0^a \left(e^{\frac{m\pi x}{b}} - e^{-\frac{m\pi x}{b}} \right) \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{2nb^2 \cdot sh \frac{m\pi a}{b}}{m\pi(a^2 + n^2 b^2)} \cdot \cos mn\pi,$$

$$b_n^{II} = \frac{2}{a} \int_0^a ch \frac{m\pi x}{b} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{1}{a} \int_0^a \left(e^{\frac{m\pi x}{b}} + e^{-\frac{m\pi x}{b}} \right) \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \\ = \frac{2nb^2}{m\pi(a^2 + n^2 b^2)} \cdot \left(1 - ch \frac{m\pi a}{b} \cos mn\pi \right),$$

$$b_n^{III} = \frac{2}{a} \int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot sh \frac{m\pi x}{b} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{1}{a} \int_0^a \frac{m\pi x}{b} \left(e^{\frac{m\pi x}{b}} - e^{-\frac{m\pi x}{b}} \right) \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \\ = \frac{4a^2 b^2 n}{m\pi(a^2 + n^2 b^2)^2} \cdot \left[ch \frac{m\pi a}{b} \cos mn\pi - \frac{m\pi(n^2 b^2 + a^2)}{2ab} \cdot sh \frac{m\pi a}{b} \cos mn\pi - 1 \right],$$

$$b_n^{IV} = \frac{2}{a} \int_0^a \frac{m\pi x}{b} \cdot ch \frac{m\pi x}{b} \cdot \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \frac{1}{a} \int_0^a \frac{m\pi x}{b} \left(e^{\frac{m\pi x}{b}} + e^{-\frac{m\pi x}{b}} \right) \sin \frac{mn\pi x}{a} dx = \\ = \frac{4a^2 b^2 n}{m\pi(a^2 + n^2 b^2)^2} \cdot \left[sh \frac{m\pi a}{b} - \frac{m\pi(n^2 b^2 + a^2)}{2ab} \cdot ch \frac{m\pi a}{b} \right] \cos mn\pi.$$

После подстановки коэффициентов в уравнение (26) и необходимых преобразований найдем общее решение задачи в общем виде:

$$\begin{aligned}
 f = & -\frac{2ab}{12(1-\mu^2)} \cdot \pi^3 \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{(2+\alpha_{mn}-\mu\alpha_{mn})(-1)^{m(n+1)}}{m^3 n^2 \left(1+\frac{n^2 b^2}{a^2}\right) \cdot sh\alpha_{mn}} \cdot \left[\frac{M_m + N_m (-1)^{mn+1}}{\left(1+\frac{n^2 b^2}{a^2}\right)(3+\mu)} + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{(2-\mu)[N_m ch\beta_m + N_m - M_m - N_m (-1)^{mn} \cdot ch\beta_m]}{(3+\mu)(1-\mu)} \right] \times \right. \\
 & \left. \times \left(sh \frac{mn\pi y}{a} - \frac{mn\pi y}{a} \cdot ch \frac{mn\pi y}{a} + \frac{1+\mu+\alpha_{mn}-\mu\alpha_{mn}}{2+\alpha_{mn}-\mu\alpha_{mn}} \cdot \frac{mn\pi y}{a} \cdot sh \frac{mn\pi y}{a} \right) - \right. \\
 & \left. - \frac{b^2(1)^{mn} \left[M_m + N_m (1)^{mn+1} + \frac{mn\pi y}{a} \left(ch \frac{mn\pi y}{a} - sh \frac{mn\pi y}{a} \right) \right]}{m^3 a^2 \left(1+\frac{n^2 b^2}{a^2}\right)^2} \right\} \\
 & \sin \frac{mn\pi y}{a} + \frac{b^2}{2Eh^3} \cdot \pi^2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \left[\frac{\beta_m (M_m \cdot ch\beta_m - N_m)}{sh^2 \beta_m} \times \right. \\
 & \left. \times sh \frac{m\pi x}{b} - N_m \frac{m\pi x}{b} \cdot sh \frac{m\pi x}{b} + \frac{N_m ch\beta_m - M_m}{sh\beta_m} \cdot \frac{m\pi x}{b} \cdot ch \frac{m\pi x}{b} \right] \cdot \sin \frac{m\pi y}{b} .
 \end{aligned} \tag{27}$$

После разложения в ряды Фурье и с учетом их быстрой сходимости можно ограничиться первыми членами разложения в ряд, в частности при $m=n=1$, получим:

$$\begin{aligned}
 f = & -\frac{2ab}{12(1-\mu^2)} \cdot \pi^3 \left\{ \frac{2+\alpha-\mu\alpha}{\left(1+\frac{b^2}{a^2}\right) sha} \left[\frac{M+N}{\left(1+\frac{b^2}{a^2}\right)(3+\mu)} + \frac{(2-\mu)[Nch\beta + N - M + Nch\beta]}{(3+\mu)(1-\mu)} \right] \times \right. \\
 & \left. \times \left(sh \frac{\pi y}{a} - \frac{\pi y}{a} ch \frac{\pi y}{a} + \frac{(1+\mu+\alpha-\mu\alpha)}{(2+\alpha-\mu\alpha)} \cdot \frac{\pi y}{a} \cdot sh \frac{\pi y}{a} \right) + \frac{b^2(M+N)}{a^2 \left(1+\frac{b^2}{a^2}\right)^2} \cdot \frac{\pi y}{a} \exp\left(-\frac{\pi y}{a}\right) \right\} \cdot \sin \frac{\pi x}{a} + \\
 & + \frac{b^2}{2Eh^3} \cdot \pi^2 \left[\frac{\beta(Mch - N)}{sh^2 \beta} \cdot sh \frac{\pi x}{b} - N \frac{\pi x}{b} \cdot sh \frac{\pi x}{b} + \frac{Nch\beta - M}{sh\beta} \cdot \frac{\pi x}{b} \cdot ch \frac{\pi x}{b} \right] \cdot \sin \frac{\pi y}{b} .
 \end{aligned} \tag{28}$$

Таким образом:

1. Необходимая и достаточная толщина хворостяного настила должна определяться расчетом с учетом действующей нагрузки (типа трелевочного трактора) и состояния почвогрунта.

2. Допустимая величина прогиба f хворостяной подушки под действием нагрузки M определяет процесс колееобразования в различных почвенно-грунтовых условиях и позволяет судить о достаточности укрепления волока порубочными остатками для вытрелевки заготовленной древесины.

РОЛЬ НОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА

С.М. ТАРАСОВ, *асп. каф. хим. технологии древесины и полимеров МГУЛа*,
В.И. АЗАРОВ, *проф. каф. хим. технологии древесины и полимеров МГУЛа*,
И.Н. КОВЕРНИНСКИЙ, *проф. каф. хим. технологии древесины и полимеров МГУЛа*

Современные требования к качеству бумажно-картонной продукции предполагают комплексное совершенствование технологии ее производства. В настоящее время в мировой бумажной промышленности наблюдается стойкая тенденция к оптимизации производственного процесса на всех его стадиях, начиная с массоподготовки и кончая подачей готовой продукции на склад перед отправкой ее потребителю.

Для производства бумаги и картона в настоящее время используется широкий ряд химических вспомогательных средств (ХВС) разного назначения:

- *гидрофобизирующие* – материалы на основе канифоли, парафина, нефтепродуктов; синтетические материалы – димеры алкилкетенов (ДАК), алкенил сукциновые ангидриды (АСА) и др.;

- *коагулянты* – соединения алюминия и трехвалентного железа;

- *флокулянты* – полимеры, например полиакриламиды;

- *упрочняющие* – крахмалы, карбоксиметилцеллюлоза, синтетические смолы и др.;

- *удерживающие* – полимерные вещества, как правило, с ярко выраженным положительным зарядом макромолекул;

- *фиксирующие*, например, модифицированные полиэтиленимины;

- *деаэраторы*, например, сложные эфиры жирных кислот и др.

За последние годы в России был достигнут значительный успех в области разработки и применения ХВС для бумажной промышленности. Некоторые разработки в этой области были выполнены с участием авторов статьи [1–12]. Были разработаны

эффективные ХВС для придания бумаге и картону ряда важных потребительских свойств.

В современной технологии бумаги и картона при использовании ХВС одним из самых важных моментов является их *сочетаемость*. При подаче в бумажную массу разных видов ХВС может наблюдаться их синергизм – взаимное усиление действия, антагонизм – взаимное ослабление действия – и нейтральность в действии.

На этом принципе основано использование *систем подачи ХВС*, в которых действие каждого отдельного вида ХВС усиливается действием других их видов.

Такие системы разработаны и используются ведущими зарубежными фирмами в целях комплексного решения проблем повышения качества готовой продукции и технологичности производственного процесса.

Начинают они разрабатываться и в России. В частности, авторами статьи разработана *система упрочнения-удержания*, которая может эффективно использоваться для производства различных видов бумажно-картонной продукции [4, 9, 11].

В настоящее время большая часть всей бумажно-картонной продукции в мире вырабатывается путем формования бумажного полотна не в кислой, как раньше, а в нейтральной и слабощелочной средах, благодаря чему достигается ряд существенных преимуществ: более высокая прочность бумаги, ее повышенная долговечность, улучшенные оптические свойства и др., а также более высокая технологичность производственного процесса, заключающаяся в лучшей работе и меньшей коррозии оборудования,

снижении нагрузки на очистные сооружения и др. [13].

Осуществить «нейтральное» производство бумаги можно лишь при использовании ХВС, обеспечивающих в этих условиях придание материалу необходимых потребительских свойств, в частности, необходимой степени гидрофобности.

Основным материалом для гидрофобизации бумаги и картона при их производстве в нейтральной и слабощелочной средах в настоящее время являются димеры алкилкетенов (ДАК) – димеризованные продукты на основе кетенов высших жирных кислот, впервые разработанные и внедренные в производство компанией HERCULES (США), и выпускаемые, кроме вышеуказанной компании, рядом ведущих зарубежных фирм: «BASF», «KEMIRA» и др.

В России промышленное производство ДАК в последние годы было освоено на ОАО «Химпром» (г. Волгоград). Выгодное отличие гидрофобизации с помощью ДАК от «классической» гидрофобизации канифольными материалами заключается в том, что, вступая в химическую реакцию с целлюлозой, ДАК обеспечивают требуемый уровень гидрофобности при значительно меньших расходах по сравнению с канифолью и не требуют применения коагулянтов [5].

Технология гидрофобизирующего состава на основе отечественных ДАК была разработана авторами статьи, причем его гидрофобизирующая эффективность не уступала импортным аналогам. Производство этого гидрофобизирующего состава не требует применения каких-либо дефицитных материалов и сложного оборудования, поэтому может быть легко реализовано в промышленных условиях.

Разработанный состав успешно прошел опытно-промышленные испытания на Полотняно-заводской бумажной фабрике (Калужская обл.), где в условиях производства была изготовлена его промышленная партия, использованная затем для гидрофобизации тарного картона, производимого на этом предприятии. Это послужило началом

создания отечественных гидрофобизирующих составов на основе ДАК и их промышленного освоения. В настоящее время разработки в этой области продолжаются [7, 12].

Несмотря на всю привлекательность использования для гидрофобизации бумаги и картона составов на основе ДАК, у этой технологии есть некоторые недостатки. В первую очередь это: высокая стоимость самих ДАК; после схода бумажно-картонного материала с наката бумагоделательной машины максимальный уровень его гидрофобности достигается не сразу, то есть гидрофобность нарастает постепенно, при этом максимальная ее величина достигается примерно после двухнедельного хранения материала.

Для сочетания преимуществ использования целлюлозореактивных гидрофобизирующих материалов в нейтральной среде с возможностью получения максимальной гидрофобности сразу после изготовления бумаги или картона эффективно использование алкенил ангидридов янтарных кислот (АСА). По сравнению с ДАК они имеют более низкую стоимость, но в то же время – более высокий расход для достижения необходимого уровня гидрофобности.

Главным недостатком использования АСА является невозможность получить на их основе гидрофобизирующие составы длительного хранения из-за чрезвычайно высокой склонности этих веществ к гидролизу. По этой причине АСА поставляются на бумажные предприятия в чистом виде, а гидрофобизирующая дисперсия из них готовится на предприятии непосредственно перед ее использованием.

Возможность использования АСА в технологии тарного картона из 100 % вторичного волокна исследовалась авторами статьи, и в этой области был получен ряд положительных результатов [8].

Чрезвычайно широкое использование гидрофобизации бумаги и картона целлюлозореактивными материалами в развитых странах Запада связано, кроме некоторых технологических преимуществ, еще и с дефицитом лесных ресурсов и, как следствие,

– канифольных материалов. Для России же с ее богатыми лесными ресурсами, то есть практически неограниченной сырьевой базой для производства дешевых гидрофобизирующих материалов на основе канифоли, отказ от канифольной гидрофобизации кажется противоестественным.

Авторами статьи установлено, что при правильно организованной технологии производства даже с применением канифольной гидрофобизации можно добиться высокого качества получаемой продукции путем выбора оптимальных условий производства и оптимального сочетания вводимых в бумажную массу ХВС. рН бумажной массы при использовании канифольной гидрофобизации в этом случае может быть повышено до 7,5, что соответствует рН при выработке бумажно-картонных материалов при гидрофобизации с помощью ДАК [3]. При этом вырабатываемый материал по своим качественным показателям не только не уступает, но по некоторым из них – даже превосходит материал, изготовленный с применением ДАК и других соответствующих ХВС.

Разработкой новых канифольных и композиционных гидрофобизирующих с последующим определением условий их осаждения и закрепления на целлюлозном волокне можно значительно повысить эффективность процесса гидрофобизации бумажно-картонных материалов.

Результатом этих разработок, выполненных авторами, стало создание нового композиционного гидрофобизирующего состава на основе продуктов переработки таллового масла, который успешно прошел лабораторные испытания и может найти промышленное применение. Особенности этого состава являются его невысокая стоимость, практически неограниченный срок хранения и устойчивость к атмосферным влияниям – высоким и низким температурам [2, 10]. В настоящее время продолжаются исследования по улучшению свойств существующих и созданию новых гидрофобизирующих составов на основе канифольных материалов.

Однако все вышеперечисленное не означает отказа от целлюлозореактивных гидрофобизирующих веществ, в том числе от ДАК, хотя бы по той причине, что для некоторых видов бумаги и картона, например, для упаковки жидких пищевых продуктов, невозможно добиться высокого качества без их использования, тем более что промышленное производство отечественных ДАК уже освоено.

В последние годы в России разрабатываются и находят промышленное применение ХВС для бумажной промышленности, не уступающие по своим характеристикам импортным аналогам. Например, полиоксихлорид алюминия отечественного производства (торговое название «Аква-Аурат»), разработанный и выпускаемый на ОАО «Аурат», г. Москва, является химической добавкой, способной комплексно решать многие задачи бумажно-картонного производства: повышение качества продукции; улучшение работы бумагоделательного оборудования; снижение загрязненности сточных вод и др.

«Аква-Аурат» был впервые внедрен в промышленное использование на ОАО «Караваново», Московская область, с участием авторов статьи, которыми были всесторонне исследованы технологические аспекты его использования и разработана технология его применения в бумажно-картонном производстве. Бумажно-картонные материалы, изготовленные с использованием «Аква-Аурата», обладают хорошими качественными показателями и практически не уступают по этим показателям импортным аналогам [2–4, 6, 9–11].

В связи с наблюдаемым в последнее время дефицитом свежих волокнистых полуфабрикатов, таких, как целлюлоза, полуцеллюлоза и древесная масса, их высокой стоимостью и экологическими проблемами, связанными с их производством, в мировой бумажной промышленности в последнее время наблюдается стойкая тенденция к увеличению использования для производства бумажно-картонной продукции вторичного волокнистого сырья – макулатуры.

Для бумажных предприятий, особенно малых, не имеющих собственного производства волокнистых полуфабрикатов, использование вторичного волокнистого сырья является экономически выгодным потому, что его стоимость обычно в несколько раз ниже, чем стоимость свежих волокнистых полуфабрикатов. Многие сорта бумаги и картона в настоящее время изготавливаются из 100 % макулатуры, а некоторые высококачественные виды писче-печатных бумаг, изготавливаемых в США, содержат в композиции более 50 % вторичного волокна.

Технология переработки макулатуры для максимального восстановления первоначальных бумагообразующих свойств вторичного волокна требует применения высокотехнологичного оборудования для подготовки бумажной массы. Современные конструкции этих аппаратов, таких, как гидро-разбиватели, сортировки, энтштипперы, турбосепараторы, работа которых в настоящее время полностью автоматизирована, позволяют придать вторичному волокну необходимые показатели для выпуска высококачественной продукции.

Однако для восстановления бумагообразующих свойств вторичных волокон только гидродинамической обработки в соответствующих аппаратах часто бывает недостаточно. Обусловлено это, очевидно, необратимостью процессов, происходящих на стадии сушки бумажного полотна, когда происходит «ороговение» гемицеллюлозной части волокон и часть функциональных групп, обеспечивающих межволоконное связеобразование, блокируется. Кроме того, теряется прочность самого волокна, оно становится более хрупким и ломким.

Поэтому, кроме гидродинамической обработки вторичного волокна, при изготовлении из него бумажно-картонных материалов необходимо использование ХВС для комплексного улучшения качества конечной продукции. В первую очередь это связующие, обеспечивающие лучшее межволоконное связеобразование и, следовательно, прочность изготавливаемого материала. Также желателен применение веществ,

снижающих пористость и пылимость материала.

Наиболее эффективно это достигается поверхностной обработкой полотна в клеильном прессе растворами адгезивов, что, кроме того, приводит к значительному повышению общих качественных показателей готовой продукции. Если нет возможности использовать клеильный пресс, то ХВС вводятся в бумажную массу, но их комплекс в этом случае является более сложным: это связующие, деаэраторы для вытеснения воздуха с поверхности волокна, флокулянты для лучшего распределения волокон в толще бумажного полотна, удерживающие добавки и др. [14].

Помимо относительно низких бумагообразующих свойств вторичных волокон особенностью макулатурной массы является повышенное содержание в ней примесей самого различного характера. Кроме механических примесей, таких, как песок, стекло, металлические включения и другие инородные тела, макулатурная масса содержит ряд примесей, которые практически невозможно удалить обычной механической обработкой. Например, примеси биологического характера – микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности – представляют собой существенную трудность при переработке вторичного волокна, особенно при использовании нейтральной среды формования и замкнутого цикла водооборота бумажной фабрики. Биологическую активность в технологическом потоке предприятия обычно подавляют биоцидами.

Многие продукты жизнедеятельности микроорганизмов представляют собой вещества анионного характера и способны значительно ухудшать технологический процесс производства бумажно-картонной продукции; например, снижать эффективность действия некоторых ХВС, нарушать процесс межволоконного связеобразования в бумажном листе и таким образом оказывать отрицательное влияние на качество конечной продукции. Для эффективного удаления анионных загрязнений из технологического потока предприятия применя-

ются специально разработанные для этого системы ХВС.

Наиболее эффективны для этого так называемые вещества-фиксаторы, образующие с молекулами анионных загрязнений соединения, способные эффективно осаждаться на целлюлозном волокне при формовании бумажно-картонного материала и таким образом выводиться из технологического потока. В качестве веществ-фиксаторов наибольшее распространение в настоящее время получили модифицированные полиэтиленимины. Установлено, что свойствами фиксатора обладает также полиоксихлорид алюминия [9, 11].

Вопрос улучшения качества бумажно-картонных материалов с помощью ХВС в настоящее время является очень актуальным. В этом направлении ведутся активные исследования, в том числе с участием авторов статьи. Существующие уже в настоящее время разработки в этой области позволяют выпускать широкий ассортимент массовых видов бумажно-картонной продукции из вторичного волокна, отвечающей всем предъявляемым к ней требованиям качества.

Список литературы

1. Тарасов С.М., Ковернинский И.Н. Роль новых гидрофобизирующих материалов в производстве бумаги и картона // Науч. тр. / Моск. гос. ун-т. леса. – Вып. 319. – М.: МГУЛ, 2002. – С. 83 – 88.
2. Тарасов С.М., Ковернинский И.Н., Азаров В.И. Новый высокосмоляной клей на основе продуктов переработки таллового масла // Науч. тр. / 3-й Междунар. науч.-техн. конф. «Создание конкурентоспособного оборудования и технологий для изготовления бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья», 15–17 мая 2002. – Караваево – Правдинский, 2002. – С. 24 – 27.
3. Тарасов С.М., Ковернинский И.Н. Использование добавки «Аква-Аурат» при проклейке целлюлозных материалов канифольными клеями // Науч. тр. / Моск. гос. ун-т. леса. – Вып. 315(3). – М.: МГУЛ, 2002. – С. 49 – 54.
4. Тарасов С.М., Ковернинский И.Н. Влияние добавки «Аква-Аурат» на прочностные свойства картона из макулатуры: Материалы Междунар. конф. «Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения». – Архангельск, 2000.
5. Ковернинский И.Н., Азаров В.И. Производство бумаги в щелочной среде // Науч. тр. / Моск. гос. ун-т. леса. – Вып. 277. – М.: МГУЛ, 1995.
6. Тарасов С.М. и др. Влияние «Аква-Аурата» на проклейку картона димерами алкилкетенов // Науч. тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф. «Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья», 21–23 мая 2003. – Караваево, 2003. – С. 43 – 46.
7. Тарасов С.М. и др. Опытные-промышленные испытания клея на основе отечественных димеров алкилкетенов // Науч. тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф. «Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья», 21–23 мая 2003. – Караваево, 2003. – С. 46 – 48.
8. Тарасов С.М., Ковернинский И.Н., Лукоянова М.А. Исследование гидрофобизирующих свойств алкенил ангидридов янтарных кислот при производстве картона из 100 % вторичного волокна // Науч. тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф. «Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья», 21–23 мая 2003. – Караваево, 2003. – С. 96 – 99.
9. Тарасов С.М. Производство бумаги и картона с использованием «Аква-Аурата» // Науч. тр. / Моск. гос. ун-т. леса. – Вып. 322(4). – М.: МГУЛ, 2003. – С. 60 – 65.
10. Тарасов С.М., Ковернинский И.Н., Азаров В.И. Технологические аспекты получения и использования нового высокосмоляного клея на основе продуктов переработки таллового масла // Науч. тр. / Моск. гос. ун-т. леса. – Вып. 322(4). – М.: МГУЛ, 2002. – С. 65 – 70.
11. Тарасов С.М., Ковернинский И.Н., Азаров В.И. Производство бумаги и картона с использованием «Аква-Аурата» // Целлюлоза, бумага, картон. – 2003. – № 5/6. – С. 24 – 26.
12. Ковернинский И.Н., Яблочкин Н.И., Тарасов С.М. На основе отечественных димеров алкилкетенов // Целлюлоза, бумага, картон. – 2003. – № 3/4. – С. 26 – 27.
13. Нейтральное производство бумаги. Материалы фирмы HERCULES (США) / Пер. с англ. – М.: МГУЛ, 2000.
14. Papermaking Science and Technology. Book 7: Recycled Fiber and Deinking. – TAPPI Press, 1998.

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА С МИНЕРАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

В.И. ЗАПРУДНОВ, *проф. каф. промышленного, гражданского строительства и безопасности жизнедеятельности МГУЛа, канд. техн. наук*

Наиболее используемый в строительстве теплоизоляционный древесно-цементный материал – фибролит, арболит – представляет собой трехкомпонентный композит, состоящий из цементного камня, древесного заполнителя и пор – пустых или заполненных жидкостью.

Если в цемент ввести минеральный наполнитель с другими свойствами, например золу, то такой композит следует рассматривать как четырехкомпонентный материал. В связи с этим возникает вопрос о расчете механических свойств древесно-цементных материалов с минеральными добавками, а также о механизме изменения свойств такого материала. Для расчета эффективных механических свойств необходимо решить задачу о деформированном состоянии всех компонентов с учетом их взаимодействия при воздействии однородной статической сжимающей или сдвигающей нагрузки.

Рассмотрим макрообъем или представительный объем четырехкомпонентного древесно-цементного материала, т. е. такой объем, размеры которого существенно превосходят размеры частиц органического заполнителя пор, минерального вяжущего, наполнителя и расстояний между ними (рис.). Каждый компонент древесно-цементного композита имеет определенные модули упругости, которые в общем случае характеризуются тензором модулей упругости λ_{ijmn} ($i, j, m, n = 1, 2, 3, 4$) имеющем четвертый ранг [1].

Если считать компоненты изотропными, то свойства каждого компонента характеризуются двумя постоянными Ламе λ, μ или постоянными K и μ , где K – модуль объемного сжатия; μ – модуль сдвига, причем $K = \lambda + 2/3\mu$.

Для случая изотропных компонентов тензор модулей упругости имеет вид

$$\lambda_{ijmn} = \lambda \delta_{ij} \delta_{mn} + \mu (\delta_{im} \delta_{jn} + \delta_{in} \delta_{jm}), \quad (i, j, m, n = 1, 2, 3), \quad (1)$$

где δ_{ij} – символ Кронекера, имеющий значение $\delta_{ij} = 1$ при $i = j$ и $\delta_{ij} = 0$ при $i \neq j$.

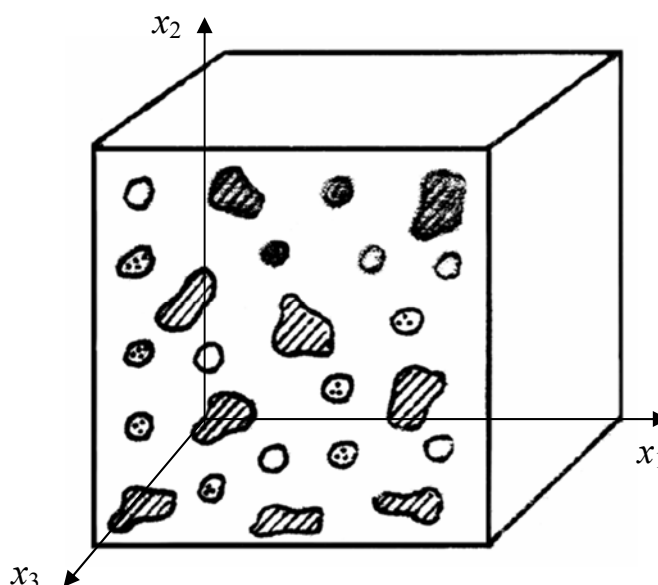


Рис. Схема механической модели структуры древесно-цементного материала с минеральным наполнителем

Тензор модулей упругости (1) можно представить также в виде матрицы

$$\begin{pmatrix} \lambda+2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda+2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda+2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Древесно-цементный материал со случайно расположенными частицами компонентов можно рассматривать как материал, упругие характеристики которого λ, μ яв-

ляются случайными функциями координат пространства x_1, x_2, x_3 , или, сокращенно, x_i ($i = 1, 2, 3$).

Если на макрообъем древесно-цементного материала действуют нагрузки, то в каждой точке возникают напряжения, характеризуемые тензором σ_{ij} , деформации, характеризуемые тензором ε_{ij} и перемещения, характеризуемые вектором u_i . Их можно записать в виде матриц

$$\tilde{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{vmatrix};$$

$$\tilde{\varepsilon} = \begin{vmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{vmatrix}; \quad \vec{u} = \|u_1, u_2, u_3\|, \quad (3)$$

при этом имеет место симметрия

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ji}; \quad \varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}. \quad (4)$$

Компоненты тензора напряжений удовлетворяют уравнениям равновесия при отсутствии массовых сил $\rho \vec{F} = 0$

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{13}}{\partial x_3} = 0;$$

$$\frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial x_3} = 0;$$

$$\frac{\partial \sigma_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial x_3} = 0, \quad (5)$$

которые можно записать сокращенно в тензорном виде

$$\sigma_{ij,j} = 0, \quad (i, j = 1, 2, 3). \quad (6)$$

Тензор деформаций ε_{ij} определяется через вектор перемещений u_i дифференциальными соотношениями Коши

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1}; \quad \varepsilon_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial x_2}; \quad \varepsilon_{33} = \frac{\partial u_3}{\partial x_3};$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right); \quad \varepsilon_{13} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \right); \quad (7)$$

$$\varepsilon_{23} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \right),$$

которые в сокращенном виде можно представить так

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}), \quad (i, j = 1, 2, 3). \quad (8)$$

Тензоры напряжений σ_{ij} и деформаций ε_{ij} связаны между собой соотношениями

упругости или законом Гука, который для изотропного материала имеет такой вид

$$\sigma_{11} = \lambda(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}) + 2\mu\varepsilon_{11}; \quad \sigma_{12} = 2\mu\varepsilon_{12};$$

$$\sigma_{22} = \lambda(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}) + 2\mu\varepsilon_{22}; \quad \sigma_{13} = 2\mu\varepsilon_{13}; \quad (9)$$

$$\sigma_{33} = \lambda(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}) + 2\mu\varepsilon_{33}; \quad \sigma_{12} = 2\mu\varepsilon_{23}.$$

Сокращенно соотношения (9) можно представить в виде

$$\sigma_{ij} = \lambda\varepsilon_{rr}\delta_{ij} + 2\mu\varepsilon_{ij} \quad (i, j, r = 1, 2, 3), \quad (10)$$

или

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijmn}\varepsilon_{mn} \quad (i, j, m, n = 1, 2, 3), \quad (11)$$

где тензор λ_{ijmn} определяется формулой (1).

Так как древесно-цементный материал представляет собой стохастически неоднородную упругую среду, т. е. модули упругости являются случайными функциями координат, то возникающие в ней напряжения σ_{ij} , деформации ε_{ij} и перемещения u_i также будут случайными функциями координат пространства. Зависимости между средними по макрообъему напряжениями $\langle \sigma_{ij} \rangle$ и деформациями $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$ для макроизотропного материала имеют вид

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \lambda^* \langle \varepsilon_{rr} \rangle \delta_{ij} + 2\mu^* \langle \varepsilon_{ij} \rangle \quad (i, j = 1, 2, 3), \quad (12)$$

где λ^* , μ^* – эффективные упругие постоянные Ламе.

Средние по макрообъему напряжения и деформации определяются формулами

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{\Delta V} \int_{\Delta V} \sigma_{ij} dv; \quad \langle \varepsilon_{ij} \rangle = \frac{1}{\Delta V} \int_{\Delta V} \varepsilon_{ij} dv. \quad (13)$$

Для определения эффективных упругих постоянных λ^* , μ^* необходимо найти распределение напряжений и деформаций в макрообъеме при заданных макродеформациях, затем провести осреднение по макрообъему согласно формулам (12), (13). Эта задача весьма трудоемкая, ее можно упростить, воспользовавшись свойством эргодичности случайных функций λ_{ijmn} , λ_{ijmn} , σ_{ij} , ε_{ij} . Согласно свойству эргодичности средние по объему (области определения) случайных функций равны их математическим ожиданиям в любой точке, т. е. статистическим средним, определяемым формулами

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \int \sigma_{ij} f(\sigma_{ij}) d\sigma_{ij}; \quad \langle \varepsilon_{ij} \rangle = \int \varepsilon_{ij} f(\varepsilon_{ij}) d\varepsilon_{ij}. \quad (14)$$

Здесь $f(\sigma_{ij}), f(\varepsilon_{ij})$ – плотности распределения вероятностей случайных функций $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}$ взятых в некоторой точке.

Как следует из теории случайных функций [2], для того чтобы напряжения σ_{ij} и деформации ε_{ij} удовлетворяли свойству эргодичности, они должны быть статистически однородны, т. е. плотности их распределения $f(\sigma_{ij}), f(\varepsilon_{ij})$ не должны зависеть от координат и размеры неоднородностей – включений и расстояний между ними – должны быть пренебрежимо малы по сравнению с размерами макрообъема. Эти условия для древесно-цементных композитных материалов выполняются.

Проведем статистическое осреднение соотношений (11) для древесно-цементного материала с неорганическими добавками, т. е. для четырехкомпонентного композита

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \sum_{k=1}^4 c_k \lambda_{ijmn}^k \langle \varepsilon_{mn}^r \rangle, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\lambda \theta + 2\mu \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\mu \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\mu \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \right) \right] &= 0; \\ \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\mu \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\lambda \theta + 2\mu \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\mu \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \right) \right] &= 0; \\ \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\mu \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\mu \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda \theta + 2\mu \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) &= 0; \\ \theta &= \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3}. \end{aligned} \quad (17)$$

Особенностью уравнений (17) является их статистическая нелинейность, так как они содержат произведения случайных функций $\lambda_{ijmn}, \lambda_{ijmn}(x_k)$ и $u_{m,n}(x_k)$, т. е. представляют собой дифференциальные уравнения, коэффициенты которых являются случайными функциями координат. Этот класс дифференциальных уравнений не имеет замкнутых решений, т.е. представляемых точно некоторыми аналитическими выражениями. Обычно они приводятся к некоторой взаимосвязанной бесконечной системе уравнений относительно моментных функций, т. е. математических ожиданий от различных произведений случайных функций.

где $\tilde{n}_k = \frac{\Delta v_k}{\Delta v}$ – относительное объемное содержание k -компонента в макрообъеме композита;

λ_{ijmn}^k – тензор модулей упругости k -компонента;

$\langle \varepsilon_{mn}^k \rangle$ – средний тензор деформаций по k -компоненту.

Из соотношений (12), (15) следует, что для нахождения эффективных модулей упругости необходимо определить средние по компонентам деформации как функции макродеформации $\langle \varepsilon_{mn} \rangle$, т. е. средней деформации по всему макрообъему. Для решения этой задачи рассмотрим систему уравнений (6), (8), (11). Подставляя уравнение (11) в (6), а (8) в (11), получим дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях

$$(\lambda_{ijmn} u_{m,n})_{,j} = 0 \quad (i, j, m, n = 1, 2, 3). \quad (16)$$

В развернутом виде с учетом условия (1) уравнения (16) представляют собой следующую систему

Рассмотрим один из наиболее эффективных методов решения уравнений (17), называемый методом условных моментов. Уравнения (17) относятся к области, занимаемой макрообъемом композита. Так как размеры макрообъема значительно больше размеров включений, то область макрообъема можно считать бесконечной. Считаем, что макрообъем находится в условиях однородных макродеформаций $\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \text{const}$, это значит, что на бесконечно удаленной границе области заданы перемещения

$$u_i|_{\Delta S} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j. \quad (18)$$

Представим перемещения внутри области в виде

$$u_i = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j + u_i^0, \quad (19)$$

где u_i^0 – флуктуации перемещений.

Подставляя (19) в (16), получим

$$\lambda_{ijmn}^c u_{m,nj}^0 + (\lambda_{ijmn}^c \varepsilon_{mn})_{,j} = 0; \quad \lambda_{ijmn}^c = \lambda_{ijmn} - \lambda_{ijmn}^c. \quad (20)$$

Здесь λ_{ijmn}^c – тензор тела сравнения, имеющий независимые от координат компоненты. При этом флуктуации перемещений u_i^0 удовлетворяют граничному условию

$$u_i^0 \Big|_{\Delta S} = 0. \quad (21)$$

Рассмотрим тензорную функцию Грина $G_{mp}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})$ удовлетворяющую дифференциальному уравнению

$$\lambda_{ijmn}^c G_{mp,in}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) + \delta(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \delta_{ip} = 0, \quad (22)$$

где $\delta(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})$ – дельта функция Дирака, определяемая соотношениями

$$\delta(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ \infty & i = j \end{cases} \quad (23)$$

$$\int_{\Delta v} \delta(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) dv^{(1)} = 1.$$

Тогда, пользуясь формулой Грина

$$\int_{\Delta v} (\lambda_{ijmn}^c u_{m,nj}^0 G_{ip} - \lambda_{ijmn}^c G_{ip,nj} u_{mj}^0) dv = \int_{\Delta S} (\lambda_{ijmn}^c u_{m,n}^0 G_{ip} n_j - \lambda_{ijmn}^c G_{ip,n} u_m^0 n_j) ds \quad (24)$$

из выражений (18) и (22) получим

$$u_i^{0(1)} = \int_{\Delta v^{(2)}} G_{ip}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \cdot (\lambda_{pqrs}^{(2)} \varepsilon_{rs}^{(2)})_{,q} dv^{(2)}. \quad (25)$$

Здесь верхний индекс в круглых скобках означает точку пространства, а n_j – направляющие косинусы нормали.

Подставляя уравнение (25) в (8), приходим к интегральному уравнению относительно деформаций

$$\varepsilon_{ij}^{(1)} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \lambda_{pqmn}^{(2)} \varepsilon_{mn}^{(2)}, \quad (26)$$

где действие интегрального оператора определяется формулой

$$K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} = \int_{\Delta v^{(2)}} \frac{1}{2} [G_{ip,iq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) + G_{jp,iq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})] \times \varphi^{(2)} dv^2 + \int_{\Delta v^{(2)}} \frac{1}{2} [G_{ip,j}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) + G_{jp,i}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})] n_q^{(2)} \varphi^{(2)} ds^2. \quad (27)$$

Осредним уравнение (26) по условной плотности $f(\varepsilon_{ij}^{(1)}, \varepsilon_{mn}^{(2)}, \lambda_{ijmn}^{(1)})$ (плотность распределения деформаций в точках $x_i^{(1)}, x_i^{(2)}$ при условии, что точка $x_i^{(1)}$ находится в v -компоненте). Тогда, пренебрегая флуктуациями деформаций в пределах компонента, получим алгебраическую систему уравнений относительно средних по компонентам деформаций

$$\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + \sum_{k=1}^4 K_{ijpq}^{vk} \lambda_{pqmn}^k \langle \varepsilon_{mn}^k \rangle, \quad (v=1, 2, 3, 4). \quad (28)$$

Здесь матрица K_{ijpq}^{vk} определяется интегралом

$$K_{ijpq}^{vk} = K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) p_{vk}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}), \quad (29)$$

где $p_{vk}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})$ – вероятность нахождения точки $x_i^{(2)}$ в k -компоненте при условии, что точка $x_i^{(1)}$ находится в v -компоненте.

Вероятность p_{vk} удовлетворяет очевидным свойствам

$$p_{vk}(0) = \delta_{vk}; \quad p_{vk}(\infty) = c_k. \quad (30)$$

Так как расположение включений и пор в древесно-цементном материале во всех направлениях идентично, т. е. материал является статистически изотропным, то вероятность $p_{vk}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})$ зависит только от расстояния между точками $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$ (от направления радиуса-вектора, соединяющего эти точки, не зависит).

Тензор изотропного тела сравнения λ_{ijmn}^c имеет вид

$$\lambda_{ijmn}^c = \lambda_c \delta_{ij} \delta_{mn} + \mu_c (\delta_{im} \delta_{jn} + \delta_{in} \delta_{jm}), \quad (31)$$

тогда решение уравнения (22) будет следующим

$$G_{ip}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) = \frac{1}{8\pi\mu_c(\lambda_c + 2\mu_c)} \left[(\lambda_c + 3\mu_c) \frac{\delta_{ip}}{r} + (\lambda_n + \mu_n) \frac{(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})(x_p^{(1)} - x_p^{(2)})}{r^3} \right]; \quad (32)$$

$$r^2 = (x_1^{(1)} - x_1^{(2)})^2 + (x_2^{(1)} - x_2^{(2)})^2 + (x_3^{(1)} - x_3^{(2)})^2.$$

Проводя интегрирование в уравнении (29), с учетом (27), (31), (32) получим

$$K_{ijpq}^v = \frac{\delta_{vk} - c_k}{30\mu_c(\lambda_c + 2\mu_c)} \times \times [2(\lambda_c + \mu_c)\delta_{ij}\delta_{pq} - (3\lambda_c + 8\mu_c)(\delta_{ip}\delta_{jq} + \delta_{iq}\delta_{jp})] \quad (33)$$

Тогда система алгебраических уравнений (28) примет вид

$$\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + L_{ijpq} \sum_{k=1}^4 (\delta_{vk} - c_k) \lambda_{pqmn}^k \langle \varepsilon_{mn}^k \rangle, \quad (34)$$

(v = 1, 2, 3, 4),

где

$$L_{ijpq} = \frac{1}{30\mu_c(\lambda_c + 2\mu_c)} \times \times [2(\lambda_c + \mu_c)\delta_{ij}\delta_{pq} - (3\lambda_c + 8\mu_c)(\delta_{ip}\delta_{jq} + \delta_{iq}\delta_{jp})] \quad (35)$$

Решение системы (34) в операторном виде будет следующим

$$\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle = (I_{ijpq} - L_{ijmn} \lambda_{mnpq}^v)^{-1} \times \times \left[\sum_{k=1}^4 c_k (I_{pqrs} - L_{pquv} \lambda_{uvrs}^k)^{-1} \right] \langle \varepsilon_{rs} \rangle, \quad (36)$$

где

$$I_{pqrs} = \frac{1}{2} (\delta_{pr}\delta_{qs} + \delta_{ps}\delta_{qr}). \quad (37)$$

Подставляя уравнение (36) в (15), найдем операторное выражение тензора эффективных модулей упругости

$$\lambda_{ijmn}^* = \sum_{k=1}^4 c_v \lambda_{ij\alpha\beta}^v (I_{\alpha\beta pq} - L_{\alpha\beta rs} \lambda_{rspq}^v)^{-1} \times \times \left[\sum_{k=1}^4 (I_{pqmn} - L_{pquv} \lambda_{uvmn}^k)^{-1} \right] \quad (38)$$

Отсюда находим выражения эффективных модулей объемного сжатия

$$K^* = \left(\sum_{v=1}^4 \frac{c_v}{K_v + \bar{K}} \right)^{-1} - \bar{K} \quad (39)$$

и сдвига

$$\mu^* = \left(\sum_{v=1}^4 \frac{c_v}{\mu_v + \bar{\mu}} \right)^{-1} - \bar{\mu}, \quad (40)$$

где обозначено

$$\bar{K} = \frac{4}{3} \mu_c; \quad \bar{\mu} = \frac{(9K_c + 8\mu_c)\mu_n}{6(K_c + 2\mu_c)}.$$

Формулы (39) – (40) имеют один и тот же вид для произвольного числа компонентов. Так, если композит состоит из двух компонентов, например, цементный камень и заполнитель, то будем иметь

$$K^* = \left(\sum_{v=1}^2 \frac{c_v}{K_v + \bar{K}} \right)^{-1} - \bar{K}; \quad (41)$$

$$\mu^* = \left(\sum_{v=1}^2 \frac{c_v}{\mu_v + \bar{\mu}} \right)^{-1} - \bar{\mu}.$$

Определив эффективные постоянные K^* , μ^* , можем вычислить модуль Юнга и коэффициент Пуассона по формулам

$$E^* = \frac{9K^*\mu^*}{3K^* + \mu^*}; \quad \nu^* = \frac{3K^* - 2\mu^*}{6K^* + 2\mu^*}. \quad (42)$$

Вследствие приближенности расчета эффективных характеристик по формулам (39) – (41) существенным вопросам являются выбор тела сравнения, т. е. упругих модулей тела сравнения $K_c = \lambda_c + \frac{2}{3}\mu_c$, μ_c , от выбора которых существенно зависят эффективные постоянные. Так, при $K_c = \mu_c = 0$ получим постоянные Рейсса [4], при $K_c = \mu_c = \infty$ – постоянные Фойхта [5]. Если $K_1 \geq K_2$, $\mu_1 \geq \mu_2$, то, полагая поочередно для двухкомпонентного композита равными $K_c = K_1$, $\mu_c = \mu_1$, и $K_c = K_2$; $\mu_c = \mu_2$, получим соответственно верхние и нижние границы Хашина – Штрикмана.

Однако естественный выбор K_c , μ_c определяется методами теории случайных функций, когда случайная функция представляется в виде суммы математического ожидания и флуктуации. В этом случае, исходя из уравнений равновесия, следует принять $K_c = \langle K \rangle$; $\mu_c = \langle \mu \rangle$.

Вычисление по формулам (39) – (41) менее громоздко, чем метод последовательного смешивания компонентов, однако здесь менее очевиден способ выбора постоянных тела сравнения K_c , μ_c .

Если древесно-цементный материал состоит из четырех компонентов с объемами

компонентов v_1, v_2, v_3, v_4 , причем цементный камень образует матрицу, а частицы органического заполнителя, золы и поры расположены в виде включений, то следует взять [3]

$$K_c = \sum_{v=1}^4 c_v K_v = c_1 K_1 + c_2 K_2 + c_3 K_3 + \tilde{n}_4 K_4; \quad (43)$$

$$\mu_c = \sum_{v=1}^4 c_v \mu_v = c_1 \mu_1 + c_2 \mu_2 + c_3 \mu_3 + c_4 K_4.$$

Здесь $c_1, K_1, \mu_1; c_2, K_2, \mu_2; c_3, K_3, \mu_3; c_4, K_4, \mu_4$ – соответственно объемное содержание, модули сжатия и модули сдвига частиц органического заполнителя, цементного камня, пор и золы.

Относительное объемное содержание компонентов или их концентрация определяется по формулам:

$$c_1 = \frac{v_1}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}; \quad c_2 = \frac{v_2}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}; \quad (44)$$

$$c_3 = \frac{v_3}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}; \quad c_4 = \frac{v_4}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}.$$

Если каркас образует зола, а цементный камень, частицы органического заполнителя и поры являются включениями, то следует взять следующие формулы:

$$K_c = \left(\sum_{v=1}^2 \frac{\tilde{n}_v}{K_v} \right)^{-1} = \left[\frac{c_4}{K_4} + \frac{(1-c_4)^2}{c_2 K_2 + c_1 K_1} \right]^{-1}; \quad (45)$$

$$\mu_c = \left(\sum_{v=1}^2 \frac{c_v}{\mu_v} \right)^{-1} = \left[\frac{c_4}{\mu_4} + \frac{(1-c_4)^2}{c_2 \mu_2 + c_1 \mu_1} \right]^{-1}.$$

Если древесно-цементный материал состоит из двух компонентов и оба компонента образуют каркас или если жесткость матрицы больше жесткости включений для матричной структуры, то принимают формулы

$$K_c = c_2 K_2 + c_4 K_4; \quad \mu_c = c_2 \mu_2 + c_4 \mu_4, \quad (46)$$

Если для матричной структуры жесткость матрицы меньше жесткости включений, то принимают

$$K_c = \left(\frac{c_2}{K_2} + \frac{c_4}{K_4} \right)^{-1}; \quad \mu_c = \left(\frac{c_2}{\mu_2} + \frac{c_4}{\mu_4} \right)^{-1}. \quad (47)$$

Формулы (46) имеют место в случае, если цементный камень образует матрицу, а поры, древесные частицы или частицы золы образуют включения. Если же зола образует матрицу, а цементный камень представляет собой включения в золе, то следует брать формулы (47).

Возможен еще такой вариант, когда часть золы \tilde{n}_4 образует каркас, а часть c_4'' образует включения в цементном камне, причем цементный камень не образует каркаса. Тогда постоянные K_c, μ_c следует взять в таком виде:

$$K_c = \left[\frac{c_4'}{K_4} + \frac{(1-c_4')^2}{c_2 K_2 + c_4'' K_4 + \tilde{n}_4 K_1} \right]^{-1}; \quad (48)$$

$$\mu_c = \left[\frac{c_4'}{\mu_4} + \frac{(1-c_4')^2}{c_2 \mu_2 + c_4'' \mu_4 + c_1 \mu_1} \right]^{-1}.$$

На основе формул (39) – (48) можно провести вычисления эффективных модулей древесно-цементного композита на основе цементного камня, минеральных добавок, частиц органического заполнителя пор. Для этого необходимо задать соответствующие упругие постоянные компонентов. Однако на практике не всегда известны свойства минеральных добавок, расположенных в древесно-цементном материале. Поэтому представляет интерес решение обратной задачи, т. е. определение свойств некоторого компонента на основе известных свойств других компонентов и эффективных свойств композита.

Список литературы

1. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. – 744 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
3. Гузь А.Н., Хорошун Л.П., Ванин Г.А. Механика материалов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 368 с.
4. Reuss A. Berechnung der Fließgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitätsbedingung für Einkristalle // Z. An angew. und Math. Mech. – 1929. – 9, № 1. – P. 49 – 58.
5. Voight W. Lehrbuch der Kristallphysik. – Berlin: Teubner, 1928. – p 962.

ОБРАЗОВАНИЕ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ КАК ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ СТАДИЯ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ВЕЩЕСТВ

Г.Н. ФЕДОТОВ, доц. каф. химии и биотехнологии лесного комплекса МГУЛа, канд. хим. наук

В коллоидной химии коллоидное состояние вещества рассматривается как всеобщее. Однако эта всеобщность часто понимается только с точки зрения его широкого распространения [1]. По нашему мнению, всеобщность коллоидного состояния заключается в том, что оно является обязательной промежуточной стадией практически при любых химических превращениях и фазовых переходах. Очень часто мы не в состоянии его обнаружить, так как процесс укрупнения коллоидных частиц идет с большей скоростью, чем их образование.

Процесс укрупнения коллоидных частиц может идти двумя путями. Во-первых, за счет растворения мелких частиц и увеличения размеров крупных частиц (закон Кельвина – Томпсона) [1].

Во-вторых, блочная кристаллизация при ориентации коллоидных частиц относительно достраиваемой кристаллической решетки. Наличие подобного механизма укрупнения кристаллитов следует из расположения дислокаций в крупных кристаллах и ряда их свойств, объясняемых с позиций «элементарной единицы кристалла» и «субкристалла» [2]. Для малорастворимых соединений, а также для систем, в которых растворение невозможно в силу отсутствия растворителя, механизм блочной кристаллизации, по-видимому, предпочтительнее. В работе [2] приведен пример достройки нанометровых частиц золота более мелкими частицами при 264 °С. Причем более крупные частицы перемещались к местам скопления мелких частиц целенаправленно, что свидетельствует о наличии дальнедействующего силового поля у субкристаллов.

Для доказательства концепции «коллоидной стадии как обязательной при фазовых превращениях» мы решили изучить из-

менения, происходящие с кристаллогидратами (КГ) при их обезвоживании.

Из литературы известно, что при термическом обезвоживании многих КГ происходит их плавление в собственной кристаллизационной воде, а из образующегося раствора уже просходит кристаллизация соединения с меньшим содержанием воды [3–6]. Если на поверхности разлагаемого КГ находятся следы КГ меньшей водности, процесс значительно ускоряется [7–9]. При проведении дегидратации в вакууме часто наблюдается образование рентгеноаморфной фазы, то есть фазы, содержащей частицы размером несколько нанометров (коллоидных частиц) [7–11]. Наблюдаются сложные изменения скорости дегидратации КГ от давления паров воды [9] – эффект Смита – Топли. Сначала при повышении давления паров скорость дегидратации замедляется, затем увеличивается, а потом снова падает.

Общепринята точка зрения, что процесс дегидратации состоит из нескольких стадий:

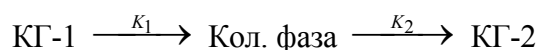
- удаления воды из КГ;
- появления зародышей новой фазы;
- роста зародышей новой фазы.

Однако, в общем случае, подобное описание процесса не может быть полным. При дегидратации КГ происходит искажение кристаллической решетки, существование частиц со структурой обезвоживаемого КГ становится энергетически не выгодным. Процесс может пойти по двум направлениям – снятие искажений решетки за счет образования коллоидных частиц либо преобразование «старой» искаженной решетки непосредственно в «новую». Возможность возникновения коллоидного, наноразмерного, состояния связана с тем, что энтропия в поверхностном слое повышена, а образование частиц коллоидных размеров переводит зна-

чительную часть объемной фазы в поверхностный слой, увеличивая тем самым подвижность ионов кристаллической решетки и возможность ее искажения [2].

Несмотря на результаты экспериментов, свидетельствующие о наличии аморфной фазы, вариант возникновения наносостояния во внимание не принимается, а значит, упускаются из рассмотрения две стадии процесса – переход искаженной структуры КГ в коллоидное состояние и образование из наночастиц КГ с меньшим содержанием воды.

Рассмотрение кинетики процесса образования КГ меньшей водности (КГ-2) при дегидратации КГ-1 с точки зрения теории последовательных реакций [12], принимая коллоидные частицы за промежуточный продукт, позволяет получить выражение, описывающие количество коллоидной фазы, и выяснить от каких параметров реакций это, количество зависит.



Примем $\alpha = k_2/k_1$, а Кол. фаза – Р

Тогда максимальное содержание коллоидной фазы будет определяться выражением

$$[P] = [КГ-1] (k_2/k_1) k_2 / (k_1 - k_2)$$

С ростом величины α от 0 до бесконечности доля коллоидной фазы будет изменяться от 1 до 0, то есть с ростом α ; с ростом скорости образования КГ-2 из коллоидной фазы уменьшается концентрация коллоидной фазы.

Таким образом, если замедлить тем или иным способом процесс рекристаллизации, то промежуточное коллоидное состояние должно легко обнаруживаться. Если предположить, что наличие свободной воды ускоряет процесс кристаллизации из коллоидного состояния, то, исключив возможность возникновения жидкой фазы, мы должны замедлить процесс образования КГ меньшей водности и увеличить количество вещества, находящегося в коллоидном состоянии.

Для экспериментального доказательства выдвигаемого положения в качестве объекта исследования мы взяли сульфат ни-

келя (рис.). Он образует четыре типа кристаллогидратов – семиводный, шестиводный, четырехводный и одноводный, что дает определенные преимущества при его изучении.

Раствор эвтектической концентрации замораживали, распыляя в жидкий азот. Из полученного криогранулята воду удаляли, используя сублимационную сушику, проводя процесс при различных температурах.

В процессе сублимационного обезвоживания определяли удельную поверхность криогранулята методом тепловой десорбции аргона. Для этого криогранулят помещали в U-образную трубку, в которой и осуществлялась сушка сублимацией. Периодически процесс прерывали, охлаждая U-образную трубку в гексане при температуре его плавления. При определении удельной поверхности через образец пропускали гелий-аргоновую смесь и охлаждали образец, помещая U-образную трубку в жидкий азот. Десорбция аргона происходила при перемещении образца обратно из жидкого азота в охлажденный гексан. Фиксировали количество адсорбированного аргона на хроматографе с катарометрическим детектором. После этого для продолжения обезвоживания U-образную трубку подсоединяли к сублиматору и помещали в термостатируемую емкость с водой. Ошибка при измерении удельной поверхности не превышала 10 %.

Для определения фазового состава кристаллогидратов в криогрануляте в зависимости от времени сублимационной сушики оставшуюся свободную (некристаллогидратную) воду удаляли либо высаливанием ацетоном при температуре его плавления, либо проводя сублимационную сушику при температуре 253 К. Рентгенофазовый анализ проводили по дифрактограммам, снятым на установке УРС-50 ИМ (отфильтрованное $K\alpha$ – излучение меди). Идентификацию проводили с использованием данных картотеки ASTM.

Сублимационную сушику криогранулята проводили при 273 и 293 К.

Полученные результаты по изменению удельной поверхности криогранулята в

процессе сублимации представлены на рисунке.

Можно предположить, что максимумы удельной поверхности криогранулята соответствуют коллоидному состоянию КГ сульфата никеля, а минимумы – наличию КГ соответствующей водности. Обращает на себя внимание тот факт, что количество максимумов удельной поверхности совпадает с количеством фазовых переходов из одного КГ в другой.

В точках 1, 2 и 3 определили фазовый состав КГ. По полученным данным в исходном криогрануляте присутствует только семиводный КГ сульфата никеля (точка 1). В точке 3, соответствующей первому минимуму на кривой изменения удельной поверхности, присутствует только шестиводный КГ, а в точке 2 – семиводный КГ, шестиводный КГ и аморфная фаза.

К сожалению, получить информацию по остальным минимумам и максимумам кривой изменения удельной поверхности не удалось, что, по-видимому, связано с высокой гигроскопичностью получаемого криогранулята, поглощением воды из воздуха и перекристаллизацией в наиболее устойчивый при комнатной температуре и относительной влажности воздуха 60–70 % шестиводный кристаллогидрат сульфата никеля.

Полученные результаты подтверждают, что при дегидратации КГ в качестве обязательной промежуточной стадии происходит образование коллоидных частиц, из которых кристаллизуется КГ меньшей водности. Подобный подход позволяет объяснить эффект Смита – Топли и ряд других не вполне понятных экспериментальных результатов по дегидратации кристаллогидратов.

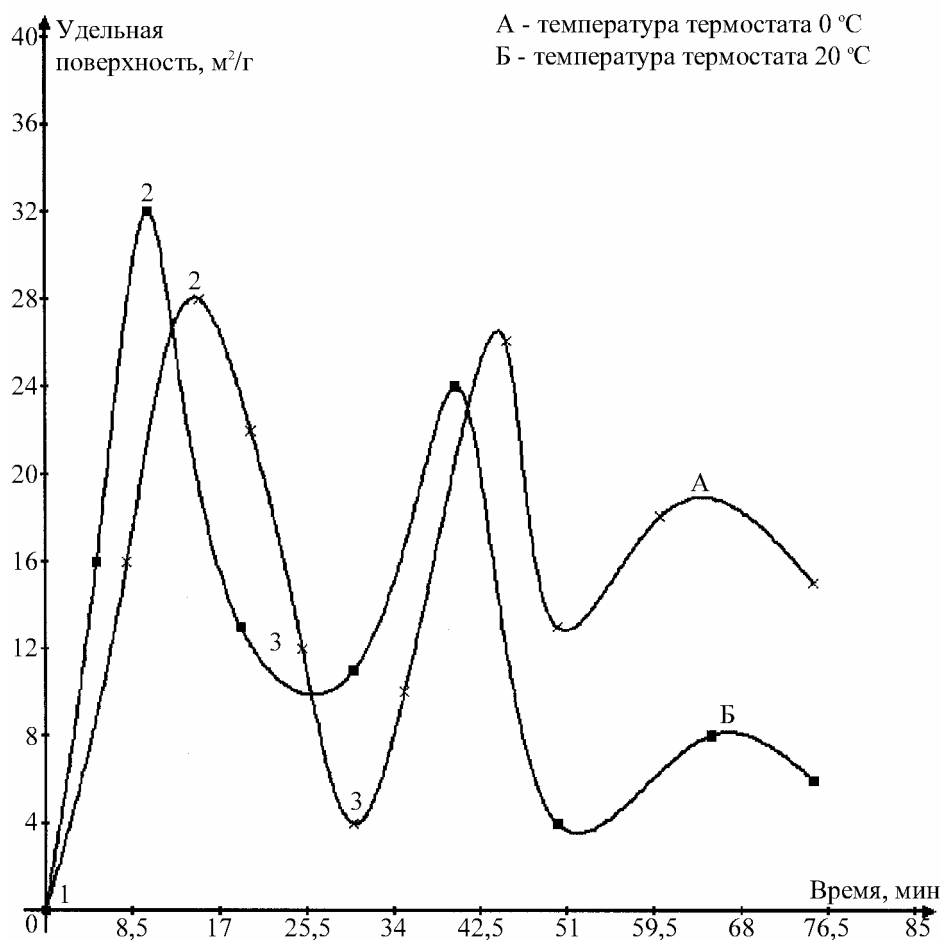


Рис. Изменение удельной поверхности криогранулята сульфата никеля, полученного из раствора эвтектической концентрации в процессе сублимационной сушки

Так, при повышении давления паров воды движущаяся сила процесса дегидратации уменьшается, понижается и скорость реакции. Однако при дальнейшем росте давления паров, по-видимому, начинается образование жидкой фазы между коллоидными частицами. Это приводит к ускорению перекристаллизации с образованием новой кристаллической, устойчивой фазы, а выделяющаяся при кристаллизации энергия ускоряет процесс дегидратации. Дальнейший рост давления паров воды снижает движущую силу процесса настолько, что выделение энергии при перекристаллизации уже не в состоянии это компенсировать.

Аналогично можно объяснить и влияние следов КГ меньшей водности на поверхности обезвоживаемого КГ на ускорение процесса дегидратации. По-видимому, происходит «блочная подстройка» коллоидных частиц к макрочастицам КГ меньшей водности. В этом случае уменьшается количество коллоидной фазы и увеличивается КПД энергоподвода.

Выводы

1. Процесс удаления воды из кристаллогидратов сульфата никеля проходит через стадию образования коллоидной фазы.

2. Предлагаемый механизм дегидратации кристаллогидратов позволяет объяснить ряд экспериментальных результатов, не нашедших до настоящего времени своего объяснения.

Список литературы

1. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368с.
2. Веснин Ю.И. Вторичная структура и свойства кристаллов. – Новосибирск: Институт неорганической химии СО РАН, 1997. – 102с.
3. Чурагулов Б.Р., Калашников Я.А. // Журнал физической химии. – 1969. – Т.43. – № 2. – С. 481–482.
4. Архипов С.М. // Журнал неорганической химии. – 1969. – Т.14. – № 11.
5. Берг Л.Г., Прибылов К.П. Известия высших учебных заведений СССР // Химия и химическая технология. – 1966. – Т.10. – № 1. – С. 6–8.
6. Болдырев В.В., Шмидт И.В. // Кинетика и катализ. – 1960. – Т.1. – № 4. – С. 537–538.
7. Макагун В.Н., Щилов Л.Н. // Успехи химии. – 1972. – Т.41. – № 11. – С. 1937–1959.
8. Ляхов Н.З., Болдырев В.В. // Успехи химии. – 1972. – Т.41. – № 11. – С. 1960–1977.
9. Ляхов Н.З. и др. // Кинетика и катализ. – 1974. – Т.15. – № 5. – С. 1224–1229.
10. Янг Д. Кинетика разложения твердых веществ. – М.: Мир, 1969.
11. Гарнер В. Химия твердого состояния. – М., 1961.
12. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. – М.: Высшая школа, 1969.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И РОЛЬ ЛАТЕКСНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССАХ ОТВЕРЖДЕНИЯ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

С.С. ГЛАЗКОВ, доц. каф. химии ВГЛТА, канд. техн. наук,

В.С. МУРЗИН, проф. ВГЛТА, канд. техн. наук,

Е.В. СНЫЧЕВА, асп. каф. химии ВГЛТА

Процесс взаимодействия связующего и древесины при изготовлении ДКМ является важным для обеспечения высоких физико-механических свойств, течение которого зависит от адгезионного взаимодействия клея с поверхностью древесины и когезии самого адгезива. Полярные полимеры – вещества с большой когезионной прочностью, – давая (теоретически) высокие величины адгезии,

могут проявлять малую адгезию [1]. Поэтому для улучшения клеящей способности карбамидоформальдегидных смол (КФС) была предпринята попытка ее модификации клеевыми латексными композициями (КЛК) на основе бутадиен-стирольных сополимеров, влияющими на когезию данной смолы и адгезию ее к древесине и в целом на сам процесс склеивания.

Значения физико-химических свойств КФС, модифицированных КЛК

| Содержание КЛК, % | Поверхностное натяжение на границе КФС – воздух, дин/см | Краевой угол смачивания на поверхности, град. | |
|-------------------|---|---|--------|
| | | сосны | березы |
| 0 | 68,83 | 78 | 68 |
| 0,1 | 56,48 | 75 | 67 |
| 0,2 | 53,32 | 71 | 66 |
| 0,5 | 47,47 | 68 | 65 |
| 1,0 | 42,75 | 65 | 64 |
| 2,0 | 40,95 | 62 | 63 |
| 5,0 | 36,90 | 59 | 62 |
| 10,0 | 38,48 | 57 | 60 |
| 15,0 | 38,25 | 54 | 57 |
| 25,0 | 39,15 | 51 | 54 |
| 50,0 | 38,25 | 40 | 43 |
| 100,0 | 46,58 | 66 | 66 |

При введении латексной композиции в исследуемый адгезив предполагалось улучшение смачиваемости древесины смолой – уменьшением поверхностного натяжения связующего и вследствие этого краевого угла смачивания.

Исходя из вышеизложенного, были измерены для образцов модифицированных связующих поверхностное натяжение (методом Дю Нуи) и краевой угол смачивания (методом жидкой капли). Результаты определения этих показателей приведены в табл. 1.

Установлены зависимости полученных параметров от состава связующего на основе КФ-Ж и клеевой латексной бутадиенстирольной композиции с использованием корреляционного и регрессионного анализов. Зависимость для работы смачивания, имеющая высокое значение коэффициента парной линейной корреляции, приведена на рис. 1.

Как следует из приведенных зависимостей (см. табл. 1, рис. 1), с ростом содержания КЛК в связующем наблюдается последовательное снижение величин поверхностного натяжения и краевого угла смачивания.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. При добавлении КЛК происходит, во-первых, сорбция макромолекул КФ-Ж на поверхности ла-

тексных частиц, что понижает когезию смолы и поверхностное натяжение, вследствие того, что адсорбция уменьшает межфазную границу макромолекул и поэтому поверхностную энергию, а также ослабляет связь между цепочками полимера. Во-вторых, эмульгатор, содержащийся в композиции, адсорбируясь, повышает смачивающую способность водно-дисперсионных клеев и уменьшает поверхностное натяжение, усиливая адгезию к данному твердому телу [2].

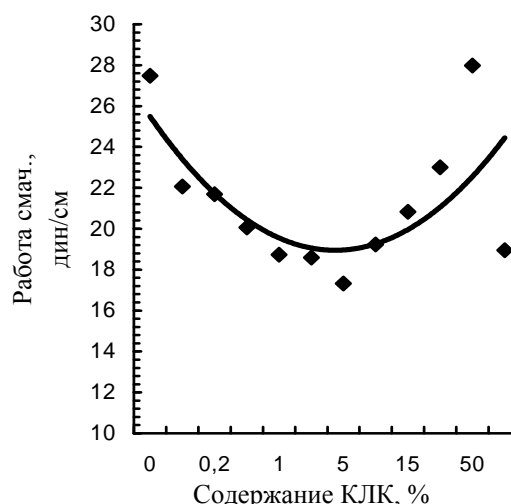


Рис. 1. Зависимость работы смачивания от содержания КЛК в связующем

Важной технологической характеристикой КФС является вязкость, которая свидетельствует о возможности нанесения связующего. По тем же причинам введение латексной композиции обеспечивает снижение вязкости. Для наилучшей адгезии необходимо не только тесный контакт между склеиваемым телом и клеящим веществом, но необходимо также, чтобы расстояния между контактирующими точками, достигнутые в процессе нанесения на подложку клеящего вещества, не уменьшились затем при пленкообразовании. Соблюдение этого возможно, если адгезив в процессе сушки (пленкообразования) не дает усадки, а это, в свою очередь, возможно лишь тогда, когда сцепление между подложкой и адгезивом будет равно или больше сил взаимодействия между молекулами самого адгезива (когезии) вещества [1].

Физико-механические процессы, приводящие к структурированию отверждающейся смолы, приводят к тому, что КФС приобретают меньший объем в результате термоструктурной усадки. Снижение объемных напряжений в клеевом шве модифицированной смолы было достигнуто в результате ослабления когезионной прочности полимера, т. е. путем уменьшения молекулярного взаимодействия между его цепями, при взаимодействии латекса и эмульгатора с макромолекулами исследуемой смолы.

Однако введение в склеивающую пленку веществ, ослабляющих когезионное

взаимодействие цепей полимера, допустимо только при условии, когда когезия полимера превышает адгезию тел, что должно сказаться положительно на качестве склеивания [1].

Изотермы адсорбции, приведенные на рис. 2, допускают введение латекса в процессе образования клеевого шва. Характер кривых больше подходит для изотерм S-типа – в соответствии с классификацией форм изотерм адсорбции [3, 4].

Для данного типа характерна ситуация, когда сила взаимодействия между адсорбированными молекулами больше силы взаимодействия между растворенным веществом и адсорбатом, то есть когезия больше его адгезии.

Существенное влияние на прочность многофазных материалов при наличии граничных слоев с частоклообразной ориентацией цепей, свойственной для КФС, оказывает полидисперсность макромолекул адгезива и субстрата [1], образующаяся при адсорбции латексов на полярные макромолекулы связующего и древесины [2].

Изучение экологических свойств модифицированных связующих показало уменьшение количества свободного формальдегида. Исследования токсичности модифицированных связующих проводились методами WKI и «Перфоратор». Снижение содержания свободного формальдегида можно объяснить его способностью образовывать устойчивые связи с адсорбционно-гидратной оболочкой мицеллярных частиц латекса [5].

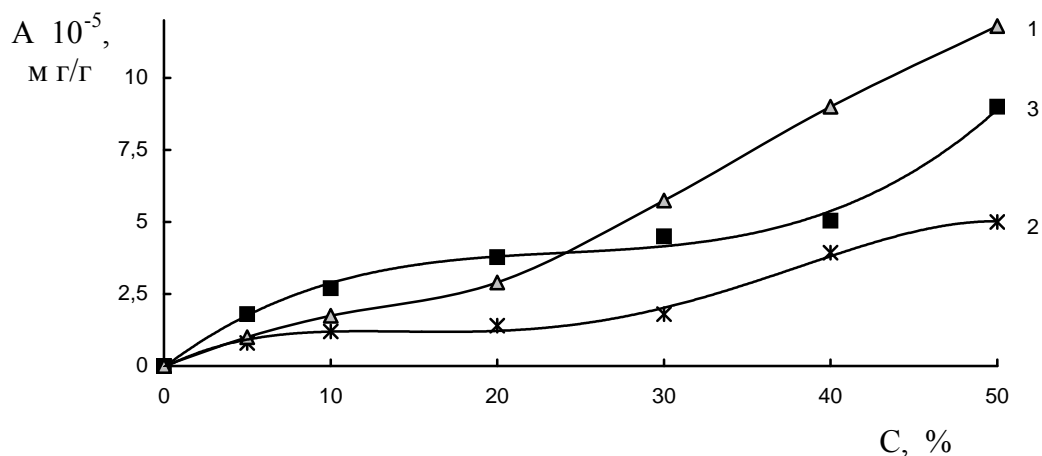


Рис. 2. Изотермы адсорбции: 1 – КФС; 2 – КЛК; 3 – КФС + 15,0 % КЛК

Физико-химические свойства КФС

| Показатели | Содержание КЛК, % | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,5 | 3,0 | 6,0 | 12,0 |
| Условная вязкость по ВЗ-4, с | 83 | 65 | 45 | 43 | 42 | 40 | 37 | 36 | 34 | 27 |
| Содержание свободного формальдегида, % | 1,10 | 0,75 | 0,60 | 0,55 | 0,85 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,05 |
| Содержание метилольных групп, % | 2,8 | 4,8 | 5,1 | 5,2 | 4,6 | 2,4 | 3,8 | 4,4 | 4,1 | 4,4 |
| Время желатинизации при 100 °С в присутствии 1,0 % NH ₄ Cl, с | 78 | 76 | 69 | 58 | 62 | 65 | 66 | 68 | 70 | 82 |
| Предел прочности при сдвиге, МПа (после 2 ч кипячения в воде)* | 3,5 | 5,5 | 6,2 | 6,3 | 6,5 | 5,7 | 5,2 | 4,7 | 4,2 | 3,1 |

*Прочность при сдвиге определяли при горячем склеивании дубовых образцов.

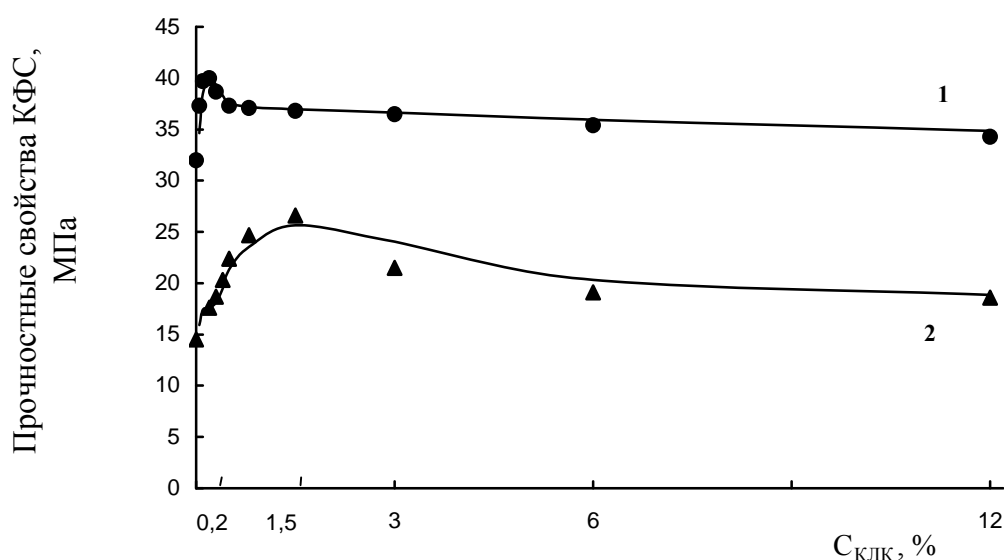


Рис. 3. Прочностные свойства КФС, отвержденной холодным способом (при комнатной температуре в присутствии 0,7 % H₂C₂O₄, в течение суток): 1 – предел прочности при разрушении отвержденных образцов смолы; 2 – предел прочности при разрыве пропитанных образцов фильтровальной бумаги

Концентрируя, таким образом, формальдегид, частицы латекса выступают в качестве центров поликонденсационных процессов, где начинает возникать твердая полимерная фаза. Последним соображением можно объяснить снижение времени желатинизации, т. е. повышение реакционной способности КФ-Ж в случае низких концентраций латекса (табл. 2).

Равномерно распределяясь по объему клеевого слоя, частицы латекса выступают

также регуляторами частоты или плотности сшивки смолы, выравнивая данные показатели или среднестатистическую молекулярную массу между узлами сшивки, что, вероятно, также снижает внутренние напряжения в клеевом шве и обеспечивает более высокие характеристики прочности склеивания. По той причине, что изотропные тела лучше слипаются между собой, чем анизотропные. При этом уменьшается повышенная хрупкость отвержденной смолы, которая, вероят-

но вызывается неравномерной плотностью сшивки (табл. 2, рис. 3).

В заключение хотелось бы отметить, что мицеллы латекса, адсорбируясь на древесине, играют роль так называемого молекулярного припоя, усиливая взаимодействие подложки с пленкой [1].

Таким образом, на основе проведенных исследований можно заключить, что клеевые латексные композиции являются хорошими модификаторами карбамидоформальдегидных смол.

Список литературы

1. Москвитин Н.И. Склеивание полимеров / Н.И. Москвитин. – М: Лесн. пром-сть, 1968. – 304 с.
2. Еркова Л. Н., Чечик О.С. Латексы. – Л.: Химия, 1983. – 224 с.
3. Самсонов Г.В., Тростянская Е.Б., Ельнин Г.Э. Ионный обмен. Сорбция органических веществ. – Л.: Наука, 1969. – 335 с.
4. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел / Под ред. Г. Парфита, К. Рочестера. – М.: Мир, 1986. – 488 с.
5. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КАТИОНИТОВ ИЗ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ (НА ПРИМЕРЕ БИСУЛЬФИТНЫХ ЩЕЛОКОВ ОАО «КОНДОПОГА»)

И.С. ГЕЛЕС, *Петрозаводский государственный университет*

Объемы и разнообразие сточных вод (СВ) и промышленных сред, требующих очистки от ионов разного вида, обуславливают необходимость производства ионообменных материалов широкого спектра действия и доступности. Отсутствие относительно дешевых и многотоннажных сорбентов сдерживает развитие многих технологий [1].

На наш взгляд, положение с применением синтетических ионообменных смол ухудшилось, что свидетельствует, в частности, о плохом качестве отечественного сахарного песка, цвет которого демонстрирует недостаточную его очистку. Другим, существенно значимым, примером следует считать отсутствие химводоподготовки у примерно 50 % котельных установок, что ведет к перерасходу топлива из-за отложения солей в системе и соответственно росту эксплуатационных расходов и как итог – росту стоимости энергии, в первую очередь в системе ЖКХ. И это неудивительно, так как стоимость некоторых марок катионообменных смол достигает 50 тыс. рублей за тонну.

С другой стороны, в ЦБП СССР из 3 млн. т в год различного вида сульфитных щелоков 2 млн. т не находили применения и поступали в окружающую среду, что создавало серьезнейшую экологическую ситуа-

цию и вело к свертыванию этого способа производства целлюлозы, особенно в РФ, где сосредоточено основное количество таких предприятий [2, 3]. О влиянии многолетнего сброса сульфитных щелоков в речные системы можно судить по образованию многокилометровых «мертвых» зон [4].

В то же время известно, что из лигносульфонатов (ЛСФ) – доминирующих компонентов сульфитных щелоков – можно получать катионообменные материалы. В программной работе о способах утилизации ЛСФ и регенерации аммонийного основания было показано, что декатионированные ЛСФ, т. е. свободные лигносульфоновые кислоты (ЛСК), способны без добавления традиционных компонентов сульфифенольных смол – фенолов, формальдегида и др. – за счет автоконденсации образовывать твердые катионообменные материалы, превосходящие сульфуголь и близкие к смоле КУ-1 [5].

Исследования показали, что катиониты могут быть получены также из послеспиртовой барды и последрожевой бражки [6]. Однако в одной из работ утверждалось, что для получения качественного катионита из барды к ЛСК следует добавлять серную кислоту [7]. Тем не менее, в технических решениях [8, 9] не предусмотрено введение

каких-либо веществ, и речь идет только о компонентах, получаемых при сульфитной варке. Однако эти способы получения катионообменных смол имеют существенный недостаток: длительность процесса конденсации ЛСК составляет около 24 часов. Это время было существенно сокращено (6–7 часов) путем гранулирования упаренных растворов [10].

Авторы особо отмечают также необходимость устранения попадания в сульфитные растворы поливалентных катионов, для чего рекомендуют применять особые материалы. На основании анализа вышеприведенных источников можно прийти к следующим основным положениям известных технологий получения катионитов из ЛСК :

- необходима глубокая степень удаления катионов из растворов ЛСФ (остаточное содержание основания не должно превышать 0,02 % от количества сухих веществ);

- выпарка растворов ЛСК ведется при температуре 90–100 °С ;

- процесс конденсации ЛСК происходит в том же температурном диапазоне, хотя вначале указывалось на термообработку при 130 °С [5];

- неполное включение в реакцию конденсации ЛСК.

Следует отметить, что ни в одной из работ, где рассматривались вопросы производства катионита и его свойства [5–7, 9], не затрагивалась проблема утилизации органических веществ, не вступивших в реакцию конденсации. В то же время при описании усовершенствованной схемы получения катионообменной смолы прямо указано, что все водорастворимые низкомолекулярные вещества от промывки катионита направляются в сток [10]. А это минимум 20 % от исходного количества ЛСФ [6], что свидетельствует о серьезном упущении вопросов сохранения окружающей среды.

Другим существенным недостатком рассмотренных технологий является, на наш взгляд, необходимость практически полной декатионизации ЛСФ, что связано с большим расходом дорогих синтетических

катионитов. Можно отметить, что включение катионита из ЛСК в систему удаления ионов металлов из сульфитных растворов предполагалось только на Балахнинском ЦБК [7]. Однако данных о реализации этого проекта не имеется.

Обращает на себя внимание, что при разработке технологии регенерации аммониевого основания ионообменным способом, катионит из ЛСК даже не рассматривался среди других синтетических смол [11]. Выше отмечалось, что монополия ЛСК и отсутствие каких-либо других компонентов, используемых при получении сульфенольных полимеров, рассматривались только с положительной стороны. На наш взгляд, при таком подходе невозможно провести существенную модификацию получаемых катионитов. Нужно также отметить, что все многочисленные работы, часть которых указана выше, проводились с ЛСФ кислой сульфитной варки и поликонденсация осуществлялась в твердой фазе. Наряду с этим было установлено, что образование полимера из ЛСК происходит и в растворе, но при температуре 170–180 °С [12].

Целью данной работы являлось выяснение возможности получения материала из ЛСФ бисульфитной варки на натриевом основании с включением в процесс некоторых сильно загрязненных СВ. Этот принципиально новый подход предполагает не очистку СВ, а создание таких технологий, где самые загрязненные стоки выступали бы в качестве необходимого и полезного участника процесса [13].

В работе использовали ЛСТ (лигносульфонат технический) ОАО «Кондопога». При проведении экспериментов отказались от практически полного декатионирования, и процесс поликонденсации вели при различном содержании остаточной зольности. При этом был определен верхний предел содержания минерального остатка, когда процесс образования полимерного соединения не мог быть реализован. Для снижения содержания ионов металлов использовали смолу КУ-2, которая относится к сильно-кислотным катионитам.

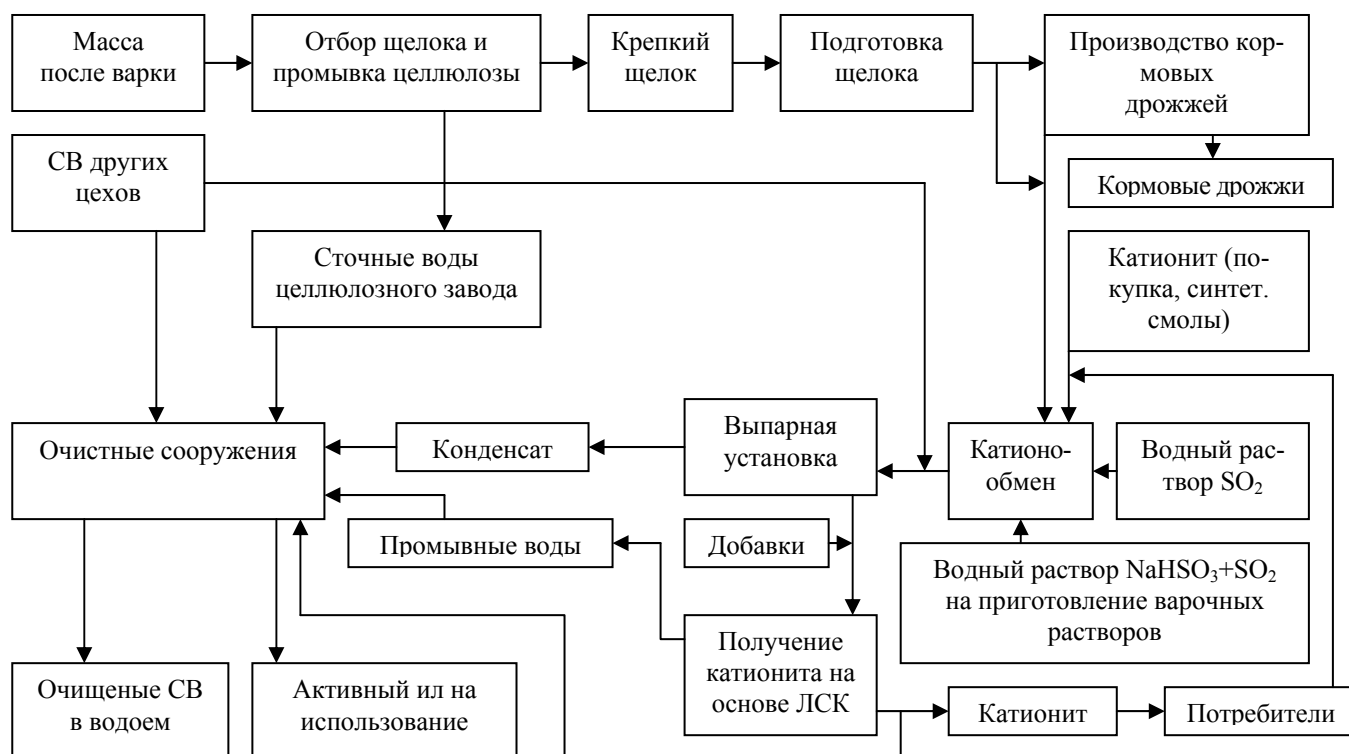


Рис. 1. Укрупненная принципиальная блок-схема использования щелоков и очистки СВ (существующее состояние на примере ОАО «Кондопога»)

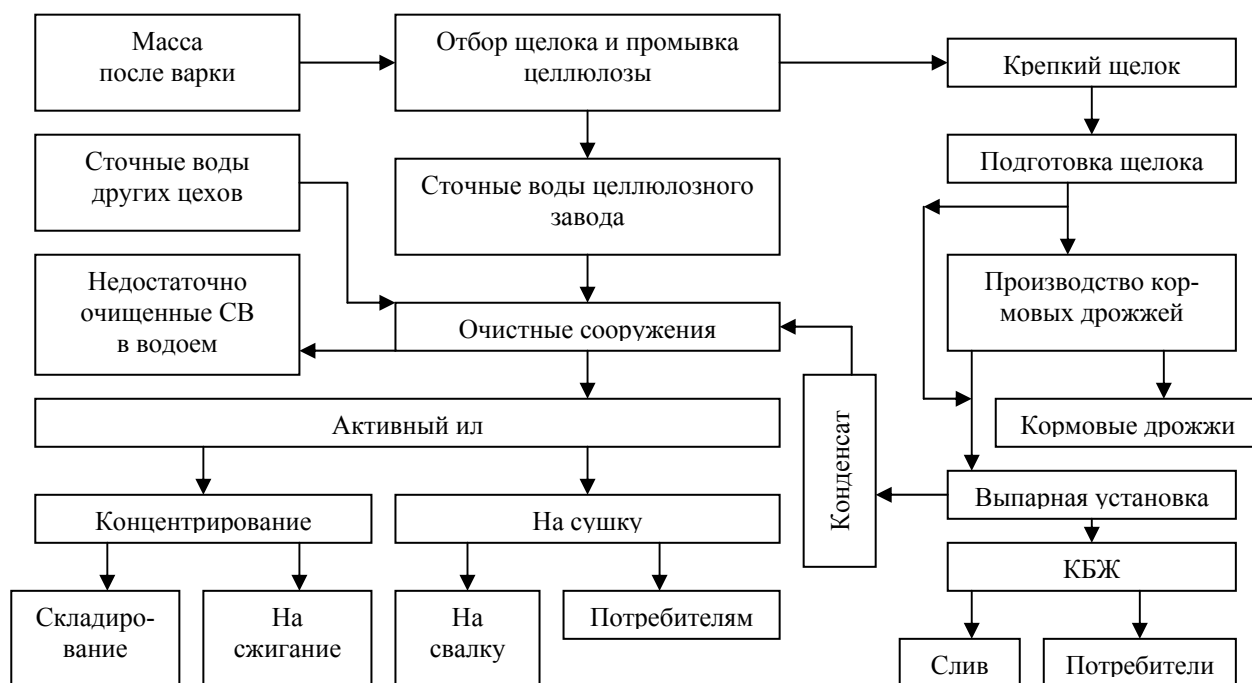


Рис. 2. Укрупненная принципиальная блок-схема получения катионитов. Использования и очистки сточных вод сульфит-целлюлозного предприятия

При проведении опытов меняли также соотношение между сухими веществами ЛСТ и СВ. Сам процесс конденсации вели в твердой фазе при температуре выше 100 °С, длительность ее составляла 1,5–2,0 часа, т. е. она была значительно меньше, чем в указанных выше источниках. В зависимости от степени снижения зольности ЛСТ, соотношения сухих веществ ЛСТ и СВ, температуры и продолжительности теплового воздействия, а также значения других факторов выход твердого катионита составлял 46–72 % от суммы взятых органических веществ.

Катионообменный материал представлял собой слабо сшитый полимер, о чем свидетельствовало его сильное набухание в водной среде и трудное обезвоживание. Поэтому его использование стало возможным после специальной подготовки. Статическая обменная емкость катионитов составляла по 0,1 г-экв/л раствора хлористого натрия 0,6–0,7 мг-экв/г. Полученный катионит был использован для снижения содержания ионов металлов в растворах ЛСТ. В первых 3–4 циклах катионообмен-регенерация процессы протекали достаточно полно. В дальнейшем степень регенерации снижалась. По-видимому, для катионитов из ЛСТ с повышенной остаточной зольностью требовалось разработать специальный режим восстановления его обменной способности. Указанные катиониты были использованы в 15 циклах ионообмен-регенерация.

В последних 11–12 циклах они выступали в качестве первой степени декатионирования; вторая – основная ступень – проходила при использовании катионита КУ-2. Учитывая сильную набухаемость полученных катионитов и связанную с этим повышенную потребность времени и воды для их промывок после регенерации, были проведены опыты по увеличению плотности сшивки макромолекул ЛСФ для стабилизации структуры образующегося поликонденсата. Для этого к растворам ЛСТ и СВ добавляли сшивающий реагент. Одновременно были изменены и некоторые другие параметры процесса.

В результате были получены образцы катионитов с выходом до 82 % от исходных органических веществ ЛСТ и СВ, обладавшие значительно меньшей набухаемостью и большей стабильностью размеров, сократилось и количество воды, потребное для промывки катионитов. Однако статическая обменная емкость несколько сократилась по сравнению с полимером редкой сшивки. Вместе с тем, необходимо особо подчеркнуть, что количество органических веществ, уходящих с промывными водами при отмывке катионита после завершения процесса поликонденсации, резко снизилось.

Таким образом, предлагаемый подход к утилизации ЛСФ с получением катионообменного материала существенно отличается от известных предложений следующими особенностями:

- не требуется практически полная декатионизация исходных растворов лигносульфонатов бисульфитных щелоков;
- в процессе получения катионитов могут использоваться СВ предприятия, что снижает нагрузку на биологические очистные сооружения;
- процесс получения катионитов становится несравненно более гибким по сравнению с указанными выше способами: можно получать катионит как с редкой, так и частой сшивкой, одновременно варьируя содержание в полимере серы (групп SO_3H) и обменную способность;
- промывные воды, образующиеся при отмывке катионита от непрореагировавших веществ, содержат намного меньше органических соединений по сравнению с известными данными;
- время, необходимое для образования полимера, существенно меньше, нежели в указанных выше процессах.

Все это позволяет с достаточным основанием рассматривать предлагаемый подход перспективным с точки зрения возможности создания технологии с минимальным количеством не утилизируемой органики, направляемой на биологическую очистку. Нужно также отметить, что катионит редкой сшивки вследствие высокого водопоглоще-

ния и водоудержания может служить кондиционером почв во влагодефицитных местах, выполняя функции поддержания влажности, pH и удобрения пролонгированного действия. На целесообразность подобного использования катионитов из ЛСК указывалось ранее [14].

Реализация подобной технологии могла бы многое изменить в положительную сторону как в основном производстве, так и в работе очистных сооружений, что можно показать при сравнении укрупненных блок-схем традиционной и предлагаемой технологий (рис. 1 и рис. 2). В качестве примера можно взять блок-схему ОАО «Кондопога».

В настоящее время отбор щелока, включая промывку целлюлозы после варки, ведется в недостаточной степени. Вследствие этого на очистные сооружения со СВ поступает повышенное количество органических и минеральных веществ. С другой стороны, из-за недостатка мощностей дрожжевого цеха у части щелока не используются моносахариды. Щелок и последрожжевая бражка смешиваются и упариваются с получением товарного ЛСТ, часть которого не находит сбыта, и предприятие распределяет его в различные места.

Такое положение не стимулирует вести отбор растворенных органических веществ до 99 %, что обеспечивает успешную очистку СВ [15, 16]. Поэтому на очистные сооружения поступает существенно больше, чем следует, ЛСФ углеводов, что ведет к недостаточной очистке СВ. Образующийся в повышенном количестве избыточный активный ил частично аккумулируется, частично высушивается. Последнее связано с большим расходом энергоносителей. Однако сухой ил не может использоваться ни как кормовая добавка, ни как удобрение вследствие содержания катионов тяжелых металлов (ТМ). Реализация некоторой его части далеко не оправдывает всех затрат на его сушку.

Таким образом, имеет место как локальное, так и достаточно обширное загрязнение окружающей среды. Последнее обусловлено поступлением в поверхность водоемов ЛСФ с «очищенными» стоками, так как

активный ил не способен в полной мере «переработать» вещества ароматической природы. Отсюда следует, что при существующих технологиях экология выступает в качестве тяжелого экономического бремени без какого-либо положительного эффекта. Намечаемое на предприятии концентрирование основной массы активного ила с последующим сжиганием его в печах кипящего слоя не более, на наш взгляд, как еще один из вариантов затратной технологии, так как такого рода прекрасное инженерное решение эффективно экономически только при дешевых энергоносителях, о которых пора забыть.

Кроме того, здесь, очевидно, возникнут проблемы с повышенными выбросами окислов азота и других загрязнителей воздушной среды. В итоге, вместо того, чтобы вкладывать средства в коренное усовершенствование основных и внедрение новых технологий, их тратят на устранение последствий огрехов прежних упрощенных технических и экономических представлений.

При создании производства катионитов из ЛСФ и СВ возникает возможность и необходимость максимального отбора щелока. В этом случае со СВ целлюлозного завода на очистные сооружения должно поступать намного меньше органических веществ по сравнению с существующим состоянием. Щелок с последрожжевой бражкой (или только с последней) перед выпаркой будет направлен на декатионирование, в ходе которого в первую очередь он освобождается от многовалентных ионов металлов и кальция, очистка от которых таким способом рекомендуется, даже если не планируется регенерировать растворимые основания [17]. Ионнообменная очистка от кальция и других указанных катионов резко снижает «гипсацию» всех узлов выпарной установки, повышает ее эффективность за счет лучшей теплопередачи и отсутствия необходимости частого отключения выпарных аппаратов на очистку [17].

Полученный из ЛСФ катионит используется частью в системе декатионирования сульфитных растворов. Не исключено, что наряду с ним будут применяться и ка-

тиониты типа КУ-2, количество которых, очевидно, можно ограничить... Катионит на основе ЛСФ может быть полезен на очистных сооружениях для удаления ионов ТМ, которые концентрируются в активном иле. Это целесообразно производить, если будут обнаружены потоки СВ с указанными токсикантами. При такой очистке СВ избыточный активный ил может использоваться в различных направлениях.

Нужно отметить, что углубленный отбор щелока должен привести к минимизации нагрузки на очистные сооружения. Очевидно, подобные последствия будет иметь также включение в производственный цикл части сильно загрязненных СВ других цехов предприятия. В целом все это должно существенно улучшить очистку СВ.

Таким образом, наряду о важнейшим экологическим аффектом – значительно меньшим загрязнением пресных водоемов, что с каждым годом имеет возрастающее значение, – предприятие может иметь немалые экономические выгоды за счет реализации новых видов продукции – катиониты, удобрения, белково-витаминные добавки, вторичные энергоресурсы и т. п.

Вместе с тем необходимо отметить, что пока сделаны только первые шаги по модификации свойств катионитов из ЛСФ. Очевидно, особое внимание следует уделить повышению содержания сульфоксильных групп в катионитах, т. е. повысить их обменную емкость и тем самым приблизить их к классическим катионообменным смолам.

Список литературы

1. Сиявин М.М., Хамизов Р.Х. Океанская вода – источник минерального сырья // Природа. – 1990. – № 7. – С. 25–33.
2. Шамко В.С. Состояние и перспективы развития сульфитных процессов: Обз. инф. / Целлюлоза, бумага, картон. – М. ВНИПИЭИлеспром, 1988. – 50 с.
3. Купряшкина Н.В. В центре внимания – вопросы экологии сульфитно-целлюлозного производства // Бум. пром-сть. – 1990. – № 2. – С. 28–29.
4. Болотова Н.Л., Думнич Н.В. Антропогенная трансформация речной экосистемы на примере реки Сухоны (Вологодская область) // Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура: Материалы междунар. конф. – Архангельск, 2000. – С. 38.
5. Элиашберг М.Г., Цыпкина М.Н. Варка сульфитной целлюлозы с кислотой на аммонийном основании // Бум. пром-сть. – 1959. – № 12. – С. 2–6.
6. Цыпкина М.Н., Махновецкая Г.И., Сергеева В.В. Об «активной» и «неактивной» сере катионитов // ЖПХ. – 1962. – Т. 35. – Вып. 11. – С. 2440–2444.
7. Станишевская А.Ф. Ионообменные смолы из сульфитных щелоков // Бум. пром-сть. – 1961. – № 6. – С. 7–8.
8. А.С. № 17-3952 СССР. Способ получения катионообменной смолы из отработанных растворов сульфит-целлюлозного производства / М.Г. Элиашберг, М.Н. Цыпкина, Г.И. Махновецкая и др. – Бюл. № 16. – 1965.
9. А.С. № 178096 СССР. Способ получения катионообменной смолы из отработанных растворов сульфит-целлюлозного производства / М.Г. Элиашберг, М.Н. Цыпкина, Г.И. Махновецкая и др. – Бюл. 2. – 1966.
10. Получение катионообменной смолы из сульфитных щелоков // И.А. Христюк, Н.Г. Тихомирова, Г.И. Махновецкая, Б.М. Ардашникова: Сб. тр. ВНИИБ. – 1970. – Вып. 57. – С. 94–102.
11. Иоффе Л.О. Исследование основных закономерностей катионообменного способа регенерации аммиака из отработанного сульфитного щелока // Тр. / ВНИИЦБЛ. – 1965. – Вып. 50. – С. 110–128.
12. Никитин В.М., Рубинова Ф.Я. Поликонденсация органических веществ сульфитных щелоков и барды при нагревании // Гидролизная и лесохим. пром-сть. – 1971. – № 3. – С. 8–9.
13. Гелес И.С. Древесная биомасса и основы экологически приемлемых технологий ее химико-механической переработки. – Петрозаводск, 2001. – 382 с.
14. Ионообменные материалы из отработанного сульфитного щелока, пригодные для использования в сельском хозяйстве в качестве удобрений // Использование лигнина и его производных в сельском хозяйстве: Тез. докл. 1-й Всесоюз. конф. / И.Г. Тихомирова, В.М. Ардашникова, И.А. Христюк. – Рига: Зинатне, 1978. – С. 157–169.
15. Неволин В.Ф. Малоотходная технология – путь решения экологических проблем в целлюлозно-бумажной промышленности // Ресурсосберегающая технология и оборудование в химико-лесном комплексе: Материалы науч.-техн. конф. – Л., 1989. – С. 19–26.
16. Иоффе Л.О. Решение проблем экологии сульфит-целлюлозного производства: основные направления // Бум. пром-сть. – 1990. – № 8. – С. 18–19.
17. Johnson J.W.D. Removal of calcium from spent sulphite liquor by ion-exchange // Pulp and Paper Canada. 1981. Vol. 82. № 4. Т. 127–132.

МЕТОД ВЫБОРА СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ КУРСОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИСТЕМЫ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА*

В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛа,*
И.В. РЕТИНСКАЯ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛа,*
М.П. КУРНИКОВА, *инженер СЦНИТа,*
Е.П. НЕШТА, *СЦНИТ, канд. техн. наук*

Согласно утвержденной приказом Минобразования России от 18. 12. 2002 № 452 методике применения дистанционных образовательных технологий в образовательных учреждениях высшего, среднего и дополнительного профессионального образования, образовательный процесс с использованием дистанционного обучения (ДО) может осуществляться образовательным учреждением по очной, очно-заочной (вечерней) и заочной формам обучения.

При использовании любой из этих форм взаимодействие преподавателя и учащегося происходит посредством аппаратно-программных комплексов, поэтому качество обучения напрямую зависит от качества программных пакетов для поддержки ДО и обучающих сетевых курсов.

Перед разработчиками электронных учебных курсов стоят следующие альтернативы: разработка собственных программ с использованием различных языков программирования или применение специальных сред разработки, ориентированных на разработку курсов ДО. В силу того, что образовательный процесс в каком-либо учебном заведении должен происходить в одной образовательной среде, предпочтительнее использовать готовые среды. При создании курсов для переподготовки кадров, когда часто требуется решить специфические задачи, в достаточно короткое время также лучше воспользоваться готовой оболочкой. Выбор среды, в которой перечисленные задачи лучше всего могут быть решены, при-

обретает очень большое значение. В любом случае разработчику курсов хотелось бы иметь среду, для создания тех или иных дистанционных курсов, с наилучшим уровнем качества, тем более, если разработчик хочет, чтобы его программа могла распространяться на рынке программных средств, в том числе на рынке образовательных услуг.

В настоящее время из-за большого количества сред разработки курсов ДО (только зарубежных оболочек существует около 50 и отечественных уже около 10) выбрать их бывает достаточно сложно. Обычно выбор происходит на основе существующих обзоров в печати и Интернете, методом проб и ошибок. Но только опыта и интуиции лиц, проводящих выбор ПС в динамично развивающейся области уже недостаточно: необходимы системный подход и компьютерная поддержка для решения данной задачи.

Применение системного анализа позволит значительно упростить процесс выбора. Один из принципов системного анализа – принцип системных приоритетов – исходит из представления о системе, как о целостном «организме», не сводимом просто к объединению элементов, а проявляющем свои особенности и качества благодаря установленным межэлементным связям и взаимодействиям – эффект системности. Во всех случаях приоритеты должны принадлежать решениям, отражающим интерес системы в целом. На рис. 1 представлена системная декомпозиция целей процесса выбора ПС.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 01-07-90463.



Рис.1. Системная декомпозиция целей

Оценивать качество сред для их выбора необходимо с учетом существующей нормативной документации. Особенностью пользовательской документации систем ДО является необходимость согласованности их с нормативными документами Министерства образования и региональных структур. Важную роль в подходах к стандартизации документирования электронных образовательных ресурсов играют следующие организации: проект «Дублинское ядро», консорциум Global IMS; комитет *IEEE*, разработавший стандарт *IEEE 1484.12.1-2002*; Научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций «Информика».

Состав пользовательской документации программных средств (ПС) для разработки систем и курсов ДО формируется выбором из технологической документации с учетом различных требований потенциальных заказчиков или пользователей, а также международных стандартов. Эксплуатационные документы должны исключать возможность некорректного использования ПС.

Общие требования к составу и содержанию документов на ПС представлены в ряде стандартов разного ранга и в фирменных описаниях технологий создания программ. Состав этих документов широко варьируется в зависимости от класса и характеристик объекта разработки, а также в зависимости от используемой технологии и системы качества. Наиболее сложному случаю разработки критических ПС высокого качества соответствует самая широкая номенклатура применяемых документов. Такой перечень документов может быть использован как базовый для формирования из него состава документов в остальных более простых случаях.

Организация документирования должна охватывать: процессы создания документов; ответственность специалистов за создание конкретных документов; необходимые ресурсы, обеспечивающие создание документов; требование к качеству конкретных документов и способы его контроля.

Согласно [1] в настоящее время хорошо развиты системы ГОСТов на проектную и

эксплуатационную документацию программных средств (ПС) – ГОСТы 19.501-19.508 ЕСПД, ISO 9127, ANSI/IEEE 1063 и др. Однако стандарты, призванные оценивать качество готовых ПС, развиты не так хорошо. Кроме того, некоторые из них являются морально устаревшими – ГОСТ 28195, ГОСТ 28806. Одним из стандартов, определяющих качество готового продукта, является ГОСТ ISO 9126. Согласно стандарту ISO 9126 характеристиками качества являются:

1) *функциональность* (Functionality) – набор атрибутов, относящихся к сути набора функций и их конкретным свойствам;

2) *надежность* (Reliability) – набор атрибутов, относящихся к способности программного обеспечения сохранять свой уровень качества функционирования при установленных условиях за установленный период времени. Износ или старение программного обеспечения обычно не происходят. Ограничения надежности проявляются из-за ошибок в требованиях, проекте при реализации;

3) *практичность* (Usability) – набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для использования и индивидуальной оценки такого использования определенным или предполагаемым кругом пользователей;

4) *эффективность* (Efficiencies) – набор атрибутов, относящихся к соотношению между уровнем качества функционирования программного обеспечения и объемом используемых ресурсов при установленных условиях;

5) *сопровождаемость* (Maintainability) – набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для проведения конкретных изменений (модификаций). Изменение может включать как исправления, так и усовершенствования или адаптацию программного обеспечения к изменениям в окружающей обстановке, требованиям и условиям функционирования;

6) *мобильность* (Portability) – набор атрибутов, относящихся к способности программного обеспечения быть перенесенным из одного окружения в другое.

Эти характеристики образуют основу для дальнейшего уточнения и описания качества ПС. Как видно, они достаточно универсальны и не дают рекомендации по определению характеристик качества конкретных классов ПС, в частности, сред разработки курсов ДО. Следовательно, становится необходимым на основе стандартов разработать систему характеристик качества конкретно для каждого класса ПС, в том числе и для ДО [2].

Одним из этапов оценки качества ПС является составление протокола характеристик ПС на основе разработанной базы характеристик ПС. Главной трудностью составления протокола является то, что характеристики присутствуют в сопровождающей ПС документации в описательном виде, и выделение их из большого объема документации для внесения в протокол является длительной и трудоемкой задачей.

Выделение характеристик при составлении протокола испытаний ПС предлагается проводить на основе автоматизированной процедуры лингвистического анализа [3]. Программный модуль, созданный на основе алгоритма лингвистического анализатора, позволит значительно ускорить и упростить составление протокола характеристик качества ПС [4].

Выбор ПС осуществляется на основе данных протокола характеристик качества с использованием системы поддержки принятия решений [5].

На начальном этапе выбора составляется иерархия целей. Построение иерархии целей при выборе средств разработки курсов ДО должно отражать анализ наиболее важных целей и их взаимоотношений [6].

На первом уровне иерархии поставлена одна цель – общее удовлетворение средством разработки. Достижение этой цели напрямую зависит от тех возможностей, которые предоставляют ПС. Они составляют второй уровень иерархии и представляют собой обобщенные характеристики качества из разработанной системы характеристик качества для конкретного класса ПС, в частности для ДО.

Чем подробнее и корректнее сформулированы цели использования ПС, тем меньше возможность системных ошибок в требованиях к последующим по уровню компонентам. Цель и назначение ПС детализируются и формализуются в требованиях к функциям компонентов и всего комплекса программ, способного реализовать декларированные цели. Прослеживание детализации и покрытия требований к функциям сверху вниз, а также конкретизация и корректиров-

ка целей снизу вверх должны обеспечивать адекватность и качество функциональной пригодности ПС.

В качестве примера сравним три средства разработки курсов ДО *AuthorWare*, *QuestNet+* и отечественную систему «Гиперметод».

В табл. 1 приведена система характеристик средств разработки курсов ДО, и представлен фрагмент протокола характеристик качества для трех ПС.

Т а б л и ц а 1

Фрагмент протокола характеристик качества программных средств для разработки курсов ДО

| № п/п | Блоки | Характеристики | Autoware | Quest-Net+ | Гипрметод |
|---|--|---|----------|------------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Навигации | Навигация по указателю | 0 | 0 | 0 |
| | | Навигация по оглавлению | 0 | 1 | 0 |
| | | Полнотекстовый поиск | 1 | 0 | 1 |
| | | Поиск по ключевым словам | 1 | 0 | 1 |
| | | Поддержка сложного структурного поиска | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Мультимедиа (поддержка графики и анимации) | Поддержка векторной графики | 1 | 1 | 1 |
| | | Поддержка растровой графики | 0 | 1 | 1 |
| | | Поддержка <i>flash</i> -анимации | 1 | 0 | 0 |
| | | Поддержка формата <i>QuickTime</i> | 1 | 0 | 0 |
| | | Возможность использования графических объектов в заголовках, списках и других элементах оформления | 1 | 0 | 1 |
| | | Поддержка звуковых фрагментов (файлы <i>WAV</i>) | 1 | 1 | 1 |
| | | Поддержка видеофрагментов (файлы <i>AVI</i>) | 1 | 1 | 1 |
| | | Копирование текстовой информации в буфер | 1 | 1 | 1 |
| | | Режим сжатия мультимедиа данных | 1 | 1 | 0 |
| Синхронизация информационных ресурсов – текста, графики, видео, звука | 1 | 0 | 0 | | |
| 3 | Базы данных | Связь с БД через <i>ODBC</i> -драйвер | 1 | 0 | 0 |
| | | Связь с БД с помощью <i>OLE</i> | 1 | 1 | 1 |
| | | Механизм для работы с реляционными базами данных посредством <i>Structured Query Language (SQL)</i> | 0 | 0 | 0 |
| | | Технологии <i>Oracle</i> | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Проверки знаний | Создание вопросов со множественным выбором | 1 | 1 | 1 |
| | | Ограничение времени ответа на вопрос | 1 | 0 | 0 |
| | | Ограничение числа попыток ответа | 1 | 0 | 0 |
| | | Отслеживание общего прогресса обучаемого и скорости его обучения | 0 | 1 | 0 |
| | | Генерация дальнейшего материала в зависимости от уровня знаний и динамики обучения | 0 | 1 | 0 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|-------------------|--|---|---|---|
| 5 | Администрирование | Управление доступом обучающихся к тем или иным разделам обучающего курса | 0 | 1 | 0 |
| | | Возможность совместного прохождения несколькими обучающимися обучающего курса | 0 | 1 | 0 |
| | | Возможность включать или исключать обучаемых в ту или иную группу в зависимости от прогресса | 0 | 1 | 0 |
| | | Использование парольной аутентификации | 1 | 1 | 1 |
| | | Шифрование данных для обеспечения защиты результатов обучения от просмотра другими пользователями или изменения | 0 | 1 | 0 |
| | | Регистрация объема пройденного материала | 0 | 1 | 0 |
| | | Сбор статистики по обучаемым | 0 | 1 | 0 |
| | | Генерация отчетов | 0 | 1 | 1 |
| | | Диаграммы уровня усвоения знаний обучающимися | 0 | 1 | 0 |
| 6 | Разработки | Наличие типовых шаблонов кадров | 1 | 1 | 1 |
| | | Способность обеспечить средства для модификации или добавления содержания главной страницы (<i>Title</i>) обучающего курса непосредственно во время выполнения | 0 | 1 | 0 |
| | | Экспорт и импорт данных во внешние форматы | 1 | 1 | 1 |
| | | Поддержка <i>ActiveX</i> | 1 | 0 | 0 |
| | | Редактор объектов интерфейса | 1 | 1 | 1 |
| | | Определение системных установок – графическое разрешение, шрифты, глубина цвета, устройство <i>CD-ROM</i> и т.д. | 1 | 1 | 1 |
| | | Создание всплывающих окон по действию пользователя (обучаемого) | 0 | 1 | 0 |
| | | Автоматическая расстановка связей в документах (динамические связи) по заданным разработчиком правилам | 1 | 1 | 1 |
| | | Автоматизация процесса проверки и анализа структуры созданной информационной системы | 1 | 1 | 1 |
| | | Вызов функций из динамически подключаемых библиотек (<i>DLL</i>) | 1 | 1 | 0 |
| | | Наличие помощи в программе | 1 | 1 | 1 |
| | | Использование событийно-ориентированного <i>Script</i> -языка для управления поведением объектов | 1 | 1 | 1 |

Суть используемого метода анализа иерархий для выбора средства разработки в соответствии с целями пользователей заключается в следующем.

Пусть C_1, C_2, \dots, C_n – совокупность объектов (в данном случае характеристик ПС для разработки курсов ДО, имеющих в протоколе испытаний). Количественные суждения о парах объектов (C_i, C_j) представляются в виде матрицы размером $n \times n$

$$A = (a_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Элементы a_{ij} определены по следующим правилам:

Правило 1. Если $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$.

Правило 2. Если суждения таковы, что C_i имеет одинаковую с C_j относительную важность, то $a_{ij} = 1$; $a_{ji} = 1$.

Таким образом, матрица A имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

После представления количественных суждений о парах (C_i, C_j) в числовом выра-

жении через a_{ij} задача сводится к тому, чтобы n возможным действиям C_1, C_2, \dots, C_n поставить в соответствие множество числовых значений, которые соответствовали бы зафиксированным суждениям.

Шкала приоритетов задается от 1 до 5 согласно психологическому пределу сравнения объектов.

В табл. 2 приведен пример сравнения характеристик относительно общего удовлетворения ПС.

Следующий шаг состоит в вычислении вектора приоритетов по данной матрице. В математических терминах – это вычисление главного собственного вектора, который после нормализации становится вектором приоритетов:

$$\lambda_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1),$$

где λ_j – компонент собственного вектора.

Для нормализации используется формула:

$$\lambda_j^{\text{норм}} = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

Результат расчета нормализованного собственного вектора примет такой вид:

$$\lambda_1^{\text{норм}} = 1,31/12,66 = 0,1 \quad \lambda_4^{\text{норм}} = 2,72/18 = 0,15;$$

$$\lambda_2^{\text{норм}} = 0,28/2,13 = 0,13 \quad \lambda_5^{\text{норм}} = 0,83/6,66 = 0,13;$$

$$\lambda_3^{\text{норм}} = 0,76/7,99 = 0,1 \quad \lambda_6^{\text{норм}} = 1,57/13,32 = 0,12.$$

Следующим шагом является вычисление относительного ранга каждого средства разработки курсов ДО по каждому критерию. Например, в одной программе лучше реализована мультимедийность, тогда как

другая предоставляет лучшие средства администрирования.

Матрицу парных сравнений составим на основе протокола испытаний:

$$\mu_j^l = \frac{\sum_{i=1}^k x_{ij}^l}{k^l}, \quad (3)$$

где μ_j^l – относительное обобщенное значение характеристики;

x_{ij} – значение i -й характеристики j -го средства в l -й группе протокола испытаний;

k – общее число характеристик в l -й группе

$$b_{jj}^l = \frac{\mu_j^l}{\mu_j^l}, \quad (4)$$

где b_{jj}^l – элемент матрицы сравнений, $j \neq j'$; $j = (1 \dots N)$,

где N – число программных средств;

$b_{jj} = 1$ – значения на диагонали матрицы.

Для сравнения двух программ по характеристике определим, во сколько раз одна программа лучше другой. Тогда шкала высказываний будет следующая:

1 – «программы A одинаково хороша с программой B по данной характеристики»;

h , где h – некоторое число, – «программа A лучше (хуже) программы B в h раз».

Например, для определения, насколько *Authoware* лучше *Quest +* по навигации в два раза: $H_{\text{authoware}} / H_{\text{quest+}} = 0,4/0,2 = 2$.

Пример результатов сравнения ПС относительно характеристики навигации представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 2

Сравнение характеристик относительно общего удовлетворения ПС

| | Навигация | Мультимедиа | База данных | Проверка знаний | Администрирование | Разработка |
|-------------------|-----------|-------------|-------------|-----------------|-------------------|------------|
| Навигация | 1 | 5 | 3 | 1/3 | 3 | 1/3 |
| Мультимедиа | 1/5 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/5 |
| База данных | 1/3 | 5 | 1 | 1/3 | 1 | 1/3 |
| Проверка знаний | 3 | 5 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| Администрирование | 1/3 | 3 | 1 | 1/3 | 1 | 1 |
| Разработка | 3 | 5 | 3 | 1/3 | 1 | 1 |

Сравнение ПС относительно характеристики «навигация»

| Навигация | | | |
|--------------------|------------------|------------------|------------|
| | <i>Authoware</i> | <i>QuestNet+</i> | Гипреметод |
| <i>Authoware</i> | 1 | 2 | 1 |
| <i>Quest+</i> | ½ | 1 | ½ |
| <i>Hypermethod</i> | 1 | 2 | 1 |

Находим собственный вектор каждой матрицы.

Для матрицы 1 («навигация»):

нормализованный вектор собственных значений будет:

$$\lambda_1^{\text{норм}} = 1,26/3 = 0,4;$$

$$\lambda_2^{\text{норм}} = 0,63/3 = 0,2;$$

$$\lambda_3^{\text{норм}} = 0,4.$$

Аналогично находятся собственные векторы других матриц характеристик.

В результате расчета по всем характеристикам, умножая матрицу нормализованных значений характеристик ПС на матрицу нормализованных компонент приоритетов характеристик, получаем общий ранг каждого средства:

$$\begin{bmatrix} 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,42 & 0,08 & 0,3 \\ 0,2 & 0,3 & 0,3 & 0,42 & 0,75 & 0,4 \\ 0,4 & 0,3 & 0,3 & 0,14 & 0,17 & 0,3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,18 \\ 0,04 \\ 0,10 \\ 0,36 \\ 0,11 \\ 0,21 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,35 \\ 0,39 \\ 0,24 \end{bmatrix}.$$

В результате получим общее ранжирование средств разработки: ранг *Authoware* равен 0,35; ранг *Quest+* – 0,4; ранг «Гипреметода» – 0,2.

Рассмотренный подход к выбору ПС имеет программную реализацию на ЭВМ.

На рис. 2 приведена форма заполнения матрицы сравнения характеристик. Пользователь последовательно заполняет ячейки таблицы, внося соответствующие значения. Дробные значения вычисляются программой. С помощью кнопки «ПРОСМОТРЕТЬ ПРОТОКОЛ» можно вернуться к сгенерированному протоколу. После заполнения матрицы сравнения характеристик

относительно общего удовлетворения средством можно нажать кнопку «СРАВНИТЬ СРЕДСТВА ОТНОСИТЕЛЬНО ХАРАКТЕРИСТИК» для перехода к матрице попарных сравнений средств. Пользователь может сразу перейти к просмотру результатов расчета программы с помощью кнопки «ОБЩЕЕ РАНЖИРОВАНИЕ». В случае необходимости, можно получить справку, используя кнопку «ПОМОЩЬ».

На рис. 3 представлена форма сравнения средств разработки курсов ДО относительно характеристик.

Данная форма заполняется автоматически согласно значениям характеристик, полученным из протокола испытаний. С помощью кнопки «НАЗАД» можно вернуться на предыдущую форму.

Так же автоматически вычисляются собственные значения матрицы. На рис. 4 представлена форма вывода результата расчета выбора средства разработки курсов ДО с учетом заданных целей. В окне выводятся результаты расчета общего ранга каждого средства, а также диаграмма значений ранжирования средств разработки для визуализации результатов расчета.

Таким образом, согласно заданным предпочтениям для создания курсов ДО наиболее подходит второе средство. Предложенная в работе система поддержки принятия решений позволяет решать задачу выбора средства разработки курсов ДО при различных приоритетах целей. Созданная в работе система поддержки принятия решений позволяет решать многокритериальную задачу выбора средства разработки курсов ДО при различных приоритетах целей.

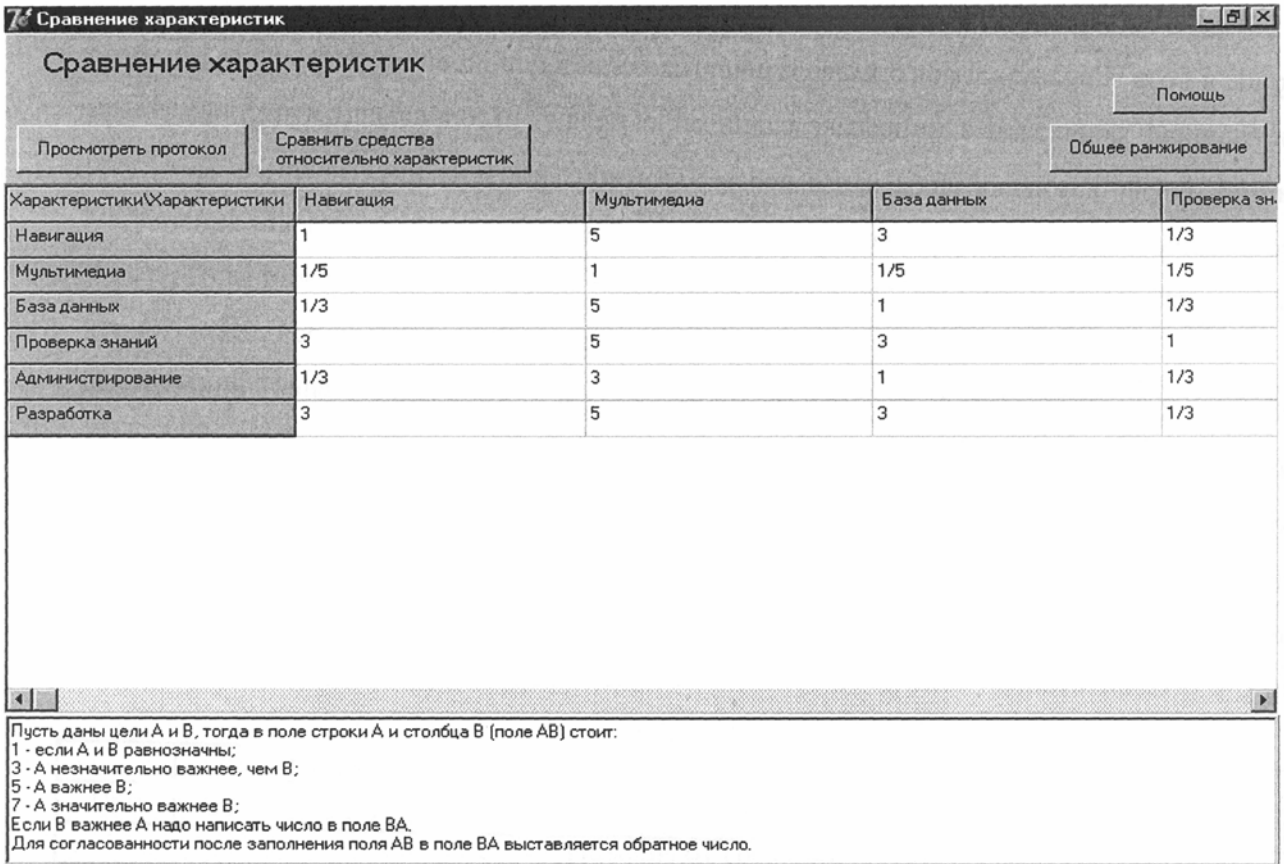


Рис. 2. Окно формы сравнения характеристик

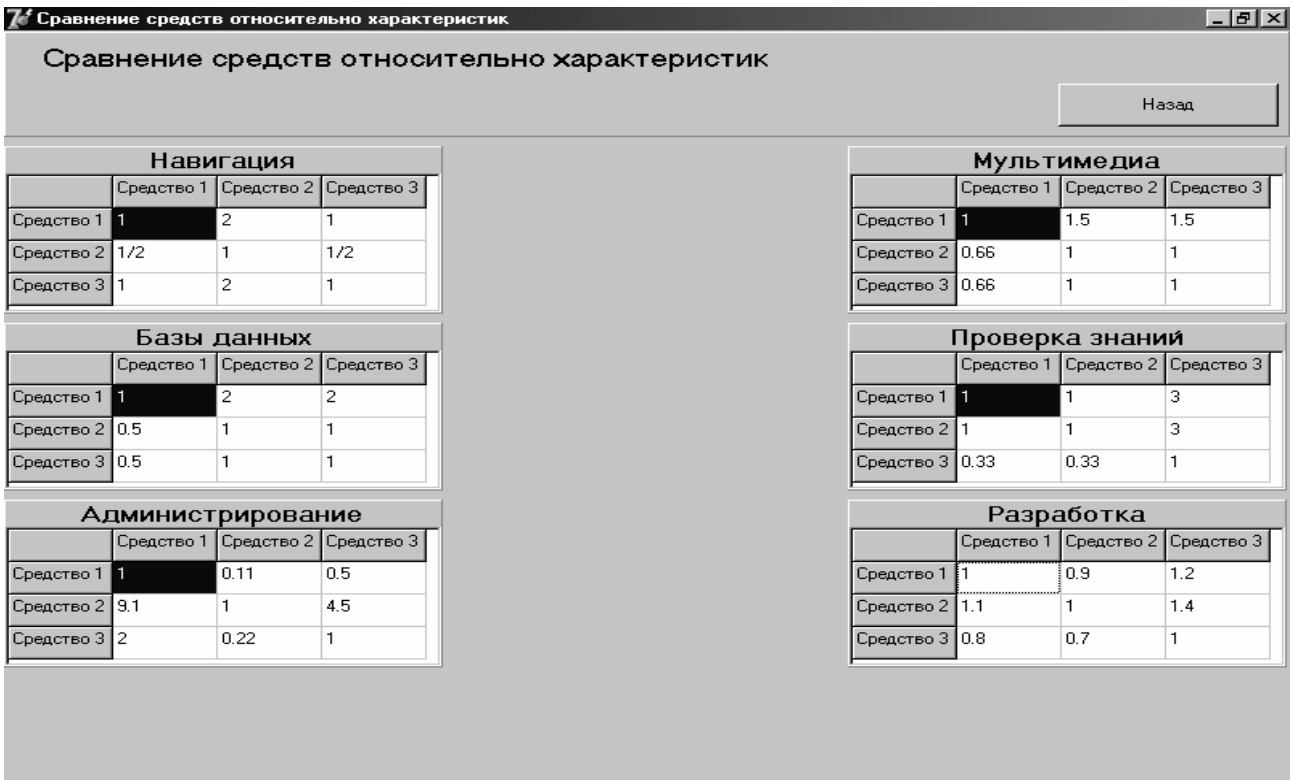


Рис. 3. Окно формы сравнения средств относительно блоков характеристик

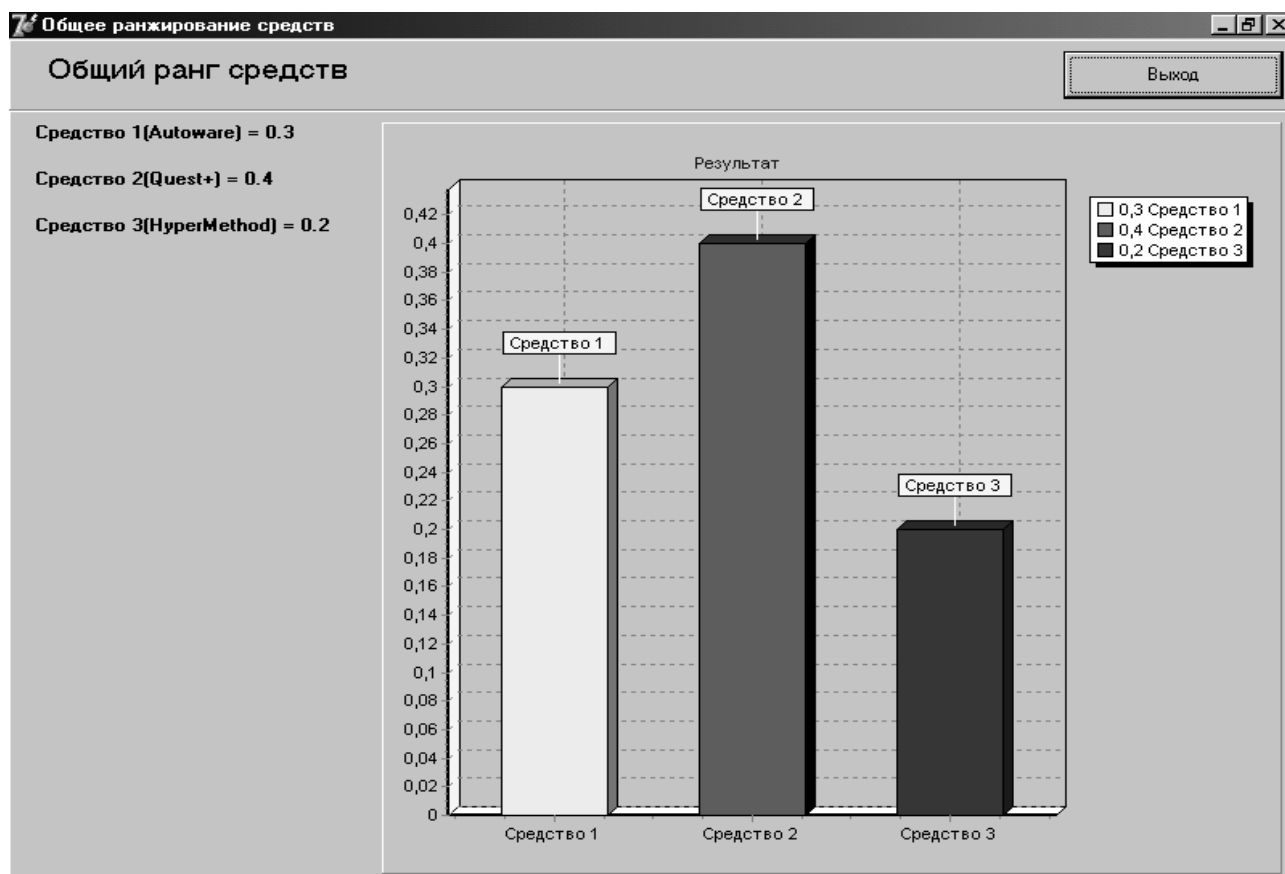


Рис. 4. Окно формы вывода результатов расчета

Выводы

Применение системного подхода позволит лицу, принимающему решения (ЛПР), в качестве которого может выступать как пользователь, так и разработчик курсов ДО, оценивать качество и производить выбор среди существующих средств разработки курсов ДО согласно заданным предпочтениям. Создана автоматизированная система выбора программных средств для разработки курсов дистанционного обучения.

Список литературы

1. Липаев В.В. Требования к структуре и содержанию документации на прикладные программные средства информационных систем. – М.: Станкин, 1999. – 77 с.
2. Практическая сертификация продукции и услуг / Под ред. В.Я. Кершенбаума. – М.: Нефть и газ, 2001. – 309 с.
3. Курникова М.П. Применение лингвистического анализа для генерации протокола испытаний при сертификации программных средств учебного назначения: Сб. тр. Междунар. конгр. конференций «Информационные технологии в образовании». – М.: Просвещение, 2003. – С. 288–289.
4. Домрачев В.Г., Нешта Е.П., Ретинская И.В. Автоматическая классификация программного обеспечения на основе рубрикатора программных средств: Сб. науч. тр. МИЭМ «Информационные, сетевые и телекоммуникационные технологии». – М.: МИЭМ, 2001. – С. 112–119.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
6. Курникова М.П., Нешта Е.П. Система оценки качества курсов дистанционного образования: Сб. науч. тр. Междунар. конф. «Образование и виртуальность», 2003. – Харьков: ХГУ, 2003. – С. 274–276.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И НЕЧЕТКОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

О.М. ПОЛЕЩУК, доц. каф. высшей математики МГУЛа, канд. физ.-мат. наук

Для оценки качества программных средств используются количественные характеристики, которые вычисляются на основе доступной объективной информации, – среднее время, требуемое для доступа к информации баз данных; объем оперативной и дисковой памяти, количество шрифтов редактора, максимальный уровень вложенности гипертекста и т. д., – и качественные характеристики, которые определяются на основе субъективного экспертного оценивания – удобство интерфейса, легкость освоения, интеллектуальность текстов, функциональность, эффективность по устройствам, сопровождаемость, изучаемость, модифицируемость и т. д.).

Количественные характеристики изменяются в рамках некоторого диапазона значений, который может быть преобразован в отрезок $[0,1]$ с помощью одной из известных операций нормирования. При оценивании количественных характеристик эксперты иногда используют лингвистические (вербальные) значения (градации) этих характеристик, вкладывая в них информацию о соотношении этой оценки с некоторым «браковочным» или «оптимальным» уровнем. Например, объем оперативной памяти можно оценивать как «малый», «средний», «большой», «очень большой». Достаточно часто пользователей интересуют именно лингвистические значения многих количественных характеристик, а не точные их числовые значения.

Вербальные шкалы применяются для измерения качественных характеристик. Например, удобство интерфейса можно оценивать в рамках вербальной шкалы: «крайне

неудобный», «неудобный», «удобный», «очень удобный». Расположенные в порядке возрастания интенсивности вербальные градации (уровни) количественных и качественных признаков образуют множество значений лингвистической (вербальной) шкалы. В связи с этим перед экспертами встает задача – определить оптимальное множество значений (вербальных градаций) лингвистической шкалы, которая используется для оценивания количественных и качественных признаков.

Критерии оптимальности множества значений лингвистической шкалы [1]:

1. Минимальная неопределенность при описании реальных объектов.

2. Максимальная согласованность экспертной информации.

Опишем методику определения оптимального множества лингвистических значений признака [2].

Для оценивания или описания признака X привлекаются k экспертов. Формулируются множества

$$T_1 = \{X_1, X_2\}, T_2 = \{Y_1, Y_2, Y_3\}, \dots, T_{n-1} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$$

всех разумных лингвистических значений признака X , которые могут применяться для его оценивания. После этого экспертам предлагается оценить (или описать) этот признак последовательно в рамках каждого из сформулированных множеств его лингвистических значений.

Пусть $T_1 = \{X_1, X_2\}, T_2 = \{Y_1, Y_2, Y_3\}, \dots, T_{n-1} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$ – термножества ПОСП, построенных в рамках этих множеств на основе информации, полученной от каждого из k экспертов.

Обозначим через $P_i^p, i = \overline{1, n-1}; p = \overline{1, k}$ – модель экспертного оценивания или описания признака X p -м экспертом в рамках термножества T_i (ПОСП p -го эксперта с термножеством T_i), а через $P_i, i = \overline{1, n-1}$ – обобщенную модель [3] экспертного оценивания или описания признака X в рамках термножества T_i . Обозначим через $\xi(T_i), i = \overline{1, n-1}$ – степень нечеткости модели $P_i, i = \overline{1, n-1}$ [1], а через k_i – показатель общей согласованности моделей $P_i^p, p = \overline{1, k}$ [4].

Построим для показателя согласованности ПОСП с универсальным множеством $[0, 1]$, термами «низкий», «высокий» и функциями принадлежности термов $\mu_1(x), \mu_2(x)$ (например, не ограничивая общности $\mu_1(x) \equiv (0; 0,25; 0; 0,50), \mu_2(x) \equiv (0,75; 1; 0,25; 0)$).

Построим для степени нечеткости ПОСП с универсальным множеством $[0, 0,5]$, термами «малая», «большая» и функциями принадлежности термов $\eta_1(x), \eta_2(x)$ (например, не ограничивая общности $\eta_1(x) \equiv (0; 0,20; 0; 0,20), \eta_2(x) \equiv (0,40; 0,50; 0,20; 0)$).

Вычислим для всех множеств значения принадлежности степеней нечеткости обобщенных моделей к терму «малая» – $\mu_i(\xi(T_i)), i = \overline{1, n-1}$ – и значения принадлежности показателей согласованности моделей экспертов к терму «высокий» – $\eta_2(k_i), i = \overline{1, n-1}$.

Определим

$$\theta_i = \min[\mu_i(\xi(T_i)), \eta_2(k_i)], i = \overline{1, n-1}.$$

Тогда множество T_j лингвистических значений признака считается оптимальным множеством, если

$$\theta_j = \max_{1 \leq i \leq n-1} \theta_i.$$

Рассмотрим свойство программных средств, которое называется «завершенность» и характеризует степень обладания этими средствами всеми необходимыми частями и чертами, требующимися для выполнения своих явных и неявных функций. Для определения оптимального множества лингвистической шкалы, используемой при оценивании завершенности программных средств, были привлечены пять экспертов, которые сформировали три множества значений этой шкалы:

1) «незавершенность», «частичная завершенность», «завершенность»;

2) «незавершенность», «частичная завершенность», «завершенность в основном», «завершенность»;

3) «незавершенность», «частичная завершенность», «завершенность в основном», «практическая завершенность», «завершенность».

Оценивая завершенность программных средств в рамках лингвистической шкалы «незавершенность», «частичная завершенность», «завершенность в основном», «завершенность», эксперты получили результаты, занесенные в табл. 1.

В табл. 2 представлены относительные результаты оценивания пятью экспертами завершенности программных средств.

Т а б л и ц а 1

Результаты оценивания экспертами завершенности программных средств

| Номер эксперимента | «Незавершенность» | «Частичная завершенность» | «Завершенность в основном» | «Завершенность» |
|--------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| 1 | 4 | 10 | 8 | 3 |
| 2 | 3 | 12 | 8 | 2 |
| 3 | 3 | 10 | 8 | 4 |
| 4 | 4 | 9 | 9 | 3 |
| 5 | 3 | 7 | 10 | 5 |

Относительные результаты оценивания экспертами завершенности программных средств

| Номер эксперимента | «Незавершенность» | «Частичная завершенность» | «Завершенность в основном» | «Завершенность» |
|--------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| 1 | 0,16 | 0,4 | 0,32 | 0,12 |
| 2 | 0,12 | 0,48 | 0,32 | 0,08 |
| 3 | 0,12 | 0,4 | 0,32 | 0,16 |
| 4 | 0,16 | 0,36 | 0,36 | 0,12 |
| 5 | 0,12 | 0,28 | 0,4 | 0,2 |

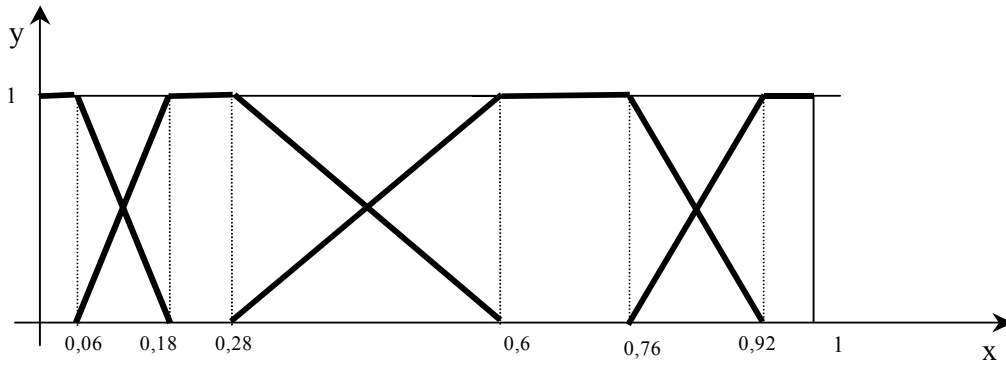


Рис. 1. Функции принадлежности термов модели первого эксперта

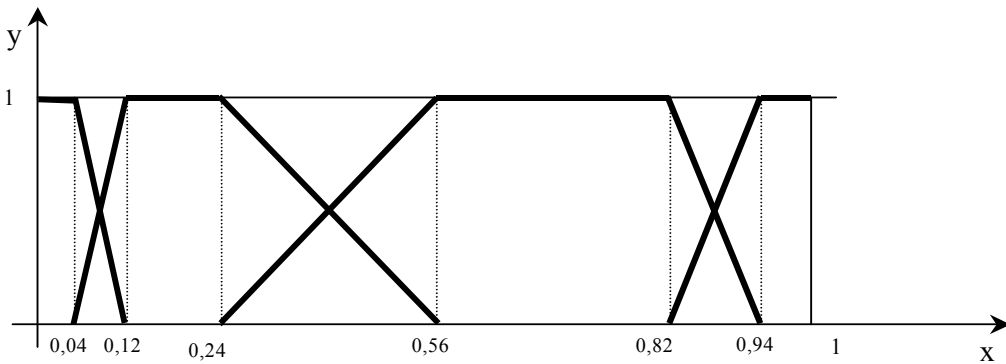


Рис. 2. Функции принадлежности термов модели второго эксперта

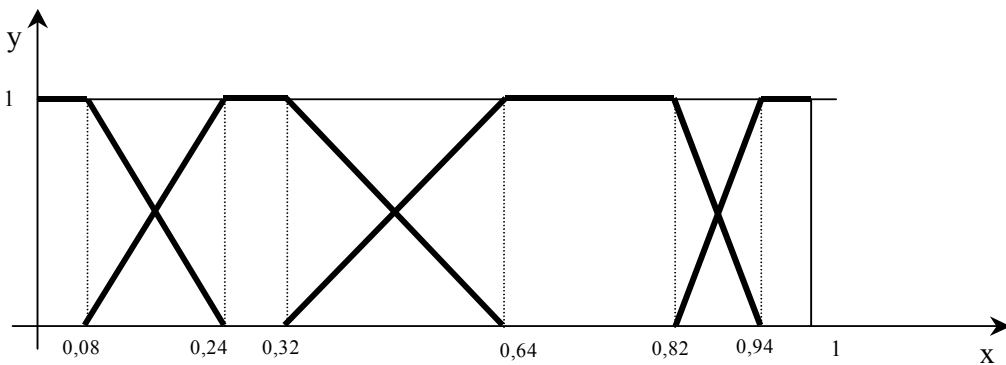


Рис. 3. Функции принадлежности термов модели третьего эксперта

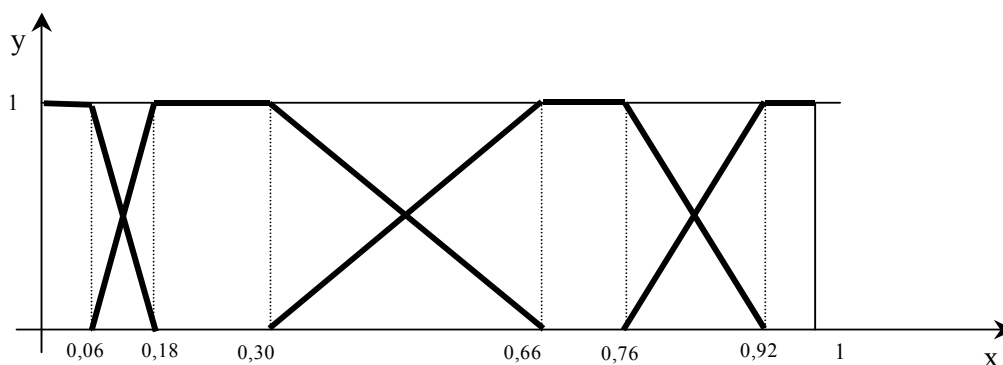


Рис. 4. Функции принадлежности термов модели четвертого эксперта

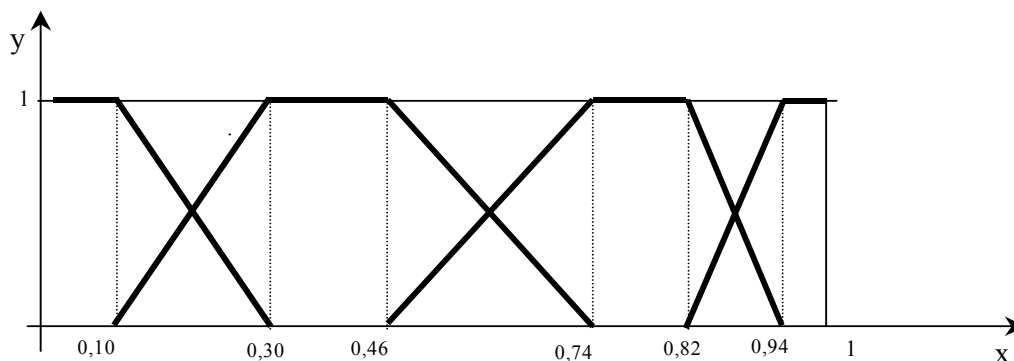


Рис. 5. Функции принадлежности термов модели пятого эксперта

На основании метода [5] и данных табл. 2 получены функции принадлежности термножеств пяти ПОСП – моделей экспертного оценивания завершенности программных средств, графики которых изображены на рис. 1 – 5.

Так как аддитивный показатель [4] κ общей согласованности моделей равен 0,705, а мультипликативный показатель $\tilde{\kappa}$ общей согласованности равен 0,695, то можно сделать вывод, что модели достаточно согласованны.

Используя метод [3], построим обобщенную модель X^1 экспертного оценивания завершенности программных средств, которая сохраняет максимум информации, полученной от всех экспертов. Получаем:

$$\begin{aligned} f_1^1(x) &\equiv (0; 0,067; 0; 0,137); \\ f_2^1(x) &\equiv (0,204; 0,312; 0,137; 0,337); \\ f_3^1(x) &\equiv (0,649; 0,745; 0,337; 0,170), \\ f_4^1(x) &\equiv (0,915; 1; 0,170; 0). \end{aligned}$$

Степень нечеткости построенной модели равна 0,322.

Проведенные исследования в рамках шкалы «незавершенность», «частичная завершенность», «завершенность» позволили

получить обобщенную модель X^2 с функциями принадлежности:

$$\begin{aligned} f_1^2(x) &\equiv (0; 0,060; 0; 0,261); \\ f_2^2(x) &\equiv (0,321; 0,378; 0,261; 0,432); \\ f_3^2(x) &\equiv (0,810; 1; 0,432; 0). \end{aligned}$$

Аддитивный показатель κ общей согласованности моделей экспертов равен 0,594, мультипликативный показатель $\tilde{\kappa}$ равен 0,563, степень нечеткости модели X^2 равна 0,347.

При использовании шкал «завершенность», «частичная завершенность», «завершенность в основном», «практическая завершенность», «завершенность» была получена обобщенная модель X^3 с функциями принадлежности:

$$\begin{aligned} f_1^3(x) &\equiv (0; 0,061; 0; 0,117); \\ f_2^3(x) &\equiv (0,178; 0,246; 0,117; 0,212); \\ f_3^3(x) &\equiv (0,458; 0,645; 0,212; 0,172); \\ f_4^3(x) &\equiv (0,817; 0,825; 0,172; 0,162); \\ f_5^3(x) &\equiv (0,987; 1; 0,162; 0). \end{aligned}$$

Аддитивный показатель κ общей согласованности моделей экспертов равен 0,604, мультипликативный показатель $\tilde{\kappa}$ ра-

вен 0,582, степень нечеткости модели X^5 равна 0,331. Таким образом, оптимальным множеством лингвистической шкалы для экспертного оценивания завершенности программных средств является множество термов: «завершенность», «частичная завершенность», «завершенность в основном», «завершенность».

Современный рынок программных средств предлагает большое количество продуктов, для оценивания качества которых разрабатываются системы подходящих характеристик. Сложность решения задач оценки качества и выбора программных средств объясняется рядом объективных и субъективных причин, подробно рассмотренных в [6, 7].

Одной из таких причин является использование количественных и качественных характеристик, для измерения которых применяются самые разные шкалы: числовые, порядковые, вербальные и т. д. Причем некоторые характеристики могут быть указаны в виде значений принадлежности к уровням лингвистических (вербальных) шкал.

Другой причиной является противоречивость характеристик качества, приводящая к неоднозначности выбора и делающая неинформативной аддитивную свертку даже сопоставимых между собой показателей.

Рассмотрим следующие характеристики качества программных средств: цена, модифицируемость, изучаемость, завершенность [8, 9, 11].

Модифицируемость – это характеристика программных средств, которая упрощает внесение в него необходимых изменений и доработок и включает в себя характеристики расширяемости, структурированности и модульности.

Изучаемость – это характеристика, которая позволяет минимизировать усилия по изучению и пониманию программ и документации программных средств и включает в себя характеристики информативности, понятности, структурированности и удобочитаемости.

В рамках четырех сформулированных характеристик выбирались программные средства для анализа финансового состояния

предприятия: «Audit Expert» компании «Про-Инвест-ИТ», «ИНЭК-АФСП» компании «ИНЭК» и «1С: АФС» компании «1С».

Для оценивания характеристик использовались шкалы:

- цена – «низкая», «невысокая» «высокая»;
- модифицируемость – «низкая», «средняя», «высокая»;
- изучаемость – «низкая», «средняя», «высокая»;
- завершенность – «незавершенность», «частичная завершенность», «завершенность в основном», «завершенность».

Изучив состояние цены программных средств для анализа финансового состояния предприятия, построили ПОСП с функциями принадлежности термов:

$$\mu_1^1(x) \equiv (2\ 000; 2\ 500; 0; 500);$$

$$\mu_2^1(x) \equiv (3\ 000; 3\ 500; 500; 500);$$

$$\mu_3^1(x) \equiv (4\ 000; 5\ 000; 500; 0).$$

Обозначим функции принадлежности термов ПОСП «модифицируемость» соответственно через $\mu_1^2(x), \mu_2^2(x), \mu_3^2$, термов «изучаемость» соответственно через $\mu_1^3(x), \mu_2^3(x), \mu_3^3$, а термов «завершенность» соответственно через $\mu_1^4(x), \mu_2^4(x), \mu_3^4(x), \mu_4^4(x)$.

Обсуждение с потребителем дало следующие результаты: если «цена низкая, и модифицируемость высокая, и изучаемость высокая, и завершенность», или «цена низкая, и модифицируемость высокая, и изучаемость высокая, и завершенность в основном», или «цена низкая, и модифицируемость средняя, и изучаемость высокая и завершенность», или «цена низкая, и модифицируемость высокая, и изучаемость средняя, и завершенность», или «цена невысокая, и модифицируемость высокая, и изучаемость высокая, и завершенность», или «цена невысокая, и модифицируемость высокая, и изучаемость высокая, и завершенность в основном», или «цена невысокая, и модифицируемость высокая, и изучаемость средняя, и завершенность», или «цена невысокая, и модифицируемость средняя, и изучаемость высокая, и завершенность», то программное средство считается подходящим для приобретения.

В сформулированном предпочтении потребителя заложены восемь нечетких правил выбора (вывода). Всего таких правил 108, так как рассматриваются четыре характеристики, у одной из которых четыре лингвистических значения, а у трех остальных по три.

Выходными результатами системы из восьми правил выбора являются степени принадлежности рассматриваемых программных средств к нечеткому множеству «программное средство считается подходящим для приобретения». Союзы «и» и «или» при оперировании с функциями принадлежности термов ПОСП трактуются соответственно операциями «min» и «max».

Эксперты оценили «Audit Expert», «ИНЭК-АФС» и «1С: АФС» и получили результаты:

$$\begin{aligned} \mu_1^1(A) &= 0,68; \mu_2^1(A) = 0,32; \mu_1^1(B) = 0,74; \\ \mu_2^1(B) &= 0,26; \mu_1^1(C) = 0,46; \mu_2^1(C) = 0,54; \\ \mu_2^2(A) &= 0,6; \mu_3^2(A) = 0,4; \mu_2^2(B) = 0,7; \\ \mu_3^2(B) &= 0,3; \mu_2^2(C) = 0,1; \mu_3^2(C) = 0,9; \\ \mu_2^3(A) &= 0,4; \mu_3^3(A) = 0,6; \mu_2^3(B) = 0,1; \\ \mu_3^3(B) &= 0,9; \mu_2^3(C) = 0,3; \mu_3^3(C) = 0,7; \\ \mu_3^4(A) &= 0,3; \mu_4^4(A) = 0,7; \mu_3^4(B) = 0,2; \\ \mu_4^4(A) &= 0,8; \mu_3^4(C) = 0,2; \mu_4^4(C) = 0,8. \end{aligned}$$

Программные средства «Audit Expert», «ИНЭК-АФС» и «1С: АФС» были обозначены соответственно через «А», «В» и «С».

Для определения значений принадлежности «А», «В», «С» к нечеткому множеству «подходящее для приобретения программное средство» с функцией принадлежности $\mu(x)$ применим следующее правило [9]:

$$\mu(x) = \max \left[\begin{array}{l} \min(\mu_1^1(x), \mu_3^2(x), \mu_3^3(x), \mu_4^4(x)) \\ \min(\mu_1^1(x), \mu_3^2(x), \mu_3^3(x), \mu_2^4(x)) \\ \min(\mu_1^1(x), \mu_3^2(x), \mu_2^3(x), \mu_4^4(x)) \\ \min(\mu_1^1(x), \mu_2^2(x), \mu_3^3(x), \mu_4^4(x)) \\ \min(\mu_2^2(x), \mu_3^2(x), \mu_3^3(x), \mu_4^4(x)) \\ \min(\mu_2^2(x), \mu_3^2(x), \mu_3^3(x), \mu_2^4(x)) \\ \min(\mu_2^2(x), \mu_2^2(x), \mu_3^3(x), \mu_4^4(x)) \end{array} \right].$$

Вычисления дают следующие результаты:

$$\mu(A) = 0,6; \mu(B) = 0,7; \mu(C) = 0,54.$$

На основе полученных результатов принимается решение о приобретении программного средства «ИНЭК-АФС».

Таким образом, в статье впервые представлены на конкретных примерах решения задач разработки оптимального множества лингвистических значений шкалы для оценивания характеристики качества программных средств и задачи нечеткого многокритериального выбора программных средств на основе характеристик качества.

Список литературы

1. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 116 с.
2. Домрачев В.Г., Полещук О.М., Ретинская И.В. Определение оптимального множества значений лингвистических шкал для экспертного оценивания качества программных средств // «Телематика – 2003» / Тр. Всероссийской науч.-метод. конф. – Т.1. – СПб., 2003. – С. 255 – 257.
3. Полещук О.М. Построение интегральных моделей в рамках нечеткой экспертной информации // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2003. – № 5(30). – С. 155 – 159.
4. Полещук О.М., Полещук И.А. Нечеткая кластеризация элементов множества полных ортогональных семантических пространств // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2003. – № 1(26). – С. 117 – 127.
5. Полещук О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности термножеств полных ортогональных семантических пространств // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2002. – № 5(25). – С. 198 – 216.
6. Домрачев В.Г., Калинина Э.В., Ретинская И.В. Применение ранговых методов для решения задачи оптимального выбора компьютерных учебных программ на основе экспертной оценки: Тезисы докл. Междунар. конф. «Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе IT+SE97». – Крым, 1997. – С. 155.
7. Общая методика оценки качества программных средств. – М., 1988. – 53 с.
8. Бозм Б., Браун Дж., Каспар Х. и др. Характеристики качества программного обеспечения. – М.: Мир, 1981. – С. 61 – 87.
9. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 312 с.
10. Criteria for Evaluation of Software. ISO TC97/SC7 p 383.
11. Revised version of DP9126 – Criteria of the Evaluation of Software Quality Characteristics. ISO TC97/SC7 p 610. – Part 6.

О БИБЛИОТЕКЕ ПРОГРАММ «FUZZY EXPERT», РАЗРАБОТАННОЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕЧЕТКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.М. ПОЛЕЩУК, доц. каф. высшей математики МГУЛа, канд. физ.-мат. наук

Эффективность использования экспертной информации для решений ряда народно-хозяйственных задач непосредственно зависит от мощности современного аппарата формализации и обработки этой информации, важность совершенствования и развития которого трудно переоценить.

Успешное развитие теории нечетких множеств позволило использовать ее аппарат для воплощения в ЭВМ компоненты опыта эксперта, основанной на знании, и существенно повысить устойчивость моделей, опирающихся на экспертную информацию.

Актуальность развития методов теории нечетких множеств подтверждается созданием в 1995 году Европейской сети высшей квалификации *ERUDIT* по разработке неопределенных методов на основе этой теории для использования в информационных технологиях в рамках Европейской стратегической программы исследований и разработок в информационных технологиях *ESPRIT*.

В настоящее время методы теории нечетких множеств широко используются для разработки экспертных систем, интеллектуальных систем поддержки принятия решений, анализа данных и управления сложными процессами.

Исследования автора статьи, направленные на повышение адекватности нечетких моделей, позволили разработать ряд методов формализации и обработки нечеткой экспертной информации [1–7].

Разработанные методы реализованы в библиотеке программ (в среде *MathLab*) «*Fuzzy Expert*». Часть этой библиотеки представлена в данной статье.

Программы позволяют осуществлять построение моделей экспертного оценива-

ния признаков, сравнивать эти модели между собой, строить кластеры подобных моделей, рейтинговые оценки совокупностей объектов по нескольким качественным признакам и прогнозировать лингвистические значения признаков.

Метод построения модели экспертного оценивания качественного признака – метод построения функций принадлежности термножества семантического пространства – осуществляется на основе входной информации в виде относительных чисел объектов по каждому уровню вербальной шкалы, применяемой для оценивания этого признака. Выходной информацией является совокупность параметров функций принадлежности термов семантического пространства – модели экспертного оценивания признака.

Сравнение моделей, построенных на основе информации из разных источников, осуществляется на основе входной информации в виде совокупности параметров функций принадлежности термов этих моделей – выходной информации первой программы. Выходной информацией являются матрицы попарных показателей сходства и согласованности моделей, а также показатель их общей согласованности.

Матрицы попарных показателей являются входной информацией для программы, осуществляющей нечеткую кластеризацию моделей экспертного оценивания признаков. Выходная информация – матрицы, элементами которых при разных уровнях доверия к результатам обработки являются нули или единицы. Совокупности единиц образуют разбиения матрицы на миноры, соответствующие кластерам.

Рейтинговые оценки совокупностей объектов по ряду качественных признаков

определяются на основе входной информации первой программы по всем совокупностям, по каждой совокупности и весовых коэффициентов признаков.

Нечеткая регрессионная модель строится на основе параметров функций принадлежности входной информации. Коэффициентами модели являются нечеткие числа.

Все методы, реализованные в программах приложения, подробно изложены в литературе, приведенной в конце статьи.

Разработанная библиотека программ, по мнению автора, будет полезной для аспирантов и научных сотрудников, занимающихся исследованиями в областях с активным участием экспертов.

Библиотека программ

```
function [DataPOSP,number_vid,number_term]=pstrprosp(dataprc,parfuzfr)
% Построение ПОСП по относительным частотам
% dataprc - массив входных данных, где i-я строка содержит относительные частоты
% оценок i-го признака
% parfuzfr - необязательный массив параметров размытости границ (по
% умолчанию равен 1)
% DataPOSP - векторы-строки параметров ПОСП по каждому признаку
% number_vid - количество признаков
% number_term - количество лингвистических термов

if nargin==0
    error('Нет входных данных')
elseif nargin==1
    [number_vid number_term]=size(dataprc);
    if sum(dataprc')~=ones(1,number_vid)
        error('Неверные входные данные по процентам')
    end
    parfuzfr=ones(number_vid,number_term-1);
elseif nargin==2
    [number_vid number_term]=size(dataprc);
    if sum(dataprc')~=ones(1,number_vid)
        error('Неверные входные данные по процентам')
    end
    if size(parfuzfr)~=[number_vid,number_term-1]
        error('Неверный параметр размытости границ')
    end
else
    error('Слишком большое число входных параметров')
end
punkt=zeros(number_vid,1);
punkt_s=zeros(number_vid,1);
for j=1:number_term
    punkt_s=punkt_s+dataprc(:,j);
    punkt=[punkt,punkt_s];
end
dataprc_min=[];
datapar=zeros(number_vid,2);
for i=1:number_term-1
    sm_min=min(dataprc(:,i),dataprc(:,i+1));
    dataprc_min=[dataprc_min,sm_min];
    lv=punkt(:,i+1)-0.5*parfuzfr(:,i).*sm_min;
    pr=punkt(:,i+1)+0.5*parfuzfr(:,i).*sm_min;
    datapar=[datapar,lv,pr,lv,pr];
end
datapar=[datapar,ones(number_vid,2)];
```

```

DataPOSP=[];
for i=1:number_vid
    dt=[];
    for j=1:number_term
        ds=[datapar(i,4*j-3),datapar(i,4*j-2),datapar(i,4*j-1), ...
            datapar(i,4*j)];
        dt=[dt;ds];
    end
    DataPOSP=[DataPOSP,dt];
end

function [soglSis,sogl,shodH]=index(parposp)
% Определение показателей сходства и согласованности множества ПОСП
% parposp - матрица параметров множества ПОСП
% soglSis - показатель согласованности системы ПОСП
% sogl - матрица показателей попарной согласованности
% shodH - матрица показателей попарного сходства
[expert term]=size(parposp);
term=term/4;
distH=zeros(expert);
sogl=zeros(expert);
soglSis=0;
for i=1:expert
    for j=1:expert
        for k=1:term
            distH(i,j)=distH(i,j)+quad(@distf,0,1,[],[],parposp(k,(4*i-
3):4*i),parposp(k,(4*j-3):4*j));
            if quad(@maxtrmf,0,1,[],[],parposp(k,(4*i-3):4*i),parposp(k,(4*j-
3):4*j))>0
                sogl(i,j)=sogl(i,j)+quad(@mintrmf,0,1,[],[],parposp(k,(4*i-
3):4*i),parposp(k,(4*j-3):4*j))/quad(@maxtrmf,0,1,[],[],parposp(k,(4*i-
3):4*i),parposp(k,(4*j-3):4*j));
            else
                sogl(i,j)=sogl(i,j)+1;
            end
        end
    end
end
distH=(1/2)*distH;
shodH=1-distH;
sogl=(1/term)*sogl;
for k=1:term
    if quad(@Mmaxtrmf,0,1,[],[],parposp(k,:))>0
        soglSis=soglSis+quad(@Mmintrmf,0,1,[],[],parposp(k,:))/quad(@Mmaxtrmf,0,1,[],[],
parposp(k,:));
    else
        soglSis=soglSis+1;
    end
end
soglSis=(1/term)*soglSis;

function [klast_shod,klast_sogl]=klaster(parposp,alf)
% Кластеризация множества ПОСП по показателям сходства и согласованности
% parposp - параметры функций принадлежности множества ПОСП
% alf - уровень доверия кластеризации
% klast_shod - матрица кластеризации по показателю сходства
% klast_sogl - матрица кластеризации по показателю согласованности

```



```
[expert term]=size(parposp);
term=term/4;
[soglSis,sogl,shodH]=index(parposp);
[shodH_tr,iter_d]=tranz(shodH);
[sogl_tr,iter_s]=tranz(sogl);
klast_shod=shodH_tr;
klast_shod(klast_shod>=alf)=1;
klast_shod(klast_shod<alf)=0;
klast_sogl=sogl_tr;
klast_sogl(klast_sogl>=alf)=1;
klast_sogl(klast_sogl<alf)=0;

function normreijt=rejting(dataparf,datakf,dataves)
% Рейтинговые оценки совокупностей объектов по нескольким признакам
% dataparf - параметры ПОСП признаков в форме записи с "крыльями"
% datakf - относительные числа объектов совокупностей по термам ПОСП
% datavesa - массив весовых коэффициентов признаков
% normreijt - вектор нормированных рейтинговых оценок совокупностей объектов

dimparf=size(dataparf);
dimPOSP=dimparf(1);
colPOSP=dimparf(2)/4;

% Преобразование формы записи параметров ПОСП из записи с "крыльями" в
% последовательную запись

for j=1:colPOSP
    parPOSP(:,4*j-3)=dataparf(:,4*j-3)-dataparf(:,4*j-1);
    parPOSP(:,4*j-2)=dataparf(:,4*j-3);
    parPOSP(:,4*j-1)=dataparf(:,4*j-2);
    parPOSP(:,4*j)=dataparf(:,4*j-2)+dataparf(:,4*j);
end

% Определение центров тяжести функций принадлежности термов ПОСП

x=0:0.00001:1;
centr=zeros(dimPOSP,colPOSP);
for i=1:colPOSP
    for j=1:dimPOSP
        mf=trapmf(x,[parPOSP(j,4*i-3),parPOSP(j,4*i-2),parPOSP(j,4*i-1),parPOSP(j,4*i)]);
        centr(j,i)=defuzz(x,mf,'centroid');
    end
end
MAXcentr=max(centr);
MINcentr=min(centr);
dimves=size(dataves);
dimkf=size(datakf);
colvarkf=dimkf(2);
if dimkf(1)~=dimPOSP
    error('Не совпадает размерности коэффициентов и ПОСП');
end
if dimves(2)~=colvarkf
    error('Не совпадает количество весовых коэффициентов');
end
Reijt=[];
vzvlincombPOSP=[];
```

```

for n=1:colvarkf
    for i=1:dimkf(1)
        multPOSP(i,:) = datakf(i,n)*parPOSP(i,:);
    end
    lincombPOSP=sum(multPOSP);
    vzv=dataves(n)*lincombPOSP;
vzvlincombPOSP=[vzvlincombPOSP;vzv];
end
VzV=sum(vzvlincombPOSP);
for m=1:colPOSP
    mf=trapmf(x,[VzV(4*m-3),VzV(4*m-2),VzV(4*m-1),VzV(4*m)]);
    lincombcentr(m)=defuzz(x,mf,'centroid');

end
Reijt=lincombcentr;
normreijt=(Reijt-MINcentr)/(MAXcentr-MINcentr);

function [kf_const,kf_fuzzy]=lnregr(trminp, trmout, bal)
% Нахождение коэффициентов нечеткой регрессионной модели
% trminp - матрица параметров ПОСП входных данных
% trmout - матрица параметров ПОСП выходных данных
% bal - матрица входных и выходных баллов
% kf_const - коэффициенты регрессионной модели с четкими коэффициентами
% kf_fuzzy - коэффициенты регрессионной модели с нечеткими коэффициентами

[DataInp,DataOut,dim_inp,dim_out,volum_stat]=Data_fuz(trminp, trmout, bal);
par=ones(2,dim_inp);
size_inp=size(DataInp);
size_out=size(DataOut);
if ~isequal(size_inp(1),size_out(1))
    error('Warning!Data dimention not valid!')
else
% Получение взвешенных отрезков
[Inp_int,str_int,col_int]=vzv_trm(DataInp);
[Out_int,str_out,col_out]=vzv_trm(DataOut);
end
% Формирование параметров
[vectOut1,dim_vectOut]=vectOut(Out_int);
[matrInp,dim_matrInp]=MatrInp(Inp_int);
% Модель с четкими коэффициентами
[x,resnorm,residual,exitflag,output,lambda]= lsqnonneg(matrInp,vectOut1);
Model=matrInp*x;
[stOtklNubl,Korr,StError]=statKf(Out_int,Model,dim_inp);
[matr_inp,dim_matrInp]=MatrInpAll(DataInp,par);
% Модель с нечеткими коэффициентами
[x1,resnorm1,residual1,exitflag1,output1,lambda1]= lsqnonneg(matr_inp,vectOut1);
Modell1=matr_inp*x1;
[stOtklNubl1,Korr1,StError1]=statKf(Out_int,Modell1,dim_inp);
ref=reform(Model);
ref1=reform(Modell1);
kf_const=x;
kf_fuzzy=x1;

function
[DataInp,DataOut,dim_inp,dim_out,volum_stat]=Data_fuz(trminp, trmout, bal)
if nargin==0
    error('Нет входных данных')
else
    s_inp=size(trminp);

```

```

s_out=size(trmout);
s_bal=size(bal);
if ~isequal(s_inp(1),s_out(1))
    error('Warning!ERROR1');
elseif ~isequal((s_inp(2)+s_out(2))/4,s_bal(2))
    error('Warning!ERROR2')
else
    pr=[trminp, trmout];
    Data=[];
    for i=1:s_bal(1)
        TM=[];
        for j=1:s_bal(2)
            K=bal(i,j)-1;
            TM=[TM,pr(K,(4*j-3):(4*j))];
        end
        Data=[Data;TM];
    end
    end
    dim_inp=s_inp(2)/4;
    dim_out=s_out(2)/4;
    DataInp=Data(:,1:4*dim_inp);
    DataOut=Data(:,4*(dim_inp)+1:4*(dim_inp+dim_out));
    volum_stat=s_bal(1);
end

```

```

function [tr_m,iter]=tranz(A)
% Транзитивное замыкание матрицы A
% tr_m - матрица транзитивного замыкания, iter - количество итераций
dim=size(A);
prizn=0;
if dim(1)==dim(2)
    c=A;
    iter=1;
    tr_m=A;
    while prizn==0
        if fuz_mult(c,A)==c;
            % tr_m=c;
            prizn=1;
        else
            c=fuz_mult(c,A);
            iter=iter+1;
            tr_m=max(tr_m,c);
        end
    end
end
else
end

```

```

function y=cheng(A)
% Преобразование параметров нечеткого множества из последовательной записи
% в запись с крыльями
dimA=size(A);
M=dimA(2)/4;
for i=1:M
    b(:,4*i-3)=A(:,4*i-2);
    b(:,4*i-2)=A(:,4*i-1);
    b(:,4*i-1)=A(:,4*i-2)-A(:,4*i-3);
    b(:,4*i)=A(:,4*i)-A(:,4*i-1);
end
y=b;

```

```

function y=dfuz(A)

dimA=size(A);
if dimA(2)~=4
    error('Размерность входного вектора не равна четырем');
end
b(1)=A(1)-A(3);
b(2)=A(1);
b(3)=A(2);
b(4)=A(2)+A(4);
x=0:0.00001:1;
mf=trapmf(x,b);
y=defuzz(x,mf,'centroid');

function r=distf(x,a,b)
r=abs(trapmf(x,a)-trapmf(x,b));

function C=fuz_mult(A,B)
% Минимаксное умножение матриц
dima=size(A);
dimb=size(B);
if dima(2)==dimb(1)
    for i=1:dima(1)
        for j=1:dimb(2)
            si=A(i,:);
            sj=(B(:,j))';
            sm=min([si;sj]);
            s=max(sm);
            C(i,j)=s;
        end
    end
else
    error('Warning!Матрицы несоразмерны')
end

function y=fuzRel(R)
dimR=size(R);
a=R-0.5;
a(a<=0)=0;
a(a>0)=1;
s=abs(a-R);
y=sum(sum(s)');
y=2*y/(dimR(1)*dimR(2));

function r=maxtrmf(x,a,b)
% Определение функции принадлежности объединения двух
% нечетких множеств с трапецеидальными функциями принадлежности
r=max(trapmf(x,a),trapmf(x,b));

function r=minmaxf(x,a,b)
r=min(trapmf(x,a),trapmf(x,b))/max(trapmf(x,a),trapmf(x,b));

function r=mintrmf(x,a,b)
% Определение функции принадлежности пересечения двух нечетких множеств
% с трапецеидальными функциями принадлежности
r=min(trapmf(x,a),trapmf(x,b));

function r=Mmaxtrmf(x,Data)
dim=size(Data);
term=dim(1);

```

```

expert=dim(2);
Mmax=zeros(1);
    for i=1:expert/4
        Mmax=max(trapmf(x,Data((4*i-3):4*i)),Mmax);
    end
r=Mmax;
function r=Mmintrmf(x,Data)
dim=size(Data);
term=dim(1);
expert=dim(2);
Mmin=1;
    for i=1:expert/4
        Mmin=min(trapmf(x,Data((4*i-3):4*i)),Mmin);
    end
r=Mmin;

function y=multx(x,a)
y=x.*trapmf(x,a);

function y=dfuz(A)
dimA=size(A);
if dimA(2)~=4
    error('Размерность входного вектора не равна четырем');
end
b(1)=A(1)-A(3);
b(2)=A(1);
b(3)=A(2);
b(4)=A(2)+A(4);
x=0:0.00001:1;
mf=trapmf(x,b);
y=defuzz(x,mf,'centroid');

function y=fuzRel(R)
dimR=size(R);
a=R-0.5;
a(a<=0)=0;
a(a>0)=1;
s=abs(a-R);
y=sum(sum(s)');
y=2*y/(dimR(1)*dimR(2));

function [matr_inp,dim_matrInp]=MatrInp(A)
dm=size(A);
v=[];
for i=1:dm(1)
    El=[1];
    Ep=[1];
    for j=1:dm(2)/2
        El=[El,A(i,2*j-1)];
        Ep=[Ep,A(i,2*j)];
    end
    v=[v;El;Ep];
end
matr_inp=v;
dim_matrInp=size(v);

function [matr_inp,dim_matrInp]=MatrInpAll(A,par)
dm=size(A);
dm_par=size(par);
if ~isequal(dm(2)/4,dm_par(2))

```

```

    error('Warning!Dimention MatrInpAll not valid')
else
v=[];
for i=1:dm(1)
    Ed=[1,-1/6,0;1,0,1/6];
    for j=1:dm(2)/4
        if par(1,j)==1 & par(2,j)==1
            c=[A(i,4*j-3)-1/6*A(i,4*j-1),1/6*(A(i,4*j-1)-A(i,4*j-3)),0;...
                A(i,4*j-2)+1/6*A(i,4*j),0,1/6*(A(i,4*j)+A(i,4*j-2))];
            else
                end
            Ed=[Ed,c];
        end
    v=[v;Ed];
end
matr_inp=v;
dim_matrInp=size(v);
end

function ref=reform(A)
dm=size(A);
v=[];
for i=1:dm(1)/2
    s=[A(2*i-1),A(2*i)];
    v=[v;s];
end
ref=v;

function [stOtklNubl,Korr,StError]=statKf(Nubl,Model,dim_inp)
dmNubl=size(Nubl);
dmModel=size(Model);
sr=sum(Nubl)/dmNubl(1);
v=[];
vsr=[];
for i=1:dmNubl(1)
    v=[v;Nubl(i,1);Nubl(i,2)];
    vsr=[vsr;sr(1);sr(2)];
end
if ~isequal(size(v),dmModel)
    error('Warning!Dimention statKf not valid')
else
stOtklNubl=sqrt((1/(dmNubl(1)-1))*(norm(v-vsr)^2));
Korr=(norm(Model-vsr)^2)/(norm(v-vsr)^2);
StError=sqrt(1/(dmNubl(1)-dim_inp-1)*norm(Model-v)^2);
end

function stOtklNubl=stOtklNubl(A)
dm=size(A);
sr=sum(A)/dm(1);
v=[];
vsr=[];
for i=1:dm(1)
    v=[v;A(i,1);A(i,2)];
    vsr=[vsr;sr(1);sr(2)];
end
stOtklNubl=(1/(dm(1)-1))*(norm(v-vsr)^2);

function [vect_out,dim_vectOut]=vectOut(A)
dm=size(A);

```

```

if ~isequal(dm(2),2)
    error('Warning!Data dimention vectOut not valid!');
else
    v=[];
    for i=1:dm(1)
        v=[v;A(i,1);A(i,2)];
    end
end
d=size(v);
vect_out=v;
dim_vectOut=d(1);

function [vect_out,dim_vectOut]=vectOutAll(A)
dm=size(A);
if ~isequal(dm(2),2)
    error('Warning!Data dimention vectOut not valid!');
else
    v=[];
    for i=1:dm(1)
        v=[v;A(i,1);A(i,2)];
    end
end
d=size(v);
vect_out=v;
dim_vectOut=d(1);

function [A,str,col]=vzv_trm(trm)
s=size(trm);
str=s(1);
col=s(2)/4;
kf=1/6;
A=[];
for i=1:col
A=[A, trm(:,4*i-3)-kf*trm(:,4*i-1), trm(:,4*i-2)+kf*trm(:,4*i)];
end

```

Список литературы

1. Полещук О.М. Некоторые подходы к моделированию системы управления образовательным процессом // Телекоммуникации и информатизация образования. – 2002. – № 3 (10). – С. 54 – 72.
2. Домрачев В.Г., Полещук О.М. О нечетком кластер-анализе на основе полных ортогональных семантических пространств // Вестник Самарского гос. аэрокосмического ун-та им. С.П. Королева. – 2002. – Вып. 6. – С. 52 – 53.
3. Полещук О.М. Методы представления экспертной информации в виде совокупности термножеств полных ортогональных семантических пространств // Вестник Моск. гос. ун-та леса. – Лесной вестник. – 2002. – № 5(25). – С. 198 – 216.
4. Полещук О.М., Полещук И.А. Нечеткая кластеризация элементов множества полных ортогональных семантических пространств // Вестник Моск. гос. ун-та леса. – Лесной вестник. – 2003. – № 1(26). – С. 117 – 127.
5. Домрачев В.Г., Полещук О.М. О построении регрессионной модели при нечетких исходных данных // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 74 – 83.
6. Полещук О.М. Построение интегральных моделей в рамках нечеткой экспертной информации // Вестник Моск. гос. ун-та леса. – Лесной вестник. – 2003. – № 5(30). – С. 155 – 159.
7. Полещук О.М. Методы предварительной обработки нечеткой экспертной информации на этапе ее формализации // Вестник Моск. гос. ун-та леса. – Лесной вестник. – 2003. – № 5(30). – С. 160 – 167.

В представленном цикле статей коллектив авторов продолжил исследования вопросов анализа систем булевых и k -значных уравнений, описывающих функционирование различных узлов переработки дискретной информации.

Как показывает практика, наибольшее продвижение в этой сложной научной области достигается на пути совместного применения методов различных разделов прикладной математики. Поэтому выделенное направление тесно связано с широким классом смежных математических дисциплин, таких как: теория вероятностей, теория алгоритмов, комбинаторный анализ, исследование операций, теория графов и т.д.

В предыдущем цикле статей, опубликованном в № 1 «Вестника Московского государственного университета леса» за 2003 год, доминирующей идеей явилось применение методов действительной математики при решении дискретных задач. Особое внимание было уделено трансформации исходных задач в задачи пороговой логики.

В настоящем комплексе публикаций мы сохранили эту направленность, прежде всего, в статье Н.В. Анашкиной, в которой дается обзор методов решения систем линейных неравенств.

Использование пороговых соотношений для переоценки вероятностей неизвестных в системе k -значных уравнений составило основу статьи В.Б. Нетыкшо.

Применение идей пороговой логики в анализе схемы функционирования системы искусственных нейронов нашло свое отражение в работе В.Г. Домрачева и К.К. Рыбникова.

Сложность изучения систем дискретных уравнений в общем виде приводит к необходимости выделения и анализа структурных подсистем, описывающих преобразования, реализуемые конкретным узлом электронной схемы. Так, в статье В.Г. Никонова и Н.В. Никонова исследуются проблемы совместимости и локальной разрешимости систем уравнений, порожденных одним из простейших устройств – регистром

сдвига. Этот же узел оказался в центре внимания статьи А.В. Саранцева, так как именно на основе его изучения автору удалось построить новый класс биективных отображений.

Исследованию другого широко используемого типа схем переработки информации – вычислительной среды калькулятора – посвящена статья П.В. Ролдугина, в которой изучаются алгебраические представления основных логических функций в полиномиальном виде.

Кроме того, в продолжение тематики предыдущего цикла работ П.В. Ролдугиным подготовлена статья, развивающая теорию гамилтоновых графов. Здесь имеются их множественные применения при анализе дискретных устройств и порождаемых ими систем уравнений.

В работе С.Ю. Мельникова развивается геометрический подход к классификации автоматов с псевдослучайным входом.

Авторов статей, предложенных Вашему вниманию, объединяет многолетнее научное сотрудничество, совместное участие в работе семинаров и конференций. Это сотрудничество к настоящему времени практически привело к появлению нового межвузовского семинара, во многом обязанного своему появлению инициативе творческого коллектива преподавателей Московского государственного университета леса: профессорам В.Г. Домрачеву, А.Д. Марковскому, доцентам К.К. Рыбникову и О.М. Полещук.

Всех читателей, которых заинтересовали статьи данного цикла, мы приглашаем к сотрудничеству и обмену мнениями по данной проблематике.

(С предложениями можно обращаться к координатору работы коллектива доценту К.К. Рыбникову на кафедру высшей математики МГУ леса).

Авторы благодарят редакционную коллегию и координационный совет журнала за предоставленную возможность познакомить специалистов с результатами своих исследований.



Действительный член РАЕН,
доктор технических наук В.Г. Никонов

О ПРОБЛЕМАХ ЛОКАЛЬНОЙ РАЗРЕШИМОСТИ И СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ К-ЗНАЧНЫХ УРАВНЕНИЙ СДВИГОВОГО ТИПА*

В.Г. НИКОНОВ, действительный член РАН, д-р техн. наук,
Н.В. НИКОНОВ, ИКСИ

Построение методов анализа и решения систем нелинейных уравнений сдвигового типа

$$\begin{cases} f^k(x_1, \dots, x_n) = \gamma_1 \\ \vdots \\ f^k(x_N, \dots, x_{N+n-1}) = \gamma_N \end{cases} \quad (1)$$

где $f^k(y_1, \dots, y_n) = f^k(\vec{y})$ – k -значная функция, составляет одну из важных прикладных проблем дискретной математики. Отсутствие универсальных алгоритмов решения систем вида (1) делает актуальным выделение и изучение структурных подсистем, как совместных, позволяющих однозначно находить некоторые неизвестные или локализовывать их значения, так и несовместных.

Важнейшее для данной области исследований определение было введено Сумароковым С.Н. [1]:

Определение 1

Комбинация знаков выходной последовательности

$$\gamma_1, \dots, \gamma_N, \quad (2)$$

при которых система вида (1) – несовместна, называется запретом функции $f^k(\vec{x})$.

Следующее утверждение, доказанное для булевых функций С.Н. Сумароковым [1], распространяется на k -значный случай с сохранением логики доказательства.

Т е о р е м а 1

Функция $f^k(\vec{x})$ не имеет запрета тогда и только тогда, когда она сильно равновероятна.

Из теоремы вытекает очевидное следствие.

Следствие

Если функция $f^k(\vec{x})$ неравновероятна, то она имеет запрет.

Для совместных подсистем, обладающих свойствами локальной разрешимости, введем следующие два определения.

Определение 2

Полузапретом I-го рода называется комбинация знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$, для которой в системе (1) однозначно определяется одно или несколько переменных x_i .

Определение 3

Полузапретом II-го рода называется комбинация знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$, для которой в системе (1) на отдельные переменные x_i налагаются нетривиальные ограничения.

Очевидно, что полузапрет I-го рода является частным случаем полузапрета II-го рода. Для булевых функций полузапреты I-го и II-го рода совпадают.

В комбинации знаков (2), являющейся запретом, некоторые знаки могут оказаться несущественными, то есть их изменение не влияет на факт несовместности системы (1). Очевидно, что данные знаки можно исключить из задания запретной комбинации. Оставшаяся после исключения несущественных знаков комбинация $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ получила название обобщенного запрета [2, 3].

Аналогично определяются обобщенные полузапреты I-го и II-го рода с той лишь разницей, что после исключения несущественных знаков сохраняется условие однозначной разрешимости для полузапрета I-го рода и условие локализации отдельных переменных для полузапрета II-го рода.

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (НШ-2358.2003.9)

Определение 4

Эффективностью обобщенного полузапрета I-го рода $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ назовем параметр

$$e_I = \frac{\nu}{M}, \quad (3)$$

где ν – количество однозначно определенных переменных.

Эффективность полузапрета I-го рода дает оценку среднего числа неизвестных, однозначно определяемых благодаря знанию одного выходного знака полузапретной комбинации.

Характеристика (3) позволяет установить важную связь между понятиями запрета и полузапрета I-го рода.

Теорема 2

Если у k -значной функции $f^k(\bar{y})$ есть обобщенный полузапрет I-го рода $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ с эффективностью $e_I > 1$, то функция $f^k(\bar{y})$ имеет запрет.

Доказательство

♦ Разность между индексами последнего и первого знаков обобщенного полузапрета положим равной $N = i_M - i_1$. Далее, обобщенный полузапрет $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ вложим в обычный с подряд идущими знаками длины N $\gamma_1, \dots, \gamma_N$, где $\gamma_1 = \gamma_{i_1}$, $\gamma_N = \gamma_{i_M}$, произвольным образом расставив знаки в промежутках между фиксированными знаками обобщенного полузапрета. Свободных позиций окажется $N - M$, поэтому существует точно k^{N-M} вариантов правой части в системе уравнений вида (1).

Количество переменных системы равно $N + n - 1$, из них однозначно найденных – ν . Поэтому число η вариантов входных последовательностей равно $\eta = k^{N+n-1-\nu}$.

Предположим, что для каждого варианта правой части система (1) имеет ровно k^{n-1} решений. Тогда общее число ξ решений всех систем (1) равно

$$\xi = k^{N-M} \cdot k^{n-1} = k^{N+n-1-M}.$$

Но ввиду того, что $e = \frac{\nu}{M} > 1$, $\nu > M$,

то есть $\xi > \eta$.

Последнее неравенство означает, что для выполнения условий критерия Сумарокова (см. теорему 1) общее число решений всех систем вида (1) должно строго превышать число вариантов входных последовательностей, что и доказывает теорему. ♦

Проиллюстрируем введенные понятия полузапретов I-го, II-го рода, а также эффективности полузапрета I-го рода и применение теоремы 2 на примерах.

Пример 1

Рассмотрим функцию $f^k(x_1, \dots, x_n)$, для которой выполнены условия

$$f^k(x_1, \dots, x_n) = \alpha \Rightarrow x_{v_1} + x_{v_2} + x_{v_3} \leq k - 1,$$

$$f^k(x_1, \dots, x_n) = \beta \Rightarrow x_{v_1} + x_{v_2} + x_{v_3} \geq 2(k - 1),$$

где $1 \leq v_1 < v_2 < v_3 \leq n$,

$$l_1 = v_2 - v_1,$$

$$l_2 = v_3 - v_2.$$

Для анализа строения запретов и полузапретов будем использовать так называемые диаграммы, отражающие процесс прохождения информации по регистру. В таких диаграммах по горизонтали условимся отмечать ячейки накопителя, а по вертикали сверху вниз – номера тактов работы узла.

Покажем, что комбинация знаков выходной последовательности

$$\beta \underbrace{\alpha}_{l_1} \underbrace{\alpha}_{l_2} \quad (4)$$

(см. диаграмму на рис. 1) является полузапретом II-го рода, определяющим значение c в пределах

$$c \leq \frac{k-1}{2}. \quad (5)$$

Действительно, пусть $c > \frac{k-1}{2}$, тогда из задания функции и (2°), (3°) уравнений $a < \frac{k-1}{2}$, $b < \frac{k-1}{2}$, $a + b < k - 1$. Но последнее неравенство противоречит первому уравнению, для которого $a + b + d \geq 2(k - 1)$, а так как всегда $d \leq k - 1$, то $a + b \geq k - 1$.

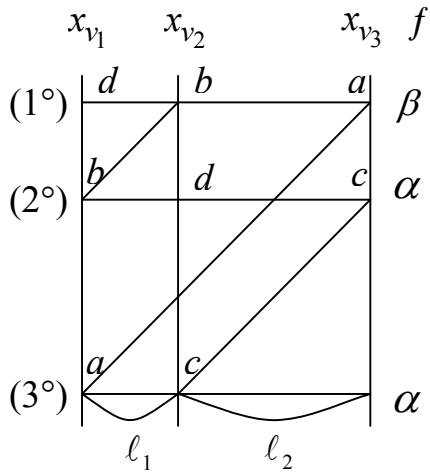


Рис. 1

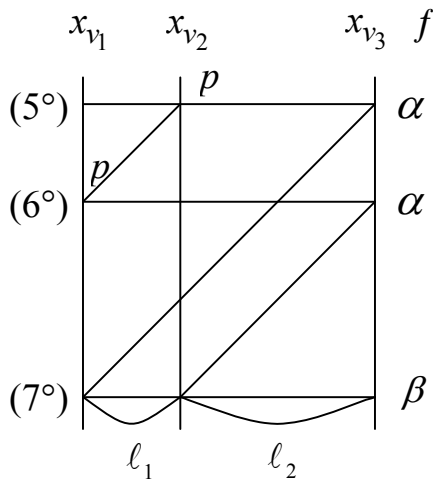


Рис. 2

Следовательно, комбинация знаков (4) – полузапрет II-го рода, локализирующий значение c в пределах (5).

Рассуждая аналогичным образом можно показать, что комбинация знаков

$$\underbrace{\alpha}_{l_1} \underbrace{\alpha}_{l_2} \beta \quad (6)$$

(см. диаграмму на рис. 2) также является полузапретом II-го рода, определяющим значение p в пределах

$$p \leq \frac{k-1}{2}. \quad (7)$$

Используем найденные полузапреты для формирования новой комбинации выходных знаков

$$\beta \underbrace{\alpha}_{l_1} \underbrace{\alpha}_{l_2} \underbrace{\alpha}_{l_1} \underbrace{\beta}_{l_2} \underbrace{\alpha}_{l_1} \underbrace{\alpha}_{l_2} \beta, \quad (8)$$

в которой первые три знака – полузапрет (4), а последние три знака – полузапрет (6) (рис. 3).

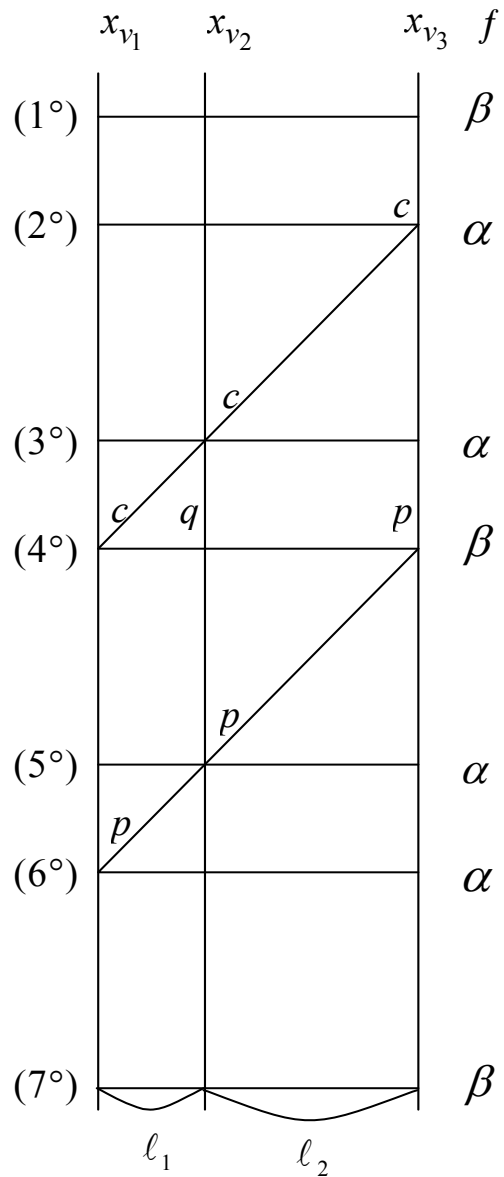


Рис. 3

Из первого полузапрета определяется

$$c \leq \frac{k-1}{2},$$

из второго полузапрета определяется

$$p \leq \frac{k-1}{2}$$

и

$$c + p \leq k - 1 \quad (9)$$

В то же время в уравнении (4) правая часть равна β и, следовательно, $c + q + p \geq 2(k - 1)$, а так как $q \leq k - 1$, то

$$c + p \geq k - 1. \quad (10)$$

В случае четного k неравенства (5), (7) и (9) становятся строгими, $c < \frac{k - 1}{2}$,

$p < \frac{k - 1}{2}$ и $c + p < k - 1$, что противоречит условию (19), то есть (17) – запрет, состоящий из двух полузапретов (строение запрета из двух полузапретов для широкого класса функций и привело к данной терминологии).

В случае нечетного $k = 2m + 1$ условия (9), (10) однозначно разрешимы, при этом $c = p = m, q = 2m$ и более того, можно показать, что все (!) переменные, присутствующие в диаграмме на рис. 3, окажутся найденными однозначно. Таким образом, при нечетном k комбинация знаков (8) окажется полузапретом уже I-го рода, позволяющим однозначно найти 12 входных состояний.

Эффективность такого полузапрета $e = \frac{12}{7} > 1$ удовлетворяет условию теоремы 2, что свидетельствует о наличии запрета у рассматриваемой функции и при четном k . Дополнительные исследования привели к построению такого запрета, состоящего уже не из 7, а из 9 знаков

$$\beta \underbrace{\alpha}_{i_1} \underbrace{\alpha}_{i_2} \underbrace{\alpha}_{i_1} \underbrace{\beta}_{i_2} \underbrace{\alpha}_{i_1} \underbrace{\alpha}_{i_2} \underbrace{\beta}_{i_1} \underbrace{\beta}_{i_2} \alpha.$$

В развитии данной проблематики теоретический и прикладной интерес представляет распространение понятия эффективности на случай полузапрета II-го рода.

Определение 5

Для обобщенного полузапрета II-го рода $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$, порождающего систему из M k -значных уравнений с R неизвестными, имеющую μ решений, эффективностью e_{II} назовем отношение

$$e_{II} = \frac{R - \log_k \mu}{M}. \quad (11)$$

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 формулу (11) приводит к уже известному определению 4 (см. формулу (3))

$$e_{II} = \frac{R - \log_k k^{R-\nu}}{M} = \frac{\nu}{M} = e_I.$$

Обобщающий характер определения 5 подтверждается также справедливостью теоремы 3, из которой теорема 2 вытекает в качестве частного случая.

Т е о р е м а 3

Если у k -значной функции $f^k(\vec{y})$ есть обобщенный полузапрет II-го рода $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ с эффективностью $e_{II} > 1$, то функция $f^k(\vec{y})$ имеет запрет.

Д о к а з а т е л ь с т в о

♦ По аналогии с доказательством теоремы 2, обобщенный полузапрет II-го рода $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ вложим в обычный, с подряд идущими знаками длины N $\gamma_1, \dots, \gamma_N$, где $\gamma_1 = \gamma_{i_1}, \gamma_N = \gamma_{i_M}$, произвольным образом расставив знаки в промежутках между фиксированными знаками обобщенного полузапрета. Всего таких последовательностей окажется k^{N-M} , каждая из которых порождает свою систему уравнений вида (1). Если для всех таких систем окажется справедливым критерий Сумарокова, то вся совокупность рассматриваемых систем будет иметь ровно

$$\xi = k^{N-M} \cdot k^{n-1} = k^{N+n-1-M} \quad (12)$$

решений.

Полузапрет $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ порождает подсистему вида (1) с $N + n - 1$ неизвестными, из них R неизвестных участвуют в уравнениях, порожденных полузапретом $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$. По условию теоремы $e_{II} > 1$, то есть $R - \log_k \mu > M, \log_k \mu < R - M$. Отсюда для числа решений μ подсистемы, порожденной исходным полузапретом, вытекает оценка $\mu < k^{R-M}$. Из общего числа $N + n - 1$ неизвестных системы (1) в полузапрете $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$

участвуют R неизвестных. Поэтому $N+n-1-R$ неизвестных можно задавать произвольно, получая в каждом случае μ решений. Отсюда для общего числа решений всех рассматриваемых систем вытекает оценка

$$\xi = k^{N+n-1-R} \cdot \mu < k^{N+n-1-M} \quad (13)$$

Сопоставляя (12) и (13) обнаруживаем противоречие. Следовательно, существует вариант правой части в системе (1), для которого нарушается критерий Сумарокова и функция имеет запрет. ♦

Теоремы 2 и 3 свидетельствуют об известной аналитической близости полузапретов I-го и II-го рода. В то же время необходимо подчеркнуть, что между этими понятиями обнаруживаются и значимые различия. В частности, покажем, что существуют k -значные функции с полузапретом II-го рода и без полузапрета I-го рода.

Рассмотрим σ – преобразование перестановки знаков логики

$$\sigma = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots & k-1 \\ \sigma_0 & \sigma_1 & \sigma_2 & \dots & \sigma_{k-1} \end{pmatrix},$$

действующее на переменные x_i . Преобразование σ не имеет неподвижных точек, если $\sigma_\alpha \neq \alpha$ для всех значений $\alpha \in \overline{0, k-1}$.

Теорема 4

Функция $f^k(\bar{x})$, удовлетворяющая условию

$$f^k(\sigma(x_1), \sigma(x_2), \dots, \sigma(x_n)) = f^k(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (14)$$

не имеет полузапретов I-го рода, если у преобразования σ нет неподвижных точек.

♦ Предположим противное, пусть комбинация знаков $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ – полузапрет I-го

рода, однозначно определяющий значение некоторой переменной $x_j = \varepsilon_j$. Подействуем на все переменные, поступающие на вход сдвигового регистра, преобразованием σ . Это действие не приведет к изменению знаков выходной последовательности в силу равенства (14). С другой стороны, в этой новой схеме на месте переменной x_j окажется $\sigma(x_i)$, причем $\sigma(x_i) \neq x_j$, что противоречит предположению о том, что $\gamma_{i_1}, \dots, \gamma_{i_M}$ – полузапрет I-го рода.

Доказанная теорема позволяет уже при $k = 4$ построить пример функции, обладающей полузапретом II-го рода и не имеющей полузапрета I-го рода. ♦

Пример 2

Функцию $f^4(x_1, x_2)$ зададим геометрически (рис. 4).

Действие преобразования перестановки знаков логики $\sigma_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 3 & 2 \end{pmatrix}$ на переменные функции не меняет ее значений

$$f^4(\sigma_4(x_1), \sigma_4(x_2)) = f^4(x_1, x_2),$$

поэтому, по теореме 4, функция не имеет полузапрета I-го рода. В то же время легко видеть (рис. 4), что любое уравнение $f^4(x_1, x_2) = \gamma$, $\gamma = 0, 1, 2, 3$, само по себе является полузапретом II-го, локализирующим значения переменных x_1 и x_2 , а именно:

$$f^4(x_1, x_2) = 0 \Rightarrow x_1 \in \{0, 1\}, x_2 \in \{0, 1\};$$

$$f^4(x_1, x_2) = 1 \Rightarrow x_1 \in \{2, 3\}, x_2 \in \{0, 1\};$$

$$f^4(x_1, x_2) = 2 \Rightarrow x_1 \in \{0, 1\}, x_2 \in \{2, 3\};$$

$$f^4(x_1, x_2) = 3 \Rightarrow x_1 \in \{2, 3\}, x_2 \in \{2, 3\};$$

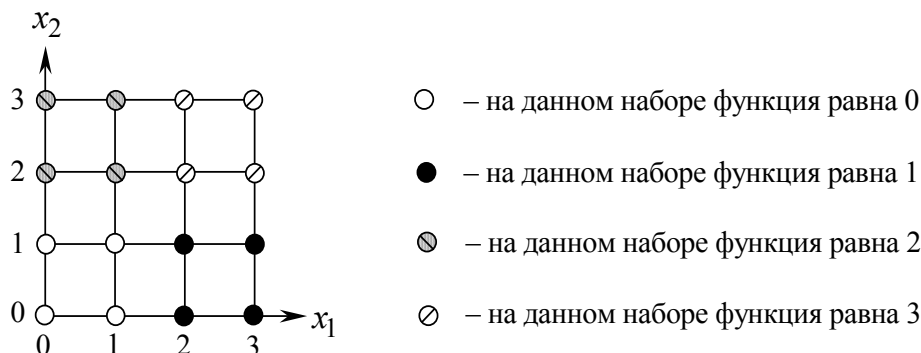


Рис. 4

Список литературы

1. Сумароков С. Н. Запреты двоичных функций и обратимость для одного класса кодирующих устройств // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 1994. – Т 1. – Вып. 1.
 2. Никонов В.Г., Никонов Н.В. Запреты k -значных функций и их связь с проблемой разрешимости

систем уравнений специального вида // Вестник РУДН. Прикладная и компьютерная математика. – 2003. – Т.2. – №1.
 3. Никонов Н.В. Применение полиэдральных методов в анализе систем сдвигового типа // Вестник ИКСИ. Спец. вып., посв. 100-летию акад. А.Н. Колмогорова. – 2003. – С. 151–161.

ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ МНОЖЕСТВА ВХОДНЫХ ВЕЛИЧИН, ФОРМИРУЮЩИХ ОБЛАСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ АКТИВАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО НЕЙРОНА

В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. МГУЛа, д-р техн. наук,*
 К.К. РЫБНИКОВ, *доц. МГУЛа, канд. физ.-мат. наук*

Искусственным или формальным нейроном называется процессор, осуществляющий вычисление взвешенной суммы $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ с весами a_1, a_2, \dots, a_n входных величин x_1, x_2, \dots, x_n :

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n a_i x_i,$$

с последующим сравнением этой суммы с пороговой величиной a_0 .

Взвешенная сумма $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ называется потенциалом искусственного нейрона.

В том случае, если выполняется неравенство

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq a_0, \tag{1}$$

то дальнейшие преобразования определяет функция активации $f(g)$. Выходной сигнал искусственного нейрона определяется значением функции активации, соответствующим его потенциалу.

В том случае, если неравенство (1) не выполняется, выходной сигнал отсутствует.

Интерес к анализу искусственных нейронов и систем, составленных из них как из элементарных функциональных ячеек, обуславливается тем, что принцип их работы сравним с работой одноименных биологических объектов [1].

В настоящей работе авторы предприняли попытку оценить мощность множества

входных векторов (x_1, x_2, \dots, x_n) , обеспечивающих выходной сигнал при условии, что величины x_j ($j = 1, 2, \dots, n$) принимают значения 0 или 1.

Таким образом, неравенство (1) является псевдодобулевым, то есть имеет вид

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \leq a_0, \quad x_j \in \{0, 1\}, \quad (j = 1, 2, \dots, n). \tag{2}$$

Соответственно и рассматриваемая задача состоит в том, чтобы с той или иной степенью точности определить число его решений, если непосредственное получение всех решений перебором $(0, 1)$ – векторов (x_1, x_2, \dots, x_n) практически неосуществимо.

Попытки решения этой задачи с помощью естественных геометрических подходов, основанных на оценках объема части n -мерного единичного куба, отсекаемого плоскостью, соответствующей данному неравенству, не привели к получению достоверных оценок числа решений неравенства (2). Другая идея, базирующаяся на определении расстояния от этой плоскости до центра n -мерного единичного куба, также пока не привела к получению реальных оценок.

Предлагаемый авторами метод позволяет при проведении частичных переборов возможных значений входных величин попутно получать оценки числа решений неравенства (2).

Определение

Минимальным покрытием неравенства (2) называется множество C , являющееся подмножеством множества натуральных чисел $\{1, 2, \dots, n\}$, такое, что:

$$\sum_{j \in C} |a_j| > a_0 - \sum_{j=1}^n \min(0, a_j), \quad (3)$$

причем для любого его подмножества C' ($C' \subset C$, $C' \neq C$) свойство (3) не выполняется.

Определение

Резольвентой неравенства (2) называется булева функция $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, такая, что множество решений булевого уравнения $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ совпадает с множеством решений неравенства (2).

Основой предлагаемого метода является следующая лемма, доказанная в 1968 году Хаммером [2].

Л е м м а

Резольвента неравенства (2) имеет вид

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{C \in L} \prod_{j \in C} x_j^{\alpha_j}, \quad (4)$$

где $\alpha_j = 1$ при $a_j \geq 0$,

$\alpha_j = 0$ при $a_j < 0$,

а L – множество всех минимальных покрытий неравенства (2).

Непосредственно из леммы следует ряд простых результатов.

Следствие 1. Если существует такое натуральное число j , что индекс j не принадлежит ни одному минимальному покрытию неравенства (2), то есть $\exists j: j \notin C \quad \forall C (C \in L)$, то неравенство (2) выполняется и при $x_j = 0$ и при $x_j = 1$, то есть множество решений неравенства (2) имеет вид:

$$\{(x'_1, \dots, x'_{j-1}, x, x'_{j+1}, \dots, x'_n)\}, \quad x \in \{0, 1\},$$

где $\{(x'_1, \dots, x'_{j-1}, x, x'_{j+1}, \dots, x'_n)\}$ – множество решений псевдобулевого неравенства

$$\sum_{i=1}^{j-1} a_i x_i + \sum_{i=j+1}^n a_i x_i \leq a_0.$$

Следствие 2. Любому элементу резольвенты (4) вида $\prod_{j \in C} x_j^{\alpha_j}$ можно поставить в соответствие в точности $2^{n-|C|}$ векторов (x'_1, \dots, x'_n) , таких, что $\prod_{j \in C} x_j^{\alpha_j} = 1$.

Д о к а з а т е л ь с т в о

Условию $\prod_{j \in C} x_j^{\alpha_j} = 0$ не удовлетворяют

те, и только те векторы (x'_1, \dots, x'_n) , для которых $x'_j = \alpha_j$,

где $j \in C$, то есть $|C|$ переменных фиксированы, а остальные $n - |C|$ переменных могут принимать значения 0 или 1.

Ясно, что таких векторов всего $2^{n-|C|}$.

В дальнейшем будем полагать без ограничения общности, что условие следствия 1 не выполняется, то есть $\forall j (j \in \{1, 2, \dots, n\}) \exists C (C \in L): j \in C$.

Из следствия 2 и формулы включения-исключения следует формула определения N решений псевдобулевого неравенства (2).

Т е о р е м а

Пусть $L = \{C_1, \dots, C_t\}$ – множество минимальных покрытий неравенства (2). Тогда это неравенство имеет

$$N = 2^n + \sum_{i=1}^t (-1)^i \sum_{1 \leq j_1, \dots, j_i \leq t} 2^{n-|C_{j_1} \cup \dots \cup C_{j_i}|} \quad (5)$$

псевдобулевых решений.

Рассмотрев сумму (5), заметим, что модуль каждого из ее слагаемых меньше предыдущего. Нетрудно видеть, что последовательно определяя величины

$$\sum_{1 \leq j_1, \dots, j_i \leq t} 2^{n-|C_{j_1} \cup \dots \cup C_{j_i}|}, \quad (6)$$

мы получаем последовательность оценок, сходящихся к точному значению числа решений неравенства (2).

Приведем простые примеры непосредственного использования формулы (5) и построения последовательности вида (6).

Пример 1

Определим число решений псевдобулевого неравенства

$$x_1 - x_2 + 3x_3 - x_4 \leq 2. \quad (7)$$

Соответствующая резольвента этого неравенства имеет вид

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee x_1 x_3 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4,$$

а множество решений псевдобулевого неравенства (7) совпадает с множеством решений булевого уравнения $f(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0$.

Число решений неравенства (7) определим по формуле (5):

$$N = 2^4 - 3 \cdot 2 + 3 \cdot 2^0 - 1 \cdot 2^0 = 12,$$

что подтверждается непосредственной проверкой.

Заметим теперь, что предложенный метод может быть, вообще говоря, распространен на случай решения задачи оценки числа решений системы псевдоболевых неравенств. Для этого достаточно построить резольвенту системы как дизъюнкцию резольвент всех неравенств системы, предварительно рассмотрев объединение всех систем минимальных покрытий неравенств.

Пример 2.

Определим число решений системы псевдоболевых неравенств

$$\begin{cases} 4x_1 - 2x_2 + x_4 - x_6 + x_7 \leq 4, \\ 3x_2 - 2x_3 - x_5 + x_6 \leq 2. \end{cases}$$

Резольвента системы имеет вид

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) =$$

$$= x_1 \bar{x}_2 x_4 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 x_4 x_7 \vee x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_6 x_7 \vee x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_5 \vee x_2 \bar{x}_3 x_6.$$

Воспользуемся формулой (5) и построим последовательность оценок вида (6).

При $i = 0$ получаем $0 \leq N \leq 128$.

При $i = 1$ член последовательности вида (6) равен 56 и соответственно имеем оценки $72 \leq N \leq 128$.

При $i = 2$ член последовательности (6) равен 36 и $72 \leq N \leq 108$.

При $i = 3$ член последовательности (6) равен 18 и $90 \leq N \leq 108$.

При $i = 4$ член последовательности (6) равен 6 и $90 \leq N \leq 96$.

Наконец, при $i = 5$ получаем, что член последовательности (6) равен 1 и $N = 95$.

Можно заметить, что в процессе построения последовательности вида (6) мы уже на первых этапах подсчета получили оценки числа решений системы. На основании этого можно предложить и некоторые модификации описанного выше метода:

– можно давать общие оценки числа решений системы, вычисляя лишь элементы суммы (5) при малых значениях i ;

– можно оценивать число решений каждого неравенства системы с целью отбрасывания наименее информативных, то есть тех, которым удовлетворяет большое число вершин n -мерного единичного куба.

Список литературы

1. У. Мак-Каллак, У. Питтс. Логические исчисления идей, имманентных нервной активности // Нейрокомпьютер. –1992. – №3,4. – С. 40–53.
2. Hammer P.L., Boolean Elements in Combinatorial Optimization // “Combinatorial Programming: Methods and Applications”. Dordrecht-Boston, 1968.

ОБЗОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ НЕРАВЕНСТВ

Н.В. АНАШКИНА, *сопр. объединения «ТВП», канд. техн. наук*

В процессе решения различных практических задач возникает потребность в решении систем линейных ограничений вида

$$Ax \leq b, \tag{1}$$

где A – матрица размера $m \times n$;

x – вектор неизвестных длины n ;

b – вектор длины m .

После того, как будет построена система линейных ограничений, необходимо выбрать алгоритм ее решения. Для этого надо проанализировать существующий мате-

матический аппарат решения систем линейных неравенств. В данной статье содержится обзор наиболее известных алгоритмов решения систем линейных ограничений. Важно отметить, что все системы линейных неравенств можно разбить на два класса, принципиально отличающихся областью принадлежности координат вектора неизвестных x . К первому классу принадлежат системы в действительной области ($x_i \in R^n$). Эти системы широко известны в прикладных алго-

ритмах линейного программирования, используемых в оптимизационных задачах экономики [5]. Ко второму классу относятся системы неравенств с целочисленными, в том числе и булевыми неизвестными ($x_i \in \{0, \dots, k-1\}$ и $x_i \in \{0, 1\}$). К ним сводятся задачи анализа систем нелинейных k -значных и булевых уравнений [1].

Особое место при анализе и сравнении алгоритмов занимает исследование их трудоемкостей. К сожалению, не все известные и широко применяемые на практике методы имеют такие оценки. В действительной области существует класс алгоритмов, полиномиальных относительно длины входной информации [14]. В дискретной области для алгоритмов типа Балаша имеются результаты по оценкам среднего числа итераций алгоритма [3] при ограничениях на структуру системы неравенств.

В силу исторических причин и специфики практического использования в прикладных задачах наиболее развитым является аппарат решений систем неравенств в действительной области [2, 5, 14, 15, 16]. По мере возникновения потребности в нахождении целочисленных решений, наряду с разработкой специальных алгоритмов, известные в действительной области алгоритмы стали адаптировать для нахождения решений в дискретной области [3, 10, 13]. Особо стоит отметить генетические алгоритмы, получившие последнее время широкое распространение [6, 7, 8].

Для дальнейшего описания и анализа методов сформулируем две классические задачи линейного программирования.

Пусть задан некий функционал $J(x)$ на множестве $U = \{x \in R^n : Ax < b\}$.

Основная задача линейного программирования заключается в нахождении минимума функционала $J(x)$ на множестве U . Ее можно записать следующим образом

$$J(x) \xrightarrow{v} \inf; U = \{x \in R^n : Ax < b\} \quad (2)$$

Наряду с задачей (2) можно рассматривать каноническую задачу линейного программирования

$$J(x) \xrightarrow{v} \inf U = \{x \in R^n : Ax = b\} \quad (3)$$

Задачу (2) всегда можно свести к задаче (3) путем введения новых переменных. На практике без особой необходимости такой переход не осуществляют, так как он может привести к увеличению числа неизвестных или числа ограничений.

1. Симплекс-метод и порожденные им алгоритмы

Рассмотрим каноническую задачу линейного программирования (3). Множество U представляет собой выпуклый многогранник. Известно, что если задача (3) имеет решения, то среди них найдется хотя бы одна вершина (их число конечно) множества U [2]. Симплекс-метод был предложен Дж. Данцигом в 1956 году [4]. С его помощью можно осуществлять упорядоченный перебор вершин множества U , в которых значение целевой функции $J(x)$ убывает. В общем случае нет оценки среднего числа шагов алгоритма. На практике число шагов редко превосходит более чем в несколько раз количество неизвестных n и число ограничений m . Для решения задачи (2) разработаны специальные варианты симплекс-метода [2, 4].

Универсальность симплекс-метода состоит и в том, что он позволяет на своей основе строить алгоритмы, которые способны находить целочисленные решения. Одним из них является метод Данцига-Манна, предложенный 1956 году. В задаче (3) (все коэффициенты положительные числа) вводятся дополнительные целочисленные переменные. Многократное применение симплекс-метода и добавление дополнительных ограничений позволяет находить целочисленное решение x . В настоящее время в силу большой трудоемкости он практически не применяется [4, 6].

Однако метод Данцига-Манна нашел свое развитие в работах Гомори, Финкельштейна, Турбина и Рыбникова. Гомори предложил свой способ построения дополнительных ограничений задачи (3), которым удовлетворяют целочисленные решения и не удовлетворяют нецелочисленные. Финкельштейном Б.Б. разработан подход к построе-

нию дополнительных ограничений для задач с булевыми переменными [14]. В.А. Турбин предложил алгоритм, позволяющий модифицировать симплекс-метод для решения задач узкого класса в булевой области [15]. К.К. Рыбниковым был предложен алгоритм нахождения решения двойственной задачи. Ему удалось оценить общую трудоемкость метода [9, 11, 12].

2. Методы минимизации функционалов

Необходимо отметить, что способы сведения задачи решения систем неравенств (1) к задаче минимизации функционала разнообразны. К настоящему времени разработано и исследовано большое число методов минимизации функционалов [2, 5]. Для данных методов в случаях, когда функции выпуклы или сильно выпуклы, существуют оценки числа шагов [2]. При решении целочисленных задач с использованием методов минимизации функционала следует помнить, что найденное решение не обязано быть булевым. Поэтому особое место в исследовании сходимости методов минимизации функционалов в целочисленной области занимает разбиение задач на корректно и некорректно поставленные. Используя метод регуляризации, Рыбникову К.К. удалось показать, что предложенный им метод решения одной из целочисленных задач является устойчивым относительно начальных данных [9, 11, 12].

3. Полиномиальные алгоритмы решения систем линейных неравенств

Изначально идея метода эллипсоидов нахождения приближенного решения принадлежит Шору и состоит в рассмотрении последовательности эллипсоидов убывающего объема. Как развитие этого направления появился ряд методов, полиномиально решающих задачу линейного программирования. В 1979 году Хачияном Л.Г. был решен вопрос о возможности построения алгоритма полиномиального относительно объема входной информации ($n \times m \times q$), где n – число неизвестных;
 m – число ограничений;

q – размерность коэффициентов [15].

Существуют также полиномиальные алгоритмы, предложенные Юдиным, Немировским, Кармаркаром и Ренегаром. Их недостатком при решении целочисленных задач является необходимость дополнительных разработок для нахождения дискретных решений. Кроме того, алгоритмы непосредственно не могут использоваться при решении булевых задач еще и потому, что практически все системы вида (2) и (3) содержат в качестве решения точку $(1/2, \dots, 1/2)$, которую уже на первой итерации алгоритм объявит решением [1].

4. Методы аналитического построения общего решения системы неравенств

Все выше перечисленные методы предназначены для нахождения решения системы линейных ограничений (1) в случае ее совместности и оставляют открытым вопрос о построении общего решения задачи. Черниковой Н.В. [16] впервые была предложена вычислительная схема для нахождения общей формулы неотрицательных решений системы линейных неравенств. Используя псевдообратную матрицу, Грегори и Кришнамурти разработали алгоритм, находящий общее решение задачи (1) [19]. В обоих случаях формулы дают все решения в действительной области, не обеспечивая их целочисленности. Требование целочисленности решений приведет к введению новых ограничений и тем самым к задаче, по сложности не уступающей исходной. В методах, использующих псевдообратные матрицы для нахождения решения, нельзя забывать о влиянии ошибок округления при реализации метода [19].

5. Методы, максимально использующие условия дискретности задачи

Группу этих методов характеризует замена полного перебора решений их частичным перебором. В теоретическом плане следует отметить, что они не нуждаются в специальном доказательстве своей конечности.

Метод Фора и Мальгранжа является чисто эвристическим. Он находит решение

задачи (3) с булевыми переменными [5]. Метод ветвей и границ был предложен в 1960 году в работе Лэнд и Дойг, затем последовали работы Литтла, Мурти, Сунни и Кэрея. В основе метода ветвей и границ лежат некоторые построения, позволяющие в ряде случаев существенно уменьшить объем перебора. Он является эффективным для целочисленных задач со сравнительно небольшим количеством переменных, а также для задач специальной структуры [5].

Метод последовательного анализа вариантов, предложенный Михалевичем В.С. и Шором Н.З. представляет большой интерес с методологической точки зрения [5].

По существу на близких к идеям метода ветвей и границ приемах основан алгоритм Балаша решения задачи (1) с булевыми переменными. Он позволяет осуществлять перебор векторов в соответствии с неким критерием. Процесс продолжается до тех пор, пока не получим решения (возможен перебор всех 2^n векторов) или не попадем в тупиковую ситуацию, когда выбор очередного опробуемого вектора по критерию не возможен [5, 18]. Эмпирические оценки сложности алгоритма полиномиальны. Для частного случая Гришухину В.П. удалось получить асимптотические оценки среднего числа итераций алгоритма Балаша [3]. Юхименко Б.И. и Шкурбой В.В. разработан эффективный алгоритм нахождения оптимального решения в случаях большого разрыва между коэффициентами целевой функции задачи (3) [5, 17].

Существуют приближенные методы решения целочисленных задач линейного программирования. В статьях Пятецкого-Шапиро И.И., Волконского В.А., Левиной Л.В. и Поманского А.М. был предложен итеративный подход, основанный на случайном поиске серии близких к оптимальному решений. Затем рассматриваются всевозможные комбинации полученных решений и среди них – оптимальное [10]. В своей работе [20] Рейтер С.И. и Шерман Дж. изложили метод, основанный на сочетании случайного поиска с локальной оптимизацией. Следует отметить, что алгоритмы, по-

строенные на основании этих методов, оказались достаточно трудоемкими.

В последнее время для решения задачи (1) нашли применение генетические методы. Экспериментально доказана их эффективность для широкого круга задач. Внутренняя логика генетических алгоритмов в наибольшей степени согласована с задачами дискретной математики, прежде всего с булевыми переменными. В этой области в настоящее время проводятся совместные исследования российских и зарубежных ученых. С некоторыми подходами к решению задачи (1) можно ознакомиться в работах [6, 7, 8].

На основании приведенного обзора можно сделать следующие выводы.

1. Нахождение решения системы неравенств даже в действительной области представляет собой довольно сложную задачу. И, возможно, в некоторых случаях симплекс-метод будет иметь трудоемкость меньше, чем алгоритм Хачияна. Это объясняет широкое применение симплекс-метода и для нахождения целочисленных решений.

2. Для нахождения решения в булевой области наибольший интерес представляет алгоритм Балаша, как представитель методов ветвей и границ. Следует отметить, что последнее время активно разрабатываются методы на основе генетических алгоритмов.

Список литературы

1. Балакин Г.В., Никонов В.Г. Методы сведения булевых уравнений к системам пороговых соотношений // Обзорные прикладной и промышленной математики. – 1994. – Т. 1, Вып. 3. – С. 389–401.
2. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. – 519 с.
3. Гришухин В.П. Среднее число итераций в алгоритме Балаша // Численные методы в линейном программировании: Сб. ст. – М.: Наука, 1973. – С. 31–38.
4. Данциг Д. Линейное программирование, его обобщение и применение. – М.: Прогресс, 1966. – 486 с.
5. Кофман А., Анри-Лабурдер А. Методы и модели исследования операций. – М.: Мир, 1977. – 432 с.
6. Кисляков А.В., Никонов В.Г. О применении генетических алгоритмов для решения систем ли-

- нейных неравенств // Тр. школы-семинара «Новые информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе» / По материалам докл. XXVII международн. конф. IT+SE'2000 «New Information technology in Science, Education, Telecommunications and Business» (Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе). – Запорожье, 2000.
7. Коллингвуд Э., Корн Д., Росс П. О трудностях предсказания успешности применения генетических алгоритмов // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 1996. – Т. 3, Вып. 5. – С. 626–636.
 8. Косачевский О.Т., Норенков И.П. Генетические алгоритмы комбинирования эвристик в задачах дискретной оптимизации // Информационные технологии. – 1999. – № 2. – С. 2–7.
 9. Никонов В.Г., Рыбников К.К. Применение полиэдральных методов в прикладных математических задачах, сводящихся к анализу и решению систем линейных неравенств // Науч. тр. / Моск. гос. ун-т леса. – 2003. – № 1(26). – С. 81–85.
 10. Пятецкий -Шшапиро И.И., Волконский В.А., Левина Л.В., Поманский А.М. Об одном итерационном методе решения задач целочисленного программирования // Докл. акад. наук СССР. – 1966. – Т. 169\16\5. – С. 1289–1292.
 11. Рыбников К.К. Методы решения систем булевых уравнений, основанные на погружении множества решений в выпуклый многогранник // Науч. тр. / Моск. гос. ун-т леса. – 1995. – Вып. 269. – С. 88–91.
 12. Рыбников К.К. Оценки сложности некоторых схем метода разделяющих плоскостей при решении систем булевых уравнений // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2002. – Т. 9. – Вып. 2. – С.442–443.
 13. Трубин В.А. О методе решения задач целочисленного линейного программирования специального вида // Докл. Акад. Наук СССР. – 1969. – Т. 189. – Т. 5. – С. 552–554.
 14. Финкельштейн Ю.Ю., Корбут А.А. Дискретное программирование. – М.: Наука, 1969. – 376 с.
 15. Хачиян Л.Г. Сложность задач линейного программирования // Математика и кибернетика. – М.: Наука, 1987. – Вып. 10. – 48 с.
 16. Черников С.Н. Линейные неравенства. – М.: Наука, 1968. – 488 с.
 17. Юхименко Б.И. О некоторых алгоритмах решения задач линейного программирования с булевыми переменными // Кибернетика. – М., 1979. – Т. 5. – С. 141–143.
 18. Balas E. An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables // Operat. Res. – 1965. – v.13. – N 4. – P. 517–546.
 19. Gregiry R.T., Krishnamurthy E.V. Methods and applications of error-free computation. Springer-vorlag t 4. – Berlin Heidelberg Tokyo. – 1986. – 563 p.
 20. Reiter S., Sherman G. Discrete optimizing. J.soc.industr. appl. Math. – 1965. – v.13. – Т 3. – P. 864–889

УПРОЩЕНИЕ ГАМИЛЬТОНОВЫХ ГРАФОВ

П.В. РОЛДУГИН, *сопр. объединения «ТВП», канд. физ.-мат. наук*

Задача поиска простой остовной цепи в графе¹ изучается уже около 150 лет (впоследствии такая цепь получила название гамильтонова цикла). Существует очень много интерпретаций этой задачи: одна из них состоит в следующем. Обед накрыт на круглом столе. Среди гостей некоторые являются друзьями. При каких условиях можно рассадить всех так, чтобы по обе стороны каждого из присутствующих сидели его друзья?

¹ Гамильтоновы циклы рассматриваются и в ориентированных графах и в мультиграфах, однако в данной работе ограничимся рассмотрением только неориентированных графов без петель и параллельных ребер. Кроме того, везде, где не оговорено обратное, речь идет о непомеченных графах.

Во многих прикладных задачах требуется построить гамильтонову цепь, а не цикл. Задачи о гамильтоновом цикле и гамильтоновой цепи эквивалентны в том смысле, что, умея решать одну из них, мы смогли бы решить и другую [1].

Гамильтоновы графы играют важную роль при построении и анализе математических моделей организации и автоматизации производства, способах использования и распределения информационных ресурсов, в электротехнике при проектировании электрических цепей и других прикладных областях. Литература, касающаяся проблематики гамильтоновых циклов, весьма обширна. Вместе с тем следует отметить, что по-

давливающая часть работ изучает гамильтоновы графы (графы, заведомо содержащие простой остовный цикл).

Рассмотрим алгоритмы, проверяющие граф на наличие в нем гамильтонова цикла. Подробный обзор известных алгоритмов и их последних модификаций можно найти в представленной в 1998 году диссертации Вандегринда [8].

Коротко опишем алгоритмы поиска гамильтонова цикла, наиболее часто используемые на практике. Простейшим способом убедиться в наличии или отсутствии гамильтонова цикла в графе является перебор всех $n!$ перестановок вершин. Однако возможно построить алгоритмы, имеющие заметно меньшую по сравнению с $n!$ сложность (хотя и экспоненциальную в худшем случае). Таким алгоритмом является, например, способ Робертса и Флореса [5, 6], использующий принцип «поиска в ширину». Этот способ не предъявляет чрезмерных требований к памяти компьютера, но его трудоемкость зависит экспоненциально от числа вершин в графе практически для любого графа. Другой неявный метод перебора – мультицепной метод (MultiPath algorithm) имеет для большинства типов графов очень небольшой показатель роста времени вычислений в зависимости от числа вершин. Он может быть использован для нахождения гамильтоновых циклов в очень больших графах. Впервые мультицепной метод предложен в работе Селби [7]. Далее мультицепной метод модернизировался много раз: первое развитие метода можно найти в монографии Кристофидеса [2], одна из последних на настоящий момент модернизаций приведена в статье [4]. Также отметим сравнительно новый метод поиска гамильтонова цикла – КТС-алгоритм, построенный Шафелтом и Берлинером [3]. Этот метод перебирает возможные короткие пути в графе и определяет, пользуясь 26 правилами, предложенными авторами, может ли проверяемый путь содержаться в каком-нибудь гамильтоновом цикле. КТС-алгоритм представляется достаточно сложным для реализации, однако сам подход кажется весьма перспективным.

В данной статье предлагается метод упрощения гамильтонова графа, то есть метод, позволяющий от графа G переходить к графу G' меньшего порядка, причем граф G' обладает гамильтоновым циклом тогда и только тогда, когда граф G обладает гамильтоновым циклом. Это дает возможность модифицировать любой алгоритм проверки графа на наличие гамильтонова цикла следующим образом: по графу G строим граф G' , причем трудоемкость этого построения не большая (полиномиальная от порядка графа); затем заданным алгоритмом проверяем граф G' , и полученный ответ (граф обладает гамильтоновым циклом или не обладает) верен также и для графа G . Следует отметить, что такой подход уже использовался [8].

Термины теории графов, используемые в данной статье, можно найти в [1].

1. Упрощение графа

Пусть K_1, \dots, K_r – такая совокупность клик графа G , что каждое ребро графа принадлежит одной из этих клик. В этом случае будем говорить, что объединение указанных клик дает весь граф. Обозначим $R = \{1, 2, \dots, r\}$. Пусть I – подмножество R . Определим подмножество M_I множества вершин графа G следующим образом:

$$M_I = \left(\bigcap_{i \in I} K_i \right) \setminus \left(\bigcup_{j \in R \setminus I} K_j \right).$$

Очевидно, что множества M_I и M_J не пересекаются при различных I и J , $\bigcup_{I \subseteq R} M_I$ исчерпывает все множество вершин графа G и $M_\emptyset = \emptyset$. Далее нам понадобится следующая лемма.

Л е м м а 1

Пусть I – произвольное подмножество в R . Тогда любая вершина a из множества M_I смежна со всеми вершинами максимальных клик K_i , $i \in I$, отличными от a , и только с ними.

Д о к а з а т е л ь с т в о

Пусть для некоторого $i \in I$ вершина b лежит в максимальной клике K_i . Тогда, поскольку по определению множества M_I вершина a обязана, в частности, лежать в клике

K_i , то вершины a и b смежны. Пусть теперь вершина b смежна с вершиной a . Найдется максимальная клика K_i , содержащая ребро (a, b) (возможно, такая клика найдется не одна – возьмем любую из них). В частности, клика K_i будет содержать вершину a , из-за чего $i \in I$. Действительно, если i не принадлежит I , то a принадлежит множеству $\left(\bigcup_{j \in R \setminus I} K_j\right)$ и, следовательно, не может лежать во множестве M_I .

Лемма 1 доказана.

Обозначим $n_I = |M_I|$,

где I – произвольное подмножество в R .

Кроме того, для вершины $a \in V(G)$ через $G \setminus \{a\}$ обозначим граф, получаемый из графа G удалением вершины a и всех инцидентных ей ребер.

Теорема 1

Пусть $I_1 \subsetneq I_2 \subsetneq \dots \subsetneq I_t \subseteq R$ – цепочка вложенных различных подмножеств R , такая,

что $\sum_{i=1}^t n_{I_i} > |I_t|$ и $n_{I_i} \geq 2$. Тогда для любой вершины $a \in M_{I_t}$ граф G гамильтонов тогда и только тогда, когда граф $G \setminus \{a\}$ гамильтонов.

Доказательство

Пусть $\bigcup_{i=1}^t M_{I_i} = \{a_1, \dots, a_m\}$ и $I_i = \{i_1, \dots, i_s\}$.

Поскольку множества M_I и M_J не пересекаются при $I \neq J$, то $\sum_{i=1}^t n_{I_i} = \sum_{i=1}^t |M_{I_i}| = \left| \bigcup_{i=1}^t M_{I_i} \right| = m$ и, следовательно, из условия теоремы следует, что $m > s$. Предположим, что существует гамильтонов цикл в графе G . Без ограничения общности этот цикл имеет вид

$$a_{j_1} \bar{t}_1 a_{j_2} \bar{t}_2 \dots a_{j_m} \bar{t}_m a_{j_1}. \quad (1)$$

Без ограничения общности считаем, что $j_l = 1$, $l = \overline{1, m}$. Тогда гамильтонов цикл (1) примет вид

$$a_1 \bar{t}_1 a_2 \bar{t}_2 \dots a_m \bar{t}_m a_1 \quad (2)$$

Заметим, что поскольку I_1 является подмножеством в каждом из множеств I_2, \dots, I_t , то по лемме 1 любая вершина из множества $\{a_1, \dots, a_m\}$ смежна со всеми вершинами, с которыми смежна вершина $a \in M_{I_1}$. Кроме

того, если некоторая вершина $w \in \{a_1, \dots, a_m\}$ имеет большую степень по сравнению с вершиной $v \in \{a_1, \dots, a_m\}$, то w смежна со всеми вершинами, с которыми смежна вершина v .

Предположим, что хотя бы одна из цепей $\bar{t}_1, \dots, \bar{t}_m$ является пустой, то есть гамильтонов цикл (2) содержит цепь a_i, a_{i+1} . Выберем из пары вершин a_i, a_{i+1} вершину большей степени (если степени равны, то выберем любую из них). Пусть эта вершина a_i . Тогда вершина a_i смежна со всеми вершинами, с которыми смежна a_{i+1} . Заменяя вершину a вершиной a_j и цепь a_i, a_{i+1} цепью из одной вершины a_i , получаем искомым гамильтонов цикл в графе $G \setminus \{a\}$.

Остается рассмотреть случай, когда все цепи \bar{t}_i , $i = \overline{1, m}$ содержат хотя бы по одной вершине. Обозначим для $i = \overline{1, m}$ через b_i последнюю вершину в цепи \bar{t}_i . В этих обозначениях гамильтонов цикл выглядит следующим образом:

$$a_1 \bar{s}_1 b_1 a_2 \bar{s}_2 b_2 \dots a_m \bar{s}_m b_m a_1, \quad (3)$$

причем цепи \bar{s}_i , $i = \overline{1, m}$ могут быть пустыми.

По лемме 1 получаем:

$$\{b_1, \dots, b_m\} \subset K_{i_1} \cup \dots \cup K_{i_s}.$$

Поскольку по условию $m > s$, то найдется пара вершин b_i и b_j , лежащая в одной клике. Следовательно, вершины b_i и b_j соединены ребром в графе G . Проведем доказательство для случая, когда $i < j$; для случая $i > j$ доказательство проводится аналогично. Преобразуем гамильтонов цикл (3) к виду

$$a_1 \bar{s}_1 b_1 \dots a_i \bar{s}_i b_i b_j \bar{s}_j^{-1} a_j b_{j-1} \bar{s}_{j-1}^{-1} a_{j-1} \dots \dots b_{i+1} \bar{s}_{i+1}^{-1} a_{i+1} a_{j+1} \bar{s}_{j+1} b_{j+1} \dots a_m \bar{s}_m b_m a_1. \quad (4)$$

Далее выберем из пары вершин a_{i+1} и a_{j+1} вершину наибольшей степени (обозначим ее v) и, удаляя из подцепи a_{i+1}, a_{j+1} цепи (4) вершину v и заменяя в цепи (4) вершину a вершиной v , получаем гамильтонов цикл в графе $G \setminus \{a\}$.

Теперь докажем обратное утверждение. Предположим, что в графе $G \setminus \{a\}$ есть гамильтонов цикл. Поскольку по условию $n_{I_1} \geq 2$, то в множестве M_{I_1} есть вершина b ,

отличная от a . Эта вершина b присутствует в гамильтоновом цикле графа $G \setminus \{a\}$, то есть этот цикл можно записать в виде $\bar{t}_1 b \bar{t}_2$. Легко видеть, что цикл $\bar{t}_1 b a \bar{t}_2$ является гамильтоновым циклом в графе G .

Теорема 1 доказана.

2. Алгоритм упрощения

Пользуясь теоремой 1, построим алгоритм упрощения графа. Пусть дан произвольный граф G порядка n . Сначала найдем в этом графе совокупность максимальных клик K_1, \dots, K_r , объединение которых дает весь граф. Такая совокупность, вообще говоря, определяется неоднозначно. Приведем здесь один простой метод построения требуемой совокупности.

1. Все ребра в графе не отмечены.

2. Выберем клику K , состоящую из одного неотмеченного ребра.

3. Переберем по очереди все вершины графа, не принадлежащие клике K , проверяя условие: смежна ли опробуемая вершина со всеми вершинами клики K . Если для некоторой вершины a это условие выполнено, то вместо клики K рассмотрим клику $K \cup \{a\}$ и повторим выполнение шага 3.

4. Если никакую вершину на шаге 3 добавить в клику K не удастся, то клика K – максимальная; добавим эту клику в искомую совокупность, отметим на графе все ребра, принадлежащие клике K и вернемся на шаг 2.

5. Если на графе неотмеченных ребер не осталось, то полученная совокупность максимальных клик в объединении дает весь граф (каждое отмеченное ребро лежит хотя бы в одной из найденных максимальных клик).

Трудоемкость этого алгоритма в худшем случае можно оценить величиной $O(n^4)$, где n – порядок графа. То есть представить граф в виде объединения некоторых своих максимальных клик – полиномиальная задача.

Теперь перейдем к упрощению графа, представленного в виде объединения r своих максимальных клик. Для этого зададим число M , $1 \leq M \leq r$, которое будет ограничивать общую трудоемкость метода.

1. Пусть $t = 1$.

2. Переберем все цепочки вложенных подмножеств $I_1 \subsetneq I_2 \subsetneq \dots \subsetneq I_t \subseteq R$, таких, что $|M_{I_t}| \geq 2$. Если для некоторой цепочки $\sum_{i=1}^t n_{I_i} > |I_t|$, то выберем произвольную вершину $a \in M_{I_t}$ и от графа G перейдем к графу $G \setminus \{a\}$, затем продолжим выполнение пункта 2.

3. Увеличим значение t на единицу. Если $t \leq M$, то возвращаемся на пункт 2. Если $t > M$, то алгоритм завершается.

Трудоемкость такого упрощения оценивается сверху как $O(r^{[M]})$, где $r^{[M]} = r(r-1) \dots (r-M)$. Отметим, что $r < n^2$,

где $n = |G|$ (поскольку каждое ребро графа должно лежать хотя бы в одной из клик K_1, \dots, K_r , то в случае $r \geq n^2$ одну из клик можно удалить из совокупности и получить совокупность из меньшего числа клик, которая также в объединении дает весь граф G).

Таким образом, при значении параметра $M \geq 2$ общая трудоемкость упрощения графа оценивается сверху величиной $O(n^{2M})$, то есть при небольших фиксированных значениях M является полиномиальной.

Список литературы

1. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. – М.: Наука, 1990.
2. Кристофидес Н. Теория графов: алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978.
3. Berliner H.J., Shufelt J.A. Generating Hamiltonian circuits without backtracking from errors. Theoretical Computer Science, 132 (1994), pp.347-375.
4. Kocay W. An extension of the multi-path algorithm for finding Hamilton cycles. Discrete Mathematics, 101 (1992), pp.171–188.
5. Roberts S.M., Flores B. An engineering approach to the traveling salesman problem, Man. Sci., 13 (1967), p. 269.
6. Roberts S.M., Flores B. Systematic generation of Hamiltonian circuits, Comm. of ACM, 9 (1966), p. 690.
7. Selby G. R. The use of topological methods in computer-aided circuit layout, Ph. D. Thesis, London University, 1970.
8. Vandegriend B. Finding Hamiltonian cycles: algorithms, graphs and performance. MSc Thesis, University of Alberta, Canada, 1998.

ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ФУНКЦИЙ

П.В. РОЛДУГИН, *сотрудник объединения «ТВП», канд. физ.-мат. наук*

В настоящее время практически все вопросы, связанные с расчетом оптимальных условий организации производства, вычислением экономических показателей или обоснованием эффективности новых технологических методов, решаются с широким привлечением компьютерной техники. В связи с этим необходимо изучать математические проблемы, вытекающие из особенностей функционирования программно-аппаратных комплексов. Например, на вычислительной технике число хранится в виде p -ичного вектора, где p – простое (как правило, $p = 2$), и легко вычисляется покоординатное суммирование таких чисел или суммирование чисел по некоторому модулю p^n . Следовательно, функции, реализуемые такими операциями, образуют класс функций, исследование которого особенно важно из-за многочисленных практических применений. В данной работе изучаются полиномиальные представления функций специального вида из указанного класса и применение этих полиномиальных представлений для вычисления аффинных статистических аналогов, то есть статистических аналогов из класса функций, реализуемого только при помощи покоординатного сложения и констант.

Введем необходимые определения. Пусть $n > 1, p > 0$ – натуральные числа, причем p – простое. Обозначим $Z_p = \overline{0, p-1}$. Суммирование чисел $x, y \in \overline{0, p-1}$ по модулю p обозначим как $x \oplus y$; перемножение чисел $x, y \in \overline{0, p-1}$ по модулю p обозначим как $x y$. Как известно, кольцо (Z_p, \oplus, \cdot) является полем и любая функция $T: Z_p^m \rightarrow Z_p$ может быть реализована полиномом над этим полем. Далее обозначим $A_n = \underbrace{Z_p \times Z_p \times \dots \times Z_p}_{n \text{ раз}}$. Элемент $(x_i^{(1)}, \dots, x_i^{(n)})$ из множества A_n станем

называть вектором длины n и обозначать $\bar{x} = (x_i^{(1)}, \dots, x_i^{(n)}) \in A_n$. На множестве A_n можно ввести две следующие операции: « $\bar{a} \oplus \bar{b}$ » – покоординатное суммирование векторов по модулю p и « $\bar{a} \otimes \bar{b}$ » – суммирование векторов как элементов группы вычетов (Z_p, \oplus) . Все p^n -значные функции, реализуемые формулами над классом функций $\{\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2, \bar{x}_1 \otimes \bar{x}_2\}$ далее станем называть компьютерными функциями. Если компьютерная функция реализуется такой формулой над указанным классом, что в эту формулу входит ровно одна операция $\bar{x}_1 \otimes \bar{x}_2$, то такую функцию назовем простой компьютерной функцией.

1. Полиномиальные представления

Пусть $m > 0$ и зафиксирована функция от m переменных $F: A_n^m \rightarrow A_n$. Обозначим $\bar{x}_i = (x_i^{(1)}, \dots, x_i^{(n)})$, $F = (F^{(1)}, \dots, F^{(n)})$, $F^{(i)}: A_n^m \rightarrow A_1$, $i \in \overline{1, m}$. Функции $F^{(i)}$ называются координатными функциями преобразования F . Полиномиальным представлением преобразования F назовем запись всех ее координатных функций в виде полиномов над полем (Z_p, \oplus, \cdot) . Вообще говоря, для произвольной функции, заданной формулами над каким-то классом функций, выписать ее полиномиальное представление – задача, решаемая с большой трудоемкостью. Однако для некоторых классов функций полиномиальное представление можно найти достаточно легко. Например, для функции $F(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = \bar{x}_1 \otimes \bar{x}_2$ полиномиальное представление находится по следующим рекуррентным формулам:

$$F^{(1)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = x_1^{(1)} \oplus x_2^{(1)},$$

$$F^{(j)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = x_1^{(j)} \oplus x_2^{(j)} \oplus G^{(j)}(x_1^{(1)}, \dots, x_1^{(j-1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_2^{(j-1)}),$$

$$j = \overline{2, n},$$

$$G^{(2)}(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}) = x_1^{(1)} \cdot x_2^{(1)},$$

$$G^{(j)}(x_1^{(1)}, \dots, x_1^{(j-1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_2^{(j-1)}) =$$

$$= G^{(j-1)}(x_1^{(1)}, \dots, x_1^{(j-2)}, x_2^{(1)}, \dots, x_2^{(j-2)}) \times$$

$$\times (x_1^{(j-1)} \oplus x_2^{(j-1)}) \oplus x_1^{(j-1)} \cdot x_2^{(j-1)}, \quad j = \overline{3, n}.$$

Из приведенных формул видно, что координатная функция $F^{(j)}$ преобразования $F(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = \bar{x}_1 \otimes \bar{x}_2$ зависит только от переменных $x_1^{(1)}, \dots, x_1^{(j)}, x_2^{(1)}, \dots, x_2^{(j)}$, причем от переменных $x_1^{(j)}$ и $x_2^{(j)}$ – линейно. Отсюда легко получается следующее утверждение.

У т в е р ж д е н и е 1

Пусть $F: A_n^m \rightarrow A_n$ – простая компьютерная функция. Тогда существует единственный набор чисел $i_1, \dots, i_t \in \overline{1, m}$ (возможно пустой) и набор функций $G^{(1)}, \dots, G^{(n)}$ ($G^{(j)}: A_{j-1}^m \rightarrow A_1, j = \overline{1, n}$), такие, что для любого $j = \overline{1, n}$ верно равенство

$$F^{(j)}(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m) =$$

$$= x_{i_1}^{(j)} \oplus x_{i_2}^{(j)} \oplus \dots \oplus x_{i_t}^{(j)} \oplus G^{(j)} \times$$

$$\times (x_1^{(1)}, \dots, x_1^{(j-1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_2^{(j-1)}, \dots, x_m^{(1)}, \dots, x_m^{(j-1)}). \quad (1)$$

Причем функции $G^{(1)}, \dots, G^{(n)}$ принимают значения только 0 или 1; функция $G^{(1)}$ тождественно равна нулю; если функция F не равна тождественно константе, то функции $G^{(2)}, \dots, G^{(n)}$ также не равны тождественно константе.

Для сложения по модулю

$$F(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = \bar{x}_1 \otimes \bar{x}_2$$

функция $G^{(j)}$ вычисляется из функции $G^{(j-1)}$. Следующее утверждение показывает, что для любой простой компьютерной функции также существует рекуррентная зависимость функции $G^{(j)}$ от функции $G^{(j-1)}$. Обозначим для произвольного $z \in Z_p$ функцию индикатора $I(x=z) = \begin{cases} 1, & x=z \\ 0, & x \neq z \end{cases}$.

У т в е р ж д е н и е 2

Если $F: A_n^m \rightarrow A_n$ – простая компьютерная функция, то существуют две функции

$D_0, D_1: A_m \rightarrow A_1$, такие, что для функций $G^{(j)}$ из разложения (1) при каждом $j \in \overline{2, n}$ верно равенство

$$G^{(j)}(x_1^{(1)}, \dots, x_m^{(j-1)}) =$$

$$= I(G^{(j-1)}(x_1^{(1)}, \dots, x_1^{(j-2)}, \dots, x_m^{(1)}, \dots, x_m^{(j-2)}) = 0) \times$$

$$\times D_0(x_1^{(j-1)}, x_2^{(j-1)}, \dots, x_m^{(j-1)}) \oplus$$

$$\oplus I(G^{(j-1)}(x_1^{(1)}, \dots, x_1^{(j-2)}, \dots, x_m^{(1)}, \dots, x_m^{(j-2)}) = 1) \times$$

$$\times D_1(x_1^{(j-1)}, x_2^{(j-1)}, \dots, x_m^{(j-1)}). \quad (2)$$

Рассмотрим вопрос о нахождении полиномиального представления для простой компьютерной функции F , пользуясь утверждениями 1 и 2. Предположим, что функция F задана таким образом, что вычисление ее значения на произвольном аргументе $(\bar{q}_1, \dots, \bar{q}_m)$ осуществимо с трудоемкостью, не превышающей некоторую константу. Кроме того, станем считать, что трудоемкость вычисления значения $F^{(j)}(\bar{q}_1, \dots, \bar{q}_m)$ равна трудоемкости вычисления значения $F(\bar{q}_1, \dots, \bar{q}_m)$. Кроме того, далее считаем, что функция F не равна тождественно константе.

Представление функции индикатора в виде полинома известно; функция $G^{(1)}$ всегда является нулевой константой; номера $i_1, \dots, i_t \in \overline{1, m}$ переменных, входящих линейно в каждую координатную функцию в разложении (1), можно вычислить, находя значение функции $F^{(1)}$ на векторах вида $(0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$. Таким образом, для вычисления полиномиального представления преобразования F по рекуррентным формулам (1) и (2), необходимо найти полиномы, реализующие функции D_0, D_1 . Для этого сначала найдем значение функции $G^{(2)}: A_m \rightarrow Z_p$ на всех возможных аргументах $(q_1, \dots, q_m) \in A_m$:

$$G^{(2)}(q_1, \dots, q_m) = F^{(2)} \left(\left(q_1, \underbrace{0, \dots, 0}_{n-1} \right), \right.$$

$$\left. \left(q_2, \underbrace{0, \dots, 0}_{n-1} \right), \dots, \left(q_m, \underbrace{0, \dots, 0}_{n-1} \right) \right).$$

Заметим, что, поскольку $G^{(1)} \equiv 0$, то булевы функции $G^{(2)}$ и D_0 совпадают. То есть осталось найти функцию D_1 . Поскольку F – не константа, то по утверждению 1 существует вектор $(q_1, \dots, q_m) \in A_m$ такой, что $G^{(2)}(q_1, \dots, q_m) = 1$.

Тогда

$$G^{(3)}(q_1, w_1, q_2, w_2, \dots, q_m, w_m) = D_1(w_1, \dots, w_m)$$

для любого $(w_1, \dots, w_m) \in A_m$. Значение $G^{(3)}(q_1, w_1, q_2, w_2, \dots, q_m, w_m)$ вычисляется из равенства

$$G^{(3)}(q_1, w_1, q_2, w_2, \dots, q_m, w_m) = F^{(3)}\left(q_1, w_1 \underbrace{0, \dots, 0}_{n-2}, q_2, w_2, \underbrace{0, \dots, 0}_{n-2}, \dots, q_m, w_m, \underbrace{0, \dots, 0}_{n-2}\right).$$

Таким образом, находятся вектора значений для каждой из функций D_0, D_1 . По вектору значений выписываются полиномы, реализующие эти функции. Таким образом, трудоемкость нахождения полиномиального представления функций D_0, D_1 можно оценить сверху величиной $O(p^m)$.

2. Применение полиномиальных представлений для вычисления вероятности аффинных статистических аналогов

Аффинной функцией назовем компьютерную функцию, которая реализуется формулами над классом функций $\{\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2, \bar{c}_1, \bar{c}_2, \dots, \bar{c}_{p^n}\}$,

где $\bar{c}_1, \bar{c}_2, \dots, \bar{c}_{p^n}$ – все различные элементы из множества A_n .

То есть каждая аффинная функция имеет вид

$$L_{\bar{w}}^{j_1, \dots, j_r}(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m) = \bar{x}_{j_1} \oplus \bar{x}_{j_2} \oplus \dots \oplus \bar{x}_{j_r} \oplus \bar{w},$$

$$\bar{w} \in A_n, \{j_1, \dots, j_r\} \subset \overline{1, m}.$$

Вероятность совпадения статаналога $L_{\bar{w}}^{j_1, \dots, j_r}$ с функцией F равна $p^{-mn} \cdot T_{\bar{w}}^{j_1, \dots, j_r}(F)$, где $T_{\bar{w}}^{j_1, \dots, j_r}(F)$ есть число решений уравнения $\bar{w} = \bar{x}_{j_1} \oplus \dots \oplus \bar{x}_{j_r} \oplus F(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m)$.

Если F – простая компьютерная функция, то число $T_{\bar{w}}^{j_1, \dots, j_r}(F)$ можно вычис-

лить, исходя из представления функций $G^{(j)}$ в виде (2). Обозначим для каждого $z, r \in \{0, 1\}$ число аргументов, на которых функция D_z равна r , через $N_z(r)$:

$$N_z(r) = |\{\bar{y} = (y_1, \dots, y_m) : D_z(\bar{y}) = r\}|.$$

У т в е р ж д е н и е 3

Предположим, что F – простая компьютерная функция. Тогда, пользуясь обозначениями выражений (1) и (2) для F , если для функции F и статаналога $L_{\bar{w}}^{j_1, \dots, j_r}$ множества $\{i_1, \dots, i_r\}$ и $\{j_1, \dots, j_r\}$ не совпадают, то $T_{\bar{w}}^{j_1, \dots, j_r}(F) = p^{n(d-1)}$,

где $d = |(\{i_1, \dots, i_r\} \cup \{j_1, \dots, j_r\}) \setminus (\{i_1, \dots, i_r\} \cap \{j_1, \dots, j_r\})|$.

Если указанные множества совпадают, то

$$T_{\bar{w}}^{j_1, \dots, j_r}(F) = p^m \cdot I(w^{(1)} = 0) \cdot \prod_{i=1}^{n-1} (I(w^{(i)} = 0) \times N_0(w^{(i+1)}) + I(w^{(i)} = 1) \cdot N_1(w^{(i+1)})).$$

Приведем несколько примеров использования утверждения 3.

Пример 1

Рассмотрим при значении $p = 2$ функцию $F(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = \bar{x}_1 \otimes \bar{x}_2$, $\bar{x}_1, \bar{x}_2 \in A_n$. Для этой функции:

$$F^{(j)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = x_1^{(j)} \oplus x_2^{(j)} \oplus$$

$$\oplus G^{(j)}(x_1^{(1)}, \dots, x_1^{(j-1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_2^{(j-1)});$$

$$G^{(2)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2) = x_1^{(1)} \cdot x_2^{(1)}, \bar{x}_1, \bar{x}_2 \in A_n;$$

$$D_1(y_1, y_2) = y_1 \cdot y_2 \oplus y_1 \oplus y_2, y_1, y_2 \in Z_2;$$

$$N_0(0) = 3, N_0(1) = 1, N_1(0) = 1, N_1(1) = 3.$$

Таким образом, для любого вектора $\bar{w} \in A_n$ верна формула

$$T_{\bar{w}}^{1,2}(F) = 4 \cdot I(w^{(1)} = 0) \times \prod_{i=1}^{n-1} \left(I(w^{(i)} = 0) \cdot \left(3 \cdot I(w^{(i+1)} = 0) + I(w^{(i+1)} = 1) \right) + I(w^{(i)} = 1) \cdot \left(I(w^{(i+1)} = 0) + 3 \cdot I(w^{(i+1)} = 1) \right) \right).$$

Преобразуя эту формулу, получаем следующее выражение:

$$T_{\bar{w}}^{1,2}(F) = 4 \cdot I(w^{(1)} = 0) \times \prod_{i=1}^{n-1} \left(3 \cdot I(w^{(i)} = w^{(i+1)}) + I(w^{(i)} \neq w^{(i+1)}) \right).$$

Легко видеть, что максимальное значение это выражение принимает на векторе $\bar{w}' = (0, 0, \dots, 0)$. Вероятность совпадения статаналога $L_{\bar{w}'}^{1,2}$ с функцией F равна $2^{2-2n} \cdot 3^{n-1}$.

Пример 2

Пусть $p = 3$. Рассмотрим функцию $F(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) = (\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2) \otimes (\bar{x}_2 \oplus \bar{x}_3)$, $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3 \in A_n$. Верны следующие равенства:

$$F^{(j)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3) = x_1^{(j)} \oplus x_3^{(j)} \oplus G^{(j)}(x_1^{(1)}, \dots, x_3^{(j-1)});$$

$$N_0(0) = 18, N_0(1) = 9, N_1(0) = 9, N_1(1) = 18.$$

Таким образом, для любого вектора $\bar{w} \in A_n$ верна формула

$$T_{\bar{w}}^{1,3}(F) = 27 \cdot I(w^{(1)} = 0) \times$$

$$\times \prod_{i=1}^{n-1} \left(I(w^{(i)} = 0) \cdot \left(18 \cdot I(w^{(i+1)} = 0) + 9 \cdot I(w^{(i+1)} = 1) \right) + I(w^{(i)} = 1) \cdot \left(9 \cdot I(w^{(i+1)} = 0) + 18 \cdot I(w^{(i+1)} = 1) \right) \right).$$

После преобразования, получаем следующее выражение:

$$T_{\bar{w}}^{1,3}(F) = 3^{2n+1} \cdot I(w^{(1)} = 0) \times$$

$$\times \prod_{i=1}^{n-1} \left(2 \cdot I(w^{(i)} = w^{(i+1)}) + I(w^{(i)} \neq w^{(i+1)}) \right).$$

Максимальное значение $T_{\bar{w}}^{1,3}(F)$ принимает на векторе $\bar{w}' = (0, 0, \dots, 0)$. Вероятность совпадения статаналога $L_{\bar{w}'}^{1,3}$ с функцией F равна $\left(\frac{2}{3}\right)^{n-1}$.

Список литературы

1. Глухов М.М. Математическая логика. – М., 1981.

ПЕРЕОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДЛЯ ПОРОГОВЫХ ФУНКЦИЙ k -ЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ

В.Б. НЕТЫКШО, *сотрудник объединения «ТВП»*

Возможность задания пороговых функций и порождаемых ими систем уравнений [1] с помощью линейных неравенств позволяет привлечь для анализа и решения таких систем математический аппарат действительных линейных соотношений. Значительное число работ, посвященных данной проблематике, направлено на использование этого аппарата в строго детерминированных целях, например, для проверки совместности и поиска решений систем уравнений, разработки алгоритмов настройки нейросетей [2], описываемых с помощью линейных неравенств и т. д. Вместе с тем, аддитивный характер вхождения переменных в линейную форму, задающую пороговое ограничение, дает возможность сравнительно легко и естественно установить зависимость между вероятностями появления знаков на входе и на выходе пороговой функции. Такой под-

ход позволяет переоценить вероятности значений переменных, поступающих на вход пороговой функции, по наблюдаемым выходным значениям. Эта идея может быть положена в основу построения методов решения различных прикладных задач, в том числе и традиционных, относящихся к алгоритмически сложным.

В работе [3] были рассмотрены две задачи. Первая – задача распознавания, ориентированная на определение параметров булевой пороговой функции с помощью вероятностно-статистического переоценивания. Вторая имеет целью выделение статистическими методами наиболее вероятных решений системы булевых линейных неравенств.

В данной статье изучаются вопросы получения дополнительной информации вероятностного характера о значениях входных переменных по выходным значениям функ-

ции k -значной логики, решается задача переоценки апостериорных вероятностей соответственно для мажоритарных и пороговых функций k -значной логики, а также показывается невозможность построения оптимальных в некотором смысле мультиграмм по оптимальным мультиграммам меньшей длины (в отличие от булевого случая, [4]).

1. О переоценке для мажоритарных функций

Будем изучать возможность переоценки апостериорных вероятностей для пороговых функций k -значной логики. Дадим несколько определений.

Рассмотрим систему рекуррентного типа [5]

$$\{f(\bar{x}^{(j)}) = \gamma_j, \gamma_j \in \{0, \dots, k-1\}, j = \overline{1, T}, \quad (1)$$

описывающую функционирование некоторого дискретного устройства. В ряде работ [6, 7], посвященных исследованию свойств узлов дискретной аппаратуры, было замечено, что между знаками выходной последовательности могут возникать корреляционные связи, зависящие от различных параметров. Эти связи описываются с помощью распределений мультиграмм в выходной последовательности, которые используются при разработке методов определения неизвестных параметров рассматриваемых узлов. Поэтому вполне естественно, что для успешного решения ряда задач дискретной математики необходимо использование на выходе таких обобщенных мультиграмм (или, что то же самое, – таких подсистем системы (1)), для которых апостериорные вероятности максимально приближены к единице.

Определение

Обобщенной ν -граммой $(a_{i_1} * \dots * a_{i_\nu})$, $1 \leq i_1 \leq \dots \leq i_\nu \leq t$, назовем упорядоченную мультиграмму с фиксированными значениями $a_{i_1}, \dots, a_{i_\nu}$ на местах i_1, \dots, i_ν соответственно.

Входные переменные, подающиеся на вход устройства в каждом такте работы, считаем независимыми равномерно распределенными на множестве $K = \{0, 1, \dots, k-1\}$ случайными величинами (если не оговорено

противное). Семейство вероятностных мер на выходе устройства задается стандартным образом, а именно: определим вероятностное пространство

$$(K^N, \tilde{\Sigma}, \tilde{P}),$$

где K^N – декартово произведение N множеств K ;

$\tilde{\Sigma}$ – сигма-алгебра на множестве K^N ;

\tilde{P} – вероятностная мера со свойством

$$\tilde{P}\{B = \{(\gamma_1, \dots, \gamma_N) \mid \gamma_i \in K, i = \overline{1, N}\} \in \tilde{\Sigma}\} = \sum_D \frac{1}{k^{N+n-1}},$$

где $D = \{(x_1, \dots, x_{N+n-1}) \mid f(x_1, \dots, x_n) = \gamma_1,$

$$f(x_2, \dots, x_{n+1}) = \gamma_2, \dots, f(x_N, \dots, x_{N+n}) = \gamma_N\}.$$

Определение

Апостериорную вероятность

$$p(x^{(j)} = \varepsilon / (i_1 * i_2 * \dots * i_\nu)) \stackrel{def}{=} \\ = p(x^{(j)} = \varepsilon / \{\gamma_j = i_1, \gamma_{j+s_1} = i_2, \dots, \gamma_{j+s_1+\dots+s_{\nu-1}} = i_\nu\}) = \\ = \frac{p\{\{x^{(j)} = \varepsilon\} \& \{\gamma_j = i_1, \gamma_{j+s_1} = i_2, \dots, \gamma_{j+s_1+\dots+s_{\nu-1}} = i_\nu\}\}}{p\{\gamma_j = i_1, \gamma_{j+s_1} = i_2, \dots, \gamma_{j+s_1+\dots+s_{\nu-1}} = i_\nu\}},$$

где $x^{(j)}$ участвует в образовании знака выходной последовательности $\gamma_j = i_1, s_1, \dots, s_{\nu-1}$ – расстояния между существенными переменными в системе рекуррентного типа, назовем вероятностью переоценки входного значения $x^{(j)}$ по выходной обобщенной ν -грамме $(i_1 * i_2 * \dots * i_\nu)$.

Пусть $A = \left[l_1, \dots, l_{\binom{n-1}{2}} \right]$ – набор расстояний

между любыми двумя существенными переменными. Тогда правило L выделения существенных переменных можно записать в следующем виде:

$$L : [1^{k_1}, \dots, (N-1)^{k_{N-1}}],$$

где j^{k_j} означает, что в A содержится k_j чисел j . Дадим определение кратности расстояния.

Определение

Назовем k_j кратностью расстояния j в наборе L , а $r = \max_{1 \leq j \leq N-1} k_j$ – максимальной кратностью L .

Пусть функция f – мажоритарная функция k -значной логики с возрастающей последовательностью порогов:

$$f : \{0, \dots, k-1\}^n \rightarrow \{0, \dots, k-1\}:$$

$$f(\bar{x}) = i \Leftrightarrow c_i \leq \sum_{s=1}^n x_s < c_{i+1}, \quad 0 \leq i \leq k-1,$$

$$0 \leq c_0 < \dots < c_k \leq n(k-1), \quad x_j \in K, \quad 1 \leq j \leq n,$$

суммирование производится в действительной области.

Рассмотрим, как и для булевых мажоритарных функций, при максимальной кратности $r = n - 1$ выходную обобщенную биграмму ($\gamma_s = i * \gamma_{s+r} = j$), где $i > j$. Ей соответствует подсистема неравенств:

$$\begin{cases} c_i \leq \sum_{s=1}^n x_s \leq c_{i+1} - 1, \\ c_j \leq \sum_{s=2}^{n+1} x_s \leq c_{j+1} - 1. \end{cases}$$

Вычитая из первого неравенства второе, получим

$$\tilde{n}_i - c_{j+1} + 1 \leq x_1 - x_{n+1} \leq c_{i+1} - c_j - 1,$$

откуда следует, что однозначного решения подсистемы не существует. Тем не менее, можно локализовать множество возможных решений, а при некоторых i и j — однозначно определить значения переменных x_1 и x_{n+1} . При $i = k - 1$ и $j = 0$ почти для всех мажоритарных функций с возрастающей последовательностью порогов система неравенств не имеет решений, обобщенная биграмма ($\gamma_s = k - 1 * \gamma_{s+r} = 0$) не может появиться в выходной последовательности. Общее количество мажоритарных функций с возрастающей последовательностью порогов совпадает с числом размещений порогов \tilde{n}_0, \dots, c_k и равно $\binom{n(k-1)+1}{k+1}$.

Число функций, имеющих решение для биграммы ($k - 1 * 0$), равно

$$\begin{aligned} & \sum_{l=1}^{n(k-1)-k-1} l(n(k-1)-(k+l-2)) = \\ & = \frac{(n(k-1)-k-1)(n(k-1)-k)(n(k-1)-k+7)}{6}. \end{aligned}$$

Проведем переоценку вероятностей входных значений переменных. Пусть известны все параметры дискретного устройства, описываемого системой (1), за исключением начального вектора линейной рекуррентной последовательности (НВ ЛРП) над

кольцом вычетов Z/k , функция f — k -значная мажоритарная. Для вычисления вероятности переоценки

$$\begin{aligned} p &= p \stackrel{\text{def}}{\left\{ x_1 = i / f(\bar{x}) = j \right\}} = \\ &= \frac{1}{kp \{f(\bar{x}) = j\}} p \left\{ c_j \leq i + \sum_{s=2}^n x_s < c_{j+1} \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

рассмотрим два подхода: первый — непосредственным подсчетом векторов (x_2, \dots, x_n) , удовлетворяющих этому соотношению, второй — с применением одной из центральных предельных теорем (ЦПТ) теории вероятностей [8, 9].

Разложив вероятность

$$p \left\{ c_j \leq i + \sum_{s=2}^n x_s < c_{j+1} \right\}$$

в формуле (2) по полной группе событий получим:

$$p = \frac{1}{kp \{f(\bar{x}) = j\}} \sum_{s=c_j}^{c_{j+1}-1} p \left\{ i + \sum_{t=2}^n x_t = s \right\}.$$

Необходимо подсчитать число решений уравнения

$$x_2 + \dots + x_n = s - i, \quad 0 \leq x_r \leq k - 1, \quad r = \overline{2, n}.$$

Данная задача рассматривалась в частности в работах [10, 11]. Приведем решение применительно к нашему случаю. Для этого следует рассмотреть случай коммутативного несимметричного n -базиса общей комбинаторной схемы: m -множество отображается в n -множество. Введем нумератор

$$\begin{aligned} \hat{O}(t; x_1, \dots, x_n; \Lambda) &= \sum_{\alpha_1 \in \Lambda_1} (x_1 t)^{\alpha_1} \cdot \dots \cdot \sum_{\alpha_n \in \Lambda_n} (x_n t)^{\alpha_n} = \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} t^m \sum_{\substack{\alpha_1 + \dots + \alpha_n = m \\ \alpha_i \in \Lambda_i, 1 \leq i \leq n}} x_1^{\alpha_1} \cdot \dots \cdot x_n^{\alpha_n}, \end{aligned}$$

где

$$\Lambda = (\Lambda_1, \dots, \Lambda_n), \quad \Lambda_i = (\lambda_{i1}, \lambda_{i2}, \dots), \quad i = \overline{1, n}, \quad \lambda_{ji} \geq 0 \in N_0.$$

Тогда

$$\hat{O}(t; 1, \dots, 1; \Lambda) = \sum_{m=0}^{\infty} t^m \sum_{\substack{\alpha_1 + \dots + \alpha_n = m \\ \alpha_i \in \Lambda_i, 1 \leq i \leq n}} 1 = \prod_{i=1}^n \sum_{\alpha_i \in \Lambda_i} t^{\alpha_i}.$$

В нашем случае $\Lambda_i = (0, \dots, k - 1)$, $1 \leq i \leq n$, следовательно,

$$\hat{O}(t; 1, \dots, 1; \Lambda) = \prod_{i=1}^n (t^0 + t^1 + \dots + t^{k-1}) = \left(\frac{1-t^k}{1-t} \right)^n =$$

$$= \sum_{r=0}^n \binom{n}{r} (-1)^r t^{kr} \sum_{m=0}^{\infty} \binom{n+m-1}{m} t^m =$$

$$= \{m+kr=s\} = \sum_{s=0}^{\infty} t^s \sum_{r=0}^n (-1)^r \binom{n}{r} \binom{n+s-kr-1}{s-kr},$$

отсюда искомая величина равна

$$\sum_{r=0}^n (-1)^r \binom{n}{r} \binom{n+m-kr-1}{m-kr}.$$

Тогда

$$p = \frac{1}{k^n p\{f(\bar{x})=j\}} \sum_{s=c_j}^{c_{j+1}-1} \sum_{r=0}^{n-1} (-1)^r \binom{n-1}{r} \binom{n-2+s-kr-i}{s-kr-i} =$$

$$= \frac{\sum_{s=c_j}^{c_{j+1}-1} \sum_{r=0}^{n-1} (-1)^r \binom{n-1}{r} \binom{n-2+s-kr-i}{s-kr-i}}{\sum_{s=c_j}^{c_{j+1}-1} \sum_{r=0}^n (-1)^r \binom{n}{r} \binom{n-1+s-kr}{s-kr}}. \quad (3)$$

Теперь применим ЦПТ при $n \rightarrow \infty$ к мажоритарной функции:

$$p_{ij} \stackrel{\text{def}}{=} P\left\{x_1 = i / f(\bar{x}) = j\right\} =$$

$$E = \frac{1}{kp\{f(\bar{x})=j\}} P\left\{c_j \leq i + \sum_{s=2}^n x_s < c_{j+1}\right\} =$$

$$= \frac{1}{kp\{f(\bar{x})=j\}} P\left\{c_j - \frac{k-1}{2}(n-1) - i \leq \sum_{s=2}^n x_s - \frac{k-1}{2}(n-1) < c_{j+1} - \frac{k-1}{2}(n-1) - i\right\} =$$

$$= \frac{1}{kp\{f(\bar{x})=j\}} P\left\{ \frac{c_j - i - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} \leq \frac{\sum_{s=2}^n x_s - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} < \frac{c_{j+1} - i - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} \right\} =$$

$$= \frac{1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)}{kp\{f(\bar{x})=j\}} \left(\begin{aligned} & \left(\begin{aligned} & \hat{O} \left(\frac{c_{j+1} - i - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} \right) - \\ & - \hat{O} \left(\frac{c_j - i - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} \right) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right) \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Тем самым получена оценка для суммы

$$\sum_{s=c_j}^{c_{j+1}-1} \sum_{r=0}^{n-1} (-1)^r \binom{n-1}{r} \binom{n-2+s-kr-i}{s-kr-i} =$$

$$= k^{n-1} \left(\hat{O} \left(\frac{c_{j+1} - i - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} \right) - \hat{O} \left(\frac{c_j - i - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} \right) \right) \times$$

$$\times \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right) \text{ при } n \rightarrow \infty, 0 \leq i \leq k-1.$$

Отсюда $\max_i p_{ij}$ достигается при

$$i = \begin{cases} k-1, & \text{если } \tilde{c}_j - i > 0, \\ 0, & \text{если } \tilde{c}_{j+1} - i < 0, \\ \tilde{i}, & \text{если } \tilde{c}_j \leq i \leq \tilde{c}_{j+1}, \end{cases}$$

где $\tilde{c}_s = c_s - \frac{k-1}{2}(n-1)$, $s = j, j+1$.

Последняя формула, хотя и приближительна, значительно проще для вычисления и понимания, нежели формула (3).

Если $c_{j+1} = c_j + 1$, то

$$\sum_{r=0}^{n-1} (-1)^r \binom{n-1}{r} \binom{n-2+c_j-kr-i}{c_j-kr-i} =$$

$$= k^{n-1} \left(\hat{O} \left(\frac{c_j + 1 - i - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} \right) - \hat{O} \left(\frac{c_j - i - \frac{k-1}{2}(n-1)}{\sqrt{\frac{k^2-1}{12}(n-1)}} \right) \right) \times$$

$$\times \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right) \text{ при } n \rightarrow \infty, 0 \leq i \leq k-1.$$

Последнее выражение достигает максимума при $\tilde{n}_j \leq i \leq \tilde{c}_{j+1}$.

Таким образом, для произвольной мажоритарной функции с возрастающей последовательностью порогов для любого значения функции $f = j_0$ можем указать значение входной переменной такое $x_s = i_0$, что $p_{i_0 j_0} = \max_{0 \leq i \leq k-1} p_{ij_0}$.

2. О переоценке для пороговых функций

Пусть теперь функция в системе (1) – k -значная пороговая с возрастающей последовательностью порогов

$$f: \{0, \dots, k-1\}^n \rightarrow \{0, \dots, k-1\}: f(\bar{x}) = i \Leftrightarrow c_i \leq \sum_{s=1}^n a_s x_s < c_{i+1}, |a_1| \geq \dots \geq |a_n|, c_0 < \dots < c_k.$$

В этом случае также существует возможность получать дополнительную информацию о значениях входных переменных по выходным значениям.

Определение

Пороговую функцию k -значной логики назовем функцией 1-го типа, если существует такое натуральное число $r \in \{1, \dots, n\}$, что $n-r \rightarrow \infty$ и $B_{n,r} = O(a_r)$, $a_{r+1} = o(\sqrt{B_{n,r}^2})$ при $n \rightarrow \infty$, где $B_{n,r}^2 = \frac{k^2-1}{2} \sum_{t=r+1}^n a_t^2$.

Следующая теорема свидетельствует о существовании эффективной переоценки вероятности входного значения по выходному.

Теорема

Пусть пороговая функция f – 1-го типа. Тогда при $r = 1$, $n \rightarrow \infty$ для любого $j \in \{0, k-1\}$ существует $i = i(j) \in \{0, k-1\}$ и существует константа $A_j > \frac{1}{k}$ такие, что выполняется неравенство $p_{i,j} \stackrel{\text{def}}{=} p\left\{x_1 = i / f(\bar{x}) = j\right\} \geq A_j$.

Доказательство

Рассмотрим при больших n вероятность

$$p_{i,j} = \frac{1}{kp\{f(\bar{x})=j\}} p\left\{c_j - a_i \leq \sum_{s=2}^n a_s x_s < c_{j+1} - a_i\right\}$$

и случайные величины

$$a_j x_j \sim \left(\frac{0 \dots k-1}{1/k \dots 1/k}\right), j = \overline{r+1, n},$$

математическое ожидание и дисперсия которых равны соответственно

$$\begin{aligned} \hat{A}(a_j x_j) &= \sum_{i=0}^{k-1} \frac{a_j i}{k} = \frac{a_j}{k} \sum_{i=0}^{k-1} i = \frac{a_j(k-1)}{2}, \\ D(a_j x_j) &= E(a_j x_j)^2 - \frac{a_j^2(k-1)^2}{4} = \\ &= \sum_{i=0}^{k-1} \frac{a_j^2 i^2}{k} - \frac{a_j^2(k-1)^2}{4} = \frac{a_j^2(k^2-1)}{12}, j = \overline{r+1, n}. \end{aligned}$$

Обозначим

$$L_n(\tau) = \frac{1}{B_{n,r}^2} \sum_{t=r+1}^n \int_{\left|x - \frac{a_t(k-1)}{2}\right| > \tau B_{n,r}} \left(x - \frac{a_t(k-1)}{2}\right)^2 dF_t(x),$$

где $\tau > 0$, $B_{n,r}^2 = \sum_{t=r+1}^n D(a_t x_t) = \frac{k^2-1}{12} \sum_{t=r+1}^n a_t^2$,

$F_t(x)$ – функция распределения случайной величины $a_t x_t$, $t = \overline{r+1, n}$. Далее

$$L_n(\tau) = \sum_{t=r+1}^n \int_{\left|x - \frac{a_t(k-1)/2}{B_{n,r}}\right| > \tau} \left(x - \frac{a_t(k-1)/2}{B_{n,r}}\right)^2 dF_t(x).$$

Введем случайную величину $\xi_{nt} = \frac{a_t x_t - a_t(k-1)/2}{B_{n,r}}$, ее функция распределения

$$F_{nt}(x) = F_t\left(x B_{n,r} + \frac{a_t(k-1)}{2}\right).$$

Тогда в новых обозначениях

$$L_n(\tau) = \sum_{t=r+1}^n \int_{|y| > \tau} y^2 dF_{nt}(x).$$

Так как имеет место $\frac{a_{r+1}}{B_{n,r}} \rightarrow 0$ при

$n \rightarrow \infty$, то $L_n(\tau) = 0$ для всех $\tau > 0$ и всех достаточно больших n . То есть выполняется условие Линдеберга, и, следовательно, по ЦПТ Линдеберга-Леви

$$\begin{aligned} p_{i,j} &= \frac{1}{kp\{f(\bar{x})=j\}} p\left\{c_j - a_i \leq \sum_{s=2}^n a_s x_s < c_{j+1} - a_i\right\} = \\ &= \frac{1}{k^r p\{f(\bar{x})=j\}} \sum_{s_2=0}^{k-1} \dots \sum_{s_r=0}^{k-1} p\left\{c_j - a_i - \sum_{l=2}^r a_l s_l \leq \sum_{s=r+1}^n a_s x_s < c_{j+1} - a_i - \sum_{l=2}^r a_l s_l\right\} = \\ &= \frac{1}{k^r p\{f(\bar{x})=j\}} \sum_{s_2=0}^{k-1} \dots \sum_{s_r=0}^{k-1} \left(\begin{matrix} \hat{O} \left(\frac{\tilde{c}_{j+1} - a_i - \sum_{l=2}^r a_l s_l}{B_{n,r}} \right) \\ - \hat{O} \left(\frac{\tilde{c}_j - a_i - \sum_{l=2}^r a_l s_l}{B_{n,r}} \right) \end{matrix} \right) \times \\ &\quad \times \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right) \end{aligned} \tag{4}$$

при $n \rightarrow \infty$,

где $\tilde{c}_j = c_j - \sum_{s=r+1}^n \frac{a_s(k-1)}{2}$, $\tilde{c}_{j+1} = c_{j+1} - \sum_{s=r+1}^n \frac{a_s(k-1)}{2}$.

Очевидно, что апостериорные вероятности для одних значений x_1 отличаются

от $1/k$ в большую, для других – в меньшую сторону (в булевом случае было, например, для $x_1 = 1$ – больше $1/2$, для $x_1 = 0$ – меньше $1/2$). Необходимо найти максимальное значение выражения (4) по $i = \overline{0, k-1}$. По условию $r = 1$. В этом случае

$$p_{i,j} = \frac{1}{kp\{f(\bar{x})=j\}} \left(\hat{O}\left(\frac{\tilde{c}_{j+1}-a_1i}{B_{n,1}}\right) - \hat{O}\left(\frac{\tilde{c}_j-a_1i}{B_{n,1}}\right) \right) \times \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right) \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Максимальное значение последнее выражение принимает, когда аргументы функций стандартного нормального распределения близки к нулю, так как $\hat{O}'(x) \leq 1$ для всех $x \in R$ и $\hat{O}'(0) = 1$. Отсюда значение $\max_{0 \leq i \leq k-1} p_{i,j}$ при фиксированном j достигается в том и только том случае, когда

$$i = i_0(j) = \begin{cases} k-1, \text{ а} \tilde{c}_j - a_1i \geq 0 \\ \text{а} \tilde{c}_j - a_1i \leq 0, \text{ а} \tilde{c}_{j+1} - a_1i \leq 0 \\ \text{а} \tilde{c}_j - a_1i \leq 0, \text{ а} \tilde{c}_{j+1} - a_1i \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Причем $p_{i,j}$ возрастает с ростом i в случае (1), убывает с ростом i в случае (2), возрастает с ростом i от 0 до \tilde{i} и убывает с ростом i от $\tilde{i} + 1$ до $k-1$ в случае (3). Так как

$$\tilde{n}_0 \leq \sum_{s=1}^n a_s x_s < c_1 \Leftrightarrow \sum_{s=1}^n a_s x_s < c_1$$

$$\text{и } \tilde{n}_{k-1} \leq \sum_{s=1}^n a_s x_s < c_k \Leftrightarrow \tilde{n}_{k-1} \leq \sum_{s=1}^n a_s x_s,$$

то для вероятностей $p_{i,0}$ и $p_{i,k-1}$ справедливы следующие соотношения:

$$p_{i,0} = \frac{1}{kp\{f(\bar{x})=0\}} \hat{O}\left(\frac{\tilde{n}_1 - a_1i}{B_{n,1}}\right) \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right),$$

$$p_{i,k-1} = \frac{1}{kp\{f(\bar{x})=k-1\}} \left(1 - \hat{O}\left(\frac{\tilde{n}_{k-1} - a_1i}{B_{n,1}}\right) \right) \times \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right) \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Переоценка эффективна, если

$$p_{i,0} > \frac{1}{k} \Leftrightarrow i > \frac{\tilde{c}_1 - B_{n,r} \hat{O}^{-1}(p\{f(\bar{x})=0\})}{a_1} \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right) \text{ и}$$

$$p_{i,k-1} > \frac{1}{k} \Leftrightarrow i < \frac{\tilde{c}_{k-1} - B_{n,r} \hat{O}^{-1}(1 - p\{f(\bar{x})=k-1\})}{a_1} \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right).$$

Приведем оценку вероятности $p\{f(\bar{x})=j\}$:

$$p\{f(\bar{x})=j\} = p\left\{c_j \leq \sum_{s=1}^n a_s x_s < c_{j+1}\right\} = \left(\hat{O}\left(\frac{\tilde{c}_{j+1}}{B_{n,1}}\right) - \hat{O}\left(\frac{\tilde{c}_j}{B_{n,1}}\right) \right) \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) \right) \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Напомним, что f – функция 1-го типа, $r = 1$, $B_{n,1}^2 = \frac{k^2-1}{12} \sum_{t=r+1}^n a_t^2$. Последовательность $\{p_{i,j}\}$ убывает (в зависимости от условий (1)-(3) в формуле (5)). Тогда $p_{i_0(j),j} \geq A_{i_0,j} > \frac{1}{k}$, $A_{i_0,j}$ – константа при $n-r \rightarrow \infty$, в силу свойств $\hat{O}(x)$ и условия теоремы. Доказательство закончено.

Может оказаться так, что в силу удобства вычисления формул целесообразнее рассматривать функцию f_1 , которая получена из функции f путем склейки некоторых соседних значений. Например,

$$f_1(\bar{x}) = \bar{j} \Leftrightarrow c_j \leq \sum_{s=1}^n a_s x_s < c_{j+2} \Leftrightarrow f(\bar{x}) = j$$

или $f(\bar{x}) = j+1$;
здесь функция

$$f_1: \{0, \dots, k-1\}^n \rightarrow \{0, \dots, j, j+2, \dots, k-1\}.$$

При этом мы теряем часть информации, но упрощаем анализ дискретного устройства. Данный подход является аналогом метода гомоморфизмов исходного автомата на автомат более простой в некотором смысле [12]. Продолжая склеивать значения, можно получить функцию

$$\tilde{f}: \{0, \dots, k-1\}^n \rightarrow \{0, 1\}.$$

Тогда для нее будут выполняться равенства

$$p \stackrel{\text{def}}{=} p\left\{x_1 = i / \tilde{f}(\bar{x}) = 1\right\} = \frac{1}{kp\{\tilde{f}(\bar{x}) = 1\}} \times$$

$$\times p\left\{a_1 i + \sum_{s=2}^n a_s x_s \geq c\right\} = \frac{1}{kp\{\tilde{f}(\bar{x}) = 1\}} \times$$

$$\times \hat{O}\left(\frac{a_1 i + \frac{k-1}{2} \sum_{s=2}^n a_s - c}{B_{n,1}}\right) \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)\right)$$

при $n \rightarrow \infty$ и $r = 1$.

При $c = c_0$ или c_{k-1} вероятность p равна $p_{i,0}$ или $p_{i,k-1}$ соответственно.

Исследуем, как соотносятся вероятности переоценки для функций f и \tilde{f} . Пусть $\tilde{n} = \tilde{n}_s$. Тогда вероятность

$$p = \frac{1}{kp\{\tilde{f}(\bar{x}) = 1\}} p\left\{a_1 i + \sum_{s=2}^n a_s x_s \geq c\right\} =$$

$$= \frac{\sum_{j=s}^{k-1} p\left\{c_j \leq a_1 i + \sum_{s=2}^n a_s x_s < c_{j+1}\right\}}{k \sum_{j=s}^{k-1} p\left\{c_j \leq \sum_{s=1}^n a_s x_s < c_{j+1}\right\}} =$$

$$= \frac{\sum_{j=s}^{k-1} p\{\{x_1 = i\} \& \{f(\bar{x}) = j\}\}}{\sum_{j=s}^{k-1} p\{f(\bar{x}) = j\}} =$$

$$= \frac{\sum_{j=s}^{k-1} p\left\{x_1 = i / f(\bar{x}) = j\right\} p\{f(\bar{x}) = j\}}{\sum_{j=s}^{k-1} p\{f(\bar{x}) = j\}}.$$

И если исходная функция f – равновероятная, то

$$p = \frac{1}{k-s} \sum_{j=s}^{k-1} p\left\{x_1 = i / f(\bar{x}) = j\right\}.$$

Следовательно, существует по крайней мере одно значение переменной функции $f(\bar{x})$, апостериорная вероятность которой не меньше p . Таким образом, в случае удачной переоценки для \tilde{f} (то есть $p > \frac{1}{k}$)

получим успешную переоценку и для f .

Сделаем небольшое отступление.

Формулы вероятностей переоценок для рассматриваемых в данном параграфе функций можно распространить на случай неравномерно распределенных на множестве

$\{0, \dots, k-1\}$ входных переменных k -значной функции f .

Будем предполагать, что входные переменные функции f являются независимыми одинаково неравномерно распределенными на множестве $\{0, \dots, k-1\}$ случайными величинами. Обозначим вероятности $p\{x_s = i\}$ через p_i , $s = \overline{1, n}$, $i = \overline{0, k-1}$.

У т в е р ж д е н и е

Для пороговой k -значной функции 1-го типа существуют $i, j \in \{0, \dots, k-1\}$ такие, что вероятность

$$p\left\{x_1 = i / f(\bar{x}) = j\right\} \geq A_{i,j} \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)\right) \quad \text{при}$$

$n \rightarrow \infty$,

причем $A_{i,j} > p_i$ (полагаем $a_1 > 0$).

Д о к а з а т е л ь с т в о

Рассмотрим случайные величины

$$a_j x_j \sim \begin{pmatrix} a_j 0 \dots a_j (k-1) \\ p_0 \dots p_{k-1} \end{pmatrix}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Для них также выполняется условие Линдеберга, тогда при $n \rightarrow \infty$

$$p \stackrel{\text{def}}{=} p\left\{x_1 = i / f(\bar{x}) = j\right\} =$$

$$= \frac{p_i}{p\{f(\bar{x}) = j\}} p\left\{c_j - a_1 i \leq \sum_{s=2}^n a_s x_s < c_{j+1} - a_1 i\right\} =$$

$$= \frac{p_i}{p\{f(\bar{x}) = j\}} \sum_{u_2=0}^{k-1} \dots \sum_{u_r=0}^{k-1} p_{u_2} \dots p_{u_r} p \times$$

$$\times \left\{c_j - a_1 i - \sum_{l=2}^r a_l u_l \leq \sum_{s=r+1}^n a_s x_s < c_{j+1} - a_1 i - \sum_{l=2}^r a_l u_l\right\} =$$

$$= \frac{p_i \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)\right)}{p\{f(\bar{x}) = j\}} \sum_{u_2=0}^{k-1} \dots \sum_{u_r=0}^{k-1} p_{u_2} \dots p_{u_r} \times$$

$$\times \hat{O}\left(\frac{\tilde{c}_{j+1} - a_1 i - \sum_{l=2}^r a_l u_l}{B_{n,r}}\right) - \hat{O}\left(\frac{\tilde{c}_j - a_1 i - \sum_{l=2}^r a_l u_l}{B_{n,r}}\right),$$

где $\tilde{n}_j = c_j - E\left(\sum_{s=r+1}^n a_s x_s\right)$, $\tilde{n}_{j+1} = c_{j+1} - E\left(\sum_{s=r+1}^n a_s x_s\right)$.

Существует j_0 такой, что $p\{f(\bar{x}) = j_0\} \leq \frac{1}{k}$. По теореме существует $i_0 = i_0(j_0)$ со свойством

$$\max_{0 \leq i \leq k-1} p_{i,j_0} = p_{i_0,j_0} \geq A_{i_0,j_0} > \frac{1}{k} \text{ при } n-r \rightarrow \infty.$$

Тогда справедливо неравенство

$$\begin{aligned} p &\geq \frac{P_i}{p\{f(\bar{x})=j\}} \sum_{u_2=0}^{k-1} \dots \sum_{u_r=0}^{k-1} P_{u_2} \dots P_{u_r} A_{i,j} \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)\right) = \\ &= \frac{P_i}{p\{f(\bar{x})=j\}} A_{i,j} \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)\right) > \\ &> \frac{P_i}{kp\{f(\bar{x})=j\}} \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)\right) \geq p_i \left(1 + o\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)\right) \\ &\text{при } n \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Доказательство закончено.

Из утверждения следует, что при неравномерно распределенных входных переменных переоценивать предпочтительно по редким выходным значениям функции ($p\{f=j\} \leq \frac{1}{k}$). Если переоценивать по частым значениям ($p\{f=j\} \geq \frac{1}{k}$), то для переоцениваемых входных переменных можно указать наименее вероятное значение.

Снова перейдем к рассмотрению функций с равномерно распределенными входами. Поставим задачу нахождения условий, при которых апостериорные вероятности для некоторых значений переменных максимальны. Очевидно, что для k -значных функций исследование выходных ν -грамм значительно сложнее, чем для булевых, в силу множественности входов и выходов.

Пусть максимальная кратность правила выделения существенных переменных из ЛРП равна единице. Рассмотрим вероятность

$$\begin{aligned} p &\stackrel{\text{def}}{=} p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\} = \\ &= \frac{p\left\{c_{\varepsilon_1} \leq a_1 i + \sum_{s=2}^n a_s x_s^{(1)} < c_{\varepsilon_1+1}\right\} \& \left\{c_{\varepsilon_2} \leq a_2 i + \sum_{s=2}^n a_s x_s^{(2)} < c_{\varepsilon_2+1}\right\}}{\sum_{j=0}^{k-1} p\left\{c_{\varepsilon_1} \leq a_1 j + \sum_{s=2}^n a_s x_s^{(1)} < c_{\varepsilon_1+1}\right\} \& \left\{c_{\varepsilon_2} \leq a_2 j + \sum_{s=2}^n a_s x_s^{(2)} < c_{\varepsilon_2+1}\right\}} = \\ &= \frac{P_{i,\varepsilon_1} P_{i,\varepsilon_2}}{\sum_{j=0}^{k-1} P_{j,\varepsilon_1} P_{j,\varepsilon_2}}, \end{aligned}$$

где p_{i,ε_1} и p_{i,ε_2} – вероятности переоценки значения i переменной при первом и

втором коэффициентах по выходам ε_1 и ε_2 соответственно.

Далее

$$\begin{aligned} &P_{i,\varepsilon_2} P_{0,\varepsilon_1} + P_{i,\varepsilon_2} P_{1,\varepsilon_1} + \dots + P_{i,\varepsilon_2} P_{i-1,\varepsilon_1} + P_{i,\varepsilon_2} P_{i+1,\varepsilon_1} + \\ &+ \dots + P_{i,\varepsilon_2} P_{k-1,\varepsilon_1} > P_{0,\varepsilon_2} P_{0,\varepsilon_1} + \dots + P_{i-1,\varepsilon_2} P_{i-1,\varepsilon_1} + \\ &+ P_{i+1,\varepsilon_2} P_{i+1,\varepsilon_1} + \dots + P_{k-1,\varepsilon_2} P_{k-1,\varepsilon_1} \Leftrightarrow \end{aligned}$$

(выберем такой i , вероятность переоценки которого по ε_2 максимальна)

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow P_{i,\varepsilon_2} (1 - p_{i,\varepsilon_1}) > \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{k-1} P_{j,\varepsilon_2} P_{j,\varepsilon_1} \Leftrightarrow P_{i,\varepsilon_2} > \\ &> \sum_{j=0}^{k-1} P_{j,\varepsilon_2} P_{j,\varepsilon_1} \Leftrightarrow \frac{P_{i,\varepsilon_2} P_{i,\varepsilon_1}}{\sum_{j=0}^{k-1} P_{j,\varepsilon_2} P_{j,\varepsilon_1}} > p_{i,\varepsilon_1} \end{aligned}$$

Следовательно, для любой пары $(\varepsilon_1 * \varepsilon_2)$ существует такой $i = i(\varepsilon_2)$, что апостериорная вероятность больше априорной:

$$p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\} > p_{i,\varepsilon_1}.$$

Вычислим все вероятности

$$p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\}, \quad i = \overline{0, k-1},$$

и упорядочим их по убыванию:

$$\begin{aligned} p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\} &\geq p\left\{x_1 = i_1 / (\varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\} \geq \\ &\geq \dots \geq p\left\{x_1 = i_{k-1} / (\varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\}. \end{aligned}$$

Рассмотрим теперь вероятность переоценки значения i_0 переменной x_1 по обобщенной триграмме

$$p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_3 * \varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\} = \frac{P_{i_0,\varepsilon_3} P_{i_0,\varepsilon_1} P_{i_0,\varepsilon_2}}{\sum_{j=0}^{k-1} P_{j,\varepsilon_3} P_{j,\varepsilon_1} P_{j,\varepsilon_2}} > p_{i_0,\varepsilon_3}.$$

Отсюда следует, что для любой тройки выходных значений $(\varepsilon_3 * \varepsilon_1 * \varepsilon_2)$ существует $i = i(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ такое, что

$$p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_3 * \varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\} > p_{i,\varepsilon_3},$$

и для любой тройки выходных значений $(\varepsilon_3 * \varepsilon_1 * \varepsilon_2)$ существует $i = i(\varepsilon_3)$ такое, что

$$p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_3 * \varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\} > p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_1 * \varepsilon_2)\right\},$$

и так далее. Рассмотрим вероятность переоценки по появившейся на выходе узла ν -грамме $(\varepsilon_1 * \dots * \varepsilon_\nu)$, $\nu \leq r$,

$$p = p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_1 * \dots * \varepsilon_v)\right\} = \frac{p\left\{c_{\varepsilon_1} \leq a_1 i + \sum_{s=2}^n a_s x_s^{(1)} < c_{\varepsilon_1+1}\right\} \& \dots \& \left\{c_{\varepsilon_v} \leq a_v i + \sum_{s=1 \neq v}^n a_s x_s^{(v)} < c_{\varepsilon_v+1}\right\}}{\sum_{i=0}^{k-1} p\left\{c_{\varepsilon_1} \leq a_1 i + \sum_{s=2}^n a_s x_s^{(1)} < c_{\varepsilon_1+1}\right\} \& \dots \& \left\{c_{\varepsilon_v} \leq a_v i + \sum_{s=1 \neq v}^n a_s x_s^{(v)} < c_{\varepsilon_v+1}\right\}} = \frac{p_1^{(i\varepsilon_1)} \dots p_v^{(i\varepsilon_v)}}{\sum_{i=0}^{k-1} p_1^{(i\varepsilon_1)} \dots p_v^{(i\varepsilon_v)}}, \text{ где } p_j^{(i\varepsilon_j)} = p\left\{x_j = i / \varepsilon_j\right\}, j = \overline{1, v}.$$

Легко показать, что существует такой $i = i(\varepsilon_{i_1}, \dots, \varepsilon_{i_s})$, что $p > p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_{i_1} * \dots * \varepsilon_{i_s})\right\}$ для всех $\varepsilon_{i_1}, \dots, \varepsilon_{i_s}, \{i_1, \dots, i_s\} \subsetneq \{1, \dots, v\}$.

Таким образом, различия при построении мультиграмм между булевым и k -значным случаями заключается в следующем. Пусть для булевой пороговой функции по некоторой мультиграмме длины меньше чем n найдена максимальная вероятность переоценки значения некоторой переменной. Тогда для увеличения вероятности переоценки этой же переменной необходимо рассмотреть на выходе узла более длинную мультиграмму, новые значения которой соответствуют знакам весовых коэффициентов (то есть $\varepsilon_{v+s} = \frac{\text{sgn}(a_{v+s}) + 1}{2}$). При этом новая вероятность является максимальной среди всех вероятностей переоценок по мультиграммам такой же длины. В k -значном случае проделать то же самое не удастся.

Подойдем к этой задаче с другой стороны. Предположим, что по некоторой $(v-1)$ -грамме $(\varepsilon_1 * \dots * \varepsilon_{v-1})$ переоценена вероятность значения i_0 , причем она максимальна среди вероятностей для всех $i = \overline{0, k-1}$. Что будет происходить с вероятностью переоценки значения i_0 по v -грамме $(\varepsilon_1 * \dots * \varepsilon_{v-1}, \varepsilon_v)$? Было показано, что вероятность переоценки по v -грамме удовлетворяет неравенству

$$p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_1 * \dots * \varepsilon_v)\right\} > p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_v)\right\} \text{ для всех } \varepsilon_v.$$

Следовательно, поскольку i_0 фиксировано, найдем

$$\max_{0 \leq \varepsilon_v \leq k-1} p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_v)\right\}.$$

При этом будет выполняться неравенство

$$p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_v)\right\} > \max_{0 \leq \varepsilon_v \leq k-1} p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_v)\right\}.$$

По такому алгоритму на каждом шаге строится v -грамма, апостериорная вероятность фиксированного i_0 по которой не является вообще говоря максимальной. Может существовать и другое значение переменной $x_1 = i$, такое, что

$$p\left\{x_1 = i / (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_v)\right\} > p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_v)\right\}.$$

Например, из условий

$$\begin{aligned} p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_{v_1})\right\} &> p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_{v_2})\right\} > \dots > p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_{v_k})\right\}, \\ p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{v_1})\right\} &> p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_{v_1})\right\} > p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_{v_2})\right\}, \\ p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{v_2})\right\} &> p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_{v_2})\right\}, \end{aligned}$$

не следует, что

$$p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{v_1})\right\} > p\left\{x_1 = i_0 / (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{v_2})\right\}.$$

Увеличение значности входов и выходов функции влечет за собой дополнительные трудности. Переоценка вероятности по одному значению k -значной функции может быть успешной, то есть может быть найдена наиболее успешно переоцениваемая переменная. В то же время удлиняя выходные мультиграммы, мы не можем увеличивать вероятность переоценки заранее выбранного значения переменной. Очевидно, что существует, вообще говоря, другое значение переменной, которое становится преобладающим. Однако его поиск сравним с перебором всех значений этой переменной. Вместе с тем представляется необходимым на предварительном этапе анализа систем (1) рекуррентного типа составлять каталог коротких мультиграмм и наиболее эффективно переоцениваемых по ним значений входных переменных.

Список литературы

1. Прохоров Ю.В., Розанов Ю.А. Теория вероятностей. – М.: Наука. Главная ред. физ.-мат. лит., 1987. – 3-е изд. перераб.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения / Пер. с англ. Ю.В. Прохорова. Предисл. А.Н. Колмогорова. – М., Мир, 1984.
3. Гаврилкевич М. Введение в нейроматематику // Обозрение прикл. и пром. мат. – М.: ТВП, 1994.
4. Балакин Г.В., Никонов В.Г. Методы сведения булевых уравнений к системам пороговых соотношений // Обозрение прикл. и пром. мат. Сер. Дискретная мат. – 1994. – Т. 1. – Вып. 3. – С. 389–401.
5. Смирнов В.Г. Системы булевых уравнений рекуррентного типа // Обозрение прикл. и пром. мат. Сер. Дискретная мат. – 1995. – Т. 2. – Вып. 3. – С. 477–482.
6. Нетыкшо В.Б. Об одном вероятностно-статистическом подходе к анализу систем линейных псевдобулевых неравенств // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2003. – № 1. – С. 79–85.
7. Нетыкшо В.Б. Об исследовании и применении вероятностных и геометрических свойств пороговых функций // Вестн. Моск. гос. ун-та леса Лесной вестник. – 2003. – № 1(26). – С. 102–112.
8. Колесников О.В. Использование запретов двоичных функций при решении систем уравнений // Обозрение прикл. и пром. мат. Сер. Дискретная мат. – 1995. – Т. 2. – Вып. 3. – С. 483–493.
9. Михайлов В.Г., Чистяков В.П. О задачах теории конечных автоматов, связанных с числом преобразов выходной последовательности // Обозрение прикл. и пром. мат. Сер. Дискретная мат. – 1994. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 7–32.
10. Сачков В.Н. Комбинаторные методы дискретной математики. – М.: Наука, 1977.
11. Сачков В.Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики. – М.: Наука, 1982.
12. Барздинь Я.М., Трахтенброт Б.А. Конечные автоматы (поведение и синтез). – М., 1970.

ПОСТРОЕНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ СИСТЕМ ОДНОТИПНЫХ ДВОИЧНЫХ ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГИСТРА СДВИГА *

А.В. САРАНЦЕВ, ИКСИ

В настоящее время при построении различных узлов переработки дискретной информации широко используются биективные преобразования пространства V_n двоичных векторов. В этой связи прикладной интерес представляет разработка методов построения нелинейных биективных преобразований. К ним могут быть отнесены методы построения биективных преобразований с использованием регулярных систем однотипных функций. Как известно, любое преобразование F пространства V_n может быть задано с помощью системы координатных функций (f_1, \dots, f_n) . Вычисление образа (y_1, \dots, y_n) входного вектора (x_1, \dots, x_n) производится по формуле

$$y_i = f_i(x_1, \dots, x_n), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

В случае, когда преобразование F биективно, система (f_1, \dots, f_n) двоичных функций называется регулярной.

На множестве всех двоичных функций от n переменных введем отношение эквивалентности относительно группы G преобразований пространства V_n , полагая две функции f и φ от n переменных эквивалентными, если существует преобразование $g \in G$, такое, что для любого вектора \vec{x} пространства V_n $\varphi(\vec{x}) = f(g(\vec{x}))$, или, более кратко, $\varphi = g \cdot f$.

Это отношение разбивает множество двоичных функций на непересекающиеся классы эквивалентности, называемые типами функций относительно группы G , или G -типами.

* Работа осуществлена при поддержке гранта Президента РФ (НШ-2358.2003.9)

Система $(f, g_1 f, \dots, g_{n-1} f)$, $g_1, g_2, \dots, g_{n-1} \in G$, однотипных функций, порождающая биективное преобразование, получила название регулярной системы однотипных функций. Для задания такой системы используется одна двоичная функция f от n переменных и $n-1$ преобразование пространства V_n входных векторов. Вычисление образа (y_1, \dots, y_n) входного вектора (x_1, \dots, x_n) преобразования F , заданного системой $(f, g_1 f, \dots, g_n f)$, производится следующим образом:

$$y_i = f(x_1, \dots, x_n) \\ y_{i+1} = f(g_i(x_1, \dots, x_n)), \quad i = 1, 2, \dots, n-1.$$

Использование регулярных систем такого вида позволяет сократить емкостную сложность реализации преобразования. Некоторые свойства систем однотипных функций и подходы к их классификации исследовались в работах [1, 2].

В настоящей работе предложен способ построения регулярных систем однотипных функций на базе аффинного регистра сдвигов.

Пусть $f(x_1, x_2, \dots, x_t) = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_{t-1}) \oplus x_t$ двоичная функция от t переменных, линейная по последней переменной. Очевидно, что она является равновероятной. В качестве преобразования однотипности рассмотрим преобразование пространства V_n , осуществляемое аффинным регистром сдвига

$$\delta_L(x_1, x_2, \dots, x_n) = (x_2, \dots, x_n, L(x_1, x_2, \dots, x_n)),$$

где $L(\vec{x}) = x_1 \oplus \sum_{i=2}^n b_i x_i \oplus b_0$, $b_0, b_i \in \{0, 1\}$, $i \in \overline{2, n}$ – аффинная функция от n переменных.

Исследование регулярности системы $(f, \delta_L f, \dots, \delta_L^{n-1} f)$ однотипных функций, которую будем обозначать $\langle f; \delta_L \rangle$, сводится к решению вопроса о существовании единственного решения системы уравнений

$$\left\{ \delta_L^i f(\vec{x}) = \gamma_{i+1}, \quad i \in \overline{0, n-1} \right. \quad (1)$$

для любого двоичного вектора $(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$.

Заметим, что первые $n-t+1$ уравнений системы (1) имеют следующий вид:

$$\varphi(x_1, x_2, \dots, x_{t-1}) \oplus x_t = \gamma_1, \\ \varphi(x_2, x_3, \dots, x_t) \oplus x_{t+1} = \gamma_2, \\ \dots \\ \varphi(x_{n-t+1}, x_{n-t+2}, \dots, x_n) \oplus x_n = \gamma_{n-t+1}.$$

Поэтому переменные x_t, x_{t+1}, \dots, x_n однозначно выражаются через переменные x_1, x_2, \dots, x_{t-1} и константы $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{n-t+1}$. После подстановки полученных выражений переменных x_t, x_{t+1}, \dots, x_n в оставшиеся $t-1$ уравнения системы (1) исследование регулярности исходной системы $\langle f; \delta_L \rangle$ из n функций от n переменных будет сведено к исследованию регулярности системы из $t-1$ функции от $t-1$ переменной.

Предложенный выше подход был успешно применен к построению некоторых классов регулярных систем нелинейных однотипных функций.

Рассмотрим нелинейную двоичную функцию $f = x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2$ и линейную функцию $L = x_1 \oplus b x_{n-1}$, $b \in \overline{0, 1}$. Покажем, что для любого нечетного $n \geq 3$ система $\langle f; \delta_L \rangle$ однотипных функций является регулярной. В случае $n=3$ регулярность системы $\langle f; \delta_L \rangle$ устанавливается непосредственной проверкой, поэтому в дальнейшем будем рассматривать только нечетные числа $n \geq 5$.

Зафиксируем произвольный двоичный вектор $(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$ и покажем, что система

$$\left\{ \delta_L^i f(\vec{x}) = \gamma_{i+1}, \quad i \in \overline{0, n-1} \right. \quad (2)$$

нелинейных уравнений имеет единственное решение.

Выпишем координатные функции системы $\langle f; \delta_L \rangle$:

$$\delta_L^i f = x_{i+2} \oplus x_{i+3} \oplus x_{i+1} x_{i+2}, \quad i \in \overline{0, n-3}, \\ \delta_L^{n-2} f = x_n \oplus x_1 \oplus b x_{n-1} \oplus x_{n-1} x_n, \\ \delta_L^{n-1} f = x_1 \oplus x_2 \oplus b x_{n-1} \oplus b x_n \oplus x_n (x_1 \oplus b x_{n-1}),$$

и докажем ряд вспомогательных лемм, касающихся свойств системы (2).

Л е м м а 1

Для всех $t \in \overline{3, n}$, справедливо соотношение между переменными x_t, x_1, x_2 и константами $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{t-3}$ в системе (2):

$$x_t = \tilde{n}_t \oplus \begin{cases} \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} \overline{x_2}, & \text{ãñèè } t \div \text{àòíù} , \\ \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{t-3} x_1 x_2, & \text{ãñèè } t \text{ ìá} \div \text{àòíù} , \end{cases}$$

где коэффициент c_t определяется рекуррентно

$$c_t = \gamma_{t-2} \oplus \gamma_{t-3} (1 \oplus c_{t-2}), \quad c_3 = \gamma_1, \quad c_4 = \gamma_2,$$

а в случае $t=3$ коэффициент при $\overline{x_2}$ равен 1.

Д о к а з а т е л ь с т в о

Пусть $t = 2k + 1, \quad k \in \overline{1, \frac{n-1}{2}}$. Доказа-

тельство леммы проведем индукцией по k . При $k=1$ лемма верна, поскольку из первого уравнения системы (2) находим:

$$x_3 = x_2 \oplus x_1 x_2 \oplus \gamma_1 = \gamma_1 \oplus x_1 x_2.$$

Пусть $l \in N$ и утверждение леммы верно для всех $l \leq k-1$, докажем его для $l=k$. Из уравнений системы (2) с номерами $(2k-1)$ и $(2k-2)$ находим:

$$\begin{aligned} x_{2k+1} &= \gamma_{2k-1} \oplus x_{2k} \oplus x_{2k-1} x_{2k} = \gamma_{2k-1} \oplus \overline{x_{2k-1} x_{2k}} = \\ &= \gamma_{2k-1} \oplus x_{2k-1} (\gamma_{2k-2} \oplus x_{2k-2} x_{2k-1}) = \gamma_{2k-1} \oplus \gamma_{2k-2} x_{2k-1} x_{2k-1}. \end{aligned}$$

Отсюда, используя предположение индукции, находим:

$$\begin{aligned} x_{2k+1} &= \gamma_{2k-1} \oplus \gamma_{2k-2} (1 \oplus c_{2k-1} \oplus \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{2k-4} \overline{x_1 x_2}) = \\ &= \gamma_{2k-1} \oplus \gamma_{2k-2} (1 \oplus c_{2k-1}) \oplus \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{2k-4} \gamma_{2k-2} \overline{x_1 x_2}. \end{aligned}$$

Таким образом, для нечетных $t = 2k + 1, \quad k \in \overline{1, \frac{n-1}{2}}$, лемма доказана.

Случай четного $t = 2k, \quad k \in \overline{2, \frac{n-1}{2}}$ доказывается аналогично индукцией по k , при этом используются следующие равенства:

$$\begin{aligned} x_4 &= \gamma_2 \oplus \overline{\gamma_1 x_2}; \\ x_{2k} &= \gamma_{2k-2} \oplus \overline{x_{2k-2} x_{2k-1}} = \gamma_{2k-2} \oplus \overline{\gamma_{2k-3} x_{2k-2}}. \end{aligned}$$

Л е м м а 2

В обозначениях леммы 1 справедливы следующие равенства:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_1 \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-2} &= \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-2}, & \text{ãëÿ ìá} \div \text{àòíùâ} & \quad t \in \overline{3, n}, \\ \tilde{n}_1 \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{t-2} &= \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{t-2}, & \text{ãëÿ} \div \text{àòíùâ} & \quad t \in \overline{4, n-1}. \end{aligned}$$

Д о к а з а т е л ь с т в о

Пусть $t = 2k + 1, \quad t \leq n$. Докажем первое равенство индукцией по k . При $k=1$ имеем:

$$c_3 \gamma_1 = \gamma_1 \gamma_1 = \gamma_1.$$

Пусть $l \in N$ и утверждение леммы верно для всех $l \leq k-1$, докажем его для $l=k$. Имеем:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_{2k+1} \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-1} &= (\gamma_{2k-1} \oplus \gamma_{2k-2} (1 \oplus c_{2k-1})) \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-1} = \\ &= \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-1} \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-1} \gamma_{2k-2} \oplus \\ &\oplus c_{2k-1} \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-3} \gamma_{2k-1} \gamma_{2k-2}. \end{aligned}$$

Отсюда, используя предположение индукции для $l=k-1$, находим:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_{2k+1} \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-1} &= \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-1} \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-1} \gamma_{2k-2} \oplus \\ &\oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-3} \gamma_{2k-1} \gamma_{2k-2} = \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-3} \gamma_{2k-1}. \end{aligned}$$

Второе равенство доказывается аналогично индукцией по k .

Используя доказанные выше леммы, получим ряд соотношений, которые будут применяться в дальнейшем:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_n \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-4} &= \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-2}; \\ \overline{\tilde{n}_{n-1} \tilde{n}_n} &= \overline{\gamma_{n-3} \gamma_{n-2}} \oplus \overline{\gamma_{n-4} \gamma_{n-2} c_{n-3}}; \\ x_1 x_n &= c_n x_1; \end{aligned}$$

$$\tilde{n}_n \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-4} = \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-2};$$

$$x_{n-1} x_n = \tilde{n}_{n-1} \tilde{n}_n \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-2} \overline{x_2} \oplus \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{n-3} \overline{x_1 x_2};$$

$$x_n \oplus x_{n-1} x_n = \tilde{n}_n \oplus \tilde{n}_{n-1} \tilde{n}_n \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-2} \overline{x_2};$$

$$x_{2j} x_n = \tilde{n}_{2j} \tilde{n}_n \oplus \tilde{n}_n \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2j-3} \overline{x_2} \oplus$$

$$\oplus \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{n-3} \overline{x_1 x_2}, \quad \text{ãëÿ } j \in \overline{1, \frac{n-3}{2}}.$$

Из леммы 1 и проведенных выше рассуждений следует, что переменные x_3, x_4, \dots, x_n однозначно выражаются через переменные x_1, x_2 и константы $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{n-2}$. Поэтому исследование регулярности системы (2) сводится к рассмотрению системы из последних двух уравнений

$$\begin{cases} \delta_L^{n-2} f(\vec{x}) = \gamma_{n-1}, \\ \delta_L^{n-1} f(\vec{x}) = \gamma_n, \end{cases} \quad (3)$$

зависящих лишь от двух переменных x_1, x_2 .

Имеем:

$$\begin{aligned} \delta_L^{n-2} f(\vec{x}) &= \tilde{n}_n \oplus \gamma_2 \gamma_4 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-3} \overline{x_1 x_2} \oplus x_1 \oplus \\ &\oplus bc_{n-1} \oplus b\gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} \overline{x_2} \oplus c_{n-1} c_n \oplus \\ &\oplus \tilde{n}_{n-1} \gamma_2 \gamma_4 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-3} \overline{x_1 x_2} \oplus \tilde{n}_n \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} \overline{x_2} = \\ &= x_1 \oplus (b \oplus \tilde{n}_n) \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} x_2 \oplus bc_{n-1} \oplus \\ &\oplus \tilde{n}_n \oplus c_{n-1} c_n \oplus (b \oplus \tilde{n}_n) \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4}, \\ \delta_L^{n-1} f(\vec{x}) &= x_1 \oplus x_2 \oplus bc_{n-1} \oplus b\gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} \overline{x_2} \oplus \\ &\oplus bc_n \oplus b\gamma_2 \gamma_4 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-3} \overline{x_1 x_2} \oplus c_n x_1 \oplus bc_{n-1} c_n \oplus \\ &\oplus b\gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-2} x_2 \oplus b\gamma_2 \gamma_4 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-3} \overline{x_1 x_2} = \\ &= (1 \oplus \tilde{n}_n) x_1 \oplus [1 \oplus (1 \oplus \tilde{n}_n) b \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4}] x_2 \oplus \\ &\oplus b(c_{n-1} \oplus (1 \oplus \tilde{n}_n) \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} \oplus \tilde{n}_n \oplus c_{n-1} c_n). \end{aligned}$$

Тогда система (3) может быть записана в виде:

$$\begin{cases} x_1 \oplus (b \oplus \tilde{n}_n) \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} x_2 = \alpha, \\ (1 \oplus \tilde{n}_n) x_1 \oplus [1 \oplus (1 \oplus \tilde{n}_n) b \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4}] x_2 = \beta, \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} \alpha &= bc_{n-1} \oplus \tilde{n}_n \oplus c_{n-1} c_n \oplus (b \oplus \tilde{n}_n) \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} \oplus \gamma_{n-1}, \\ \beta &= b(c_{n-1} \oplus (1 \oplus \tilde{n}_n) \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} \oplus \tilde{n}_n \oplus c_{n-1} c_n) \oplus \gamma_n. \end{aligned}$$

Решая эту систему уравнений, находим единственное решение

$$\begin{aligned} x_1 &= \gamma_1 \gamma_3 \cdot \dots \cdot \gamma_{n-4} [b(1 \oplus \gamma_{n-1} \oplus \gamma_n \oplus \gamma_{n-2} \gamma_{n-1}) \oplus \gamma_{n-2} \oplus \gamma_{n-2} \gamma_n] \oplus \\ &\oplus bc_{n-1} \oplus \gamma_{n-3} \gamma_{n-2} \oplus \gamma_{n-4} \gamma_{n-2} c_{n-3} \oplus \gamma_{n-1}, \\ x_2 &= \gamma_{n-1} \oplus c_n \gamma_{n-1} \oplus bc_n \oplus \gamma_n. \end{aligned}$$

Проведенные рассуждения приводят к следующему утверждению.

Теорема 1

Для всех нечетных $n \geq 3$ система $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2; \delta_{x_1 \oplus bx_{n-1}} \rangle$, $b \in \overline{0, 1}$, однотипных двоичных функций является регулярной.

Полученное из системы (2) выражение переменных x_1, x_2 через константы $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ и приведенные в лемме 1 соотношения между переменными x_3, x_4, \dots, x_n и x_1, x_2 , позволяют выписать полиномиальное представление координатных функций преобразования

$\langle f; \delta_L \rangle^{-1}$, обратного к $\langle f; \delta_L \rangle$. Это позволяет исследовать степень нелинейности построенных преобразований. Здесь под степенью нелинейности биективного преобразования пространства V_n подразумевается минимум степеней нелинейности всех нетривиальных линейных комбинаций координатных функций преобразования.

Теорема 2

Для всех нечетных $n \geq 3$ степень нелинейности преобразования $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2; \delta_{x_1 \oplus bx_{n-1}} \rangle$, $b \in \overline{0, 1}$, равна 2.

Доказательство

Справедливость данного утверждения непосредственно вытекает из вида координатных функций преобразования $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2; \delta_{x_1 \oplus bx_{n-1}} \rangle$. Оно действительно, поскольку линейное преобразование координат функции не изменяет ее степени нелинейности [3], то степень нелинейности преобразования $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2; \delta_{x_1 \oplus bx_{n-1}} \rangle$ не превышает степени нелинейности порождающей функции, в данном случае 2. Покажем, что она в точности равна 2. В полиномиальную запись координатной функции $\delta_L^i f$, $i \in \overline{0, n-2}$, входит единственный моном второй степени вида $x_{i+1} x_{i+2}$. Последняя координатная функция $\delta_L^{n-1} f$ содержит в полиномиальной записи единственное слагаемое $x_1 x_n \oplus b x_{n-1} x_n$ второй степени. Попарное отличие всех членов второй степени гарантирует, что в любой нетривиальной линейной комбинации координатных функций будет содержать хотя бы одно слагаемое второй степени.

Теорема 3

Для всех нечетных $n \geq 3$ степень нелинейности преобразования $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2; \delta_{x_1 \oplus bx_{n-1}} \rangle^{-1}$, $b \in \overline{0, 1}$, обратного к $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2; \delta_{x_1 \oplus bx_{n-1}} \rangle$, равна $\frac{n+1}{2}$.

Доказательство

Заметим, что для любого $t \leq n$ степень нелинейности c_t , как функции от

$\gamma_1, \gamma_3 \dots \gamma_{t-2}$, равна $\left[\frac{t-1}{2} \right]$. Используя полу-

ченное ранее решение системы (2), заметим, что в полиномиальной записи первой координатной функции преобразования $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1}} \rangle^{-1}$ единственное слагаемое наибольшей степени имеет вид:

$$b \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-4} \gamma_{n-2} \gamma_{n-1} \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-4} \gamma_{n-2} \gamma_n.$$

Поэтому, независимо от коэффициента b , ее степень равна $\frac{n+1}{2}$. Вторая координатная функция преобразования $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1}} \rangle^{-1}$ имеет степень нелинейности $\frac{n-1}{2} + 1 = \frac{n+1}{2}$, поскольку c_n не зависит от γ_{n-1} .

Рассмотрим координатную функцию с номером t , где $2 < t < n$ – четно. В полиномиальном представлении она имеет вид

$$c_t \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} \overline{x_2} = c_t \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} \oplus \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} (\gamma_{n-1} \oplus c_n \gamma_{n-1} \oplus b c_n \oplus \gamma_n).$$

Из этого представления видно, что моном наибольшей степени может присутствовать только в произведении $c_n \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} \gamma_{n-1}$. При этом, поскольку

$$c_n = (\gamma_{n-2} \oplus \gamma_{n-3} (\overline{\gamma_{n-4}} \oplus \dots \oplus \gamma_t (\overline{\gamma_{t-1}} \oplus \gamma_{t-2} (\overline{\gamma_{t-3}} \oplus \oplus \gamma_{t-4} (\overline{\gamma_{t-5}} \oplus \dots \gamma_4 (\overline{\gamma_1} \oplus \gamma_2 \overline{\gamma_3})))))) \oplus \dots \oplus \gamma_t (\overline{\gamma_{t-1}})),$$

то

$$c_n \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} = (\gamma_{n-2} \oplus \gamma_{n-3} (\overline{\gamma_{n-4}} \oplus \oplus \dots \oplus \gamma_t (\overline{\gamma_{t-1}}))) \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3}.$$

В последнем произведении моном наибольшей степени будет иметь вид

$$\gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} \gamma_{t-1} \gamma_t \gamma_{t+2} \dots \gamma_{n-5} \gamma_{n-3}.$$

Следовательно, в полиномиальной записи координатной функции единственный моном наибольшей степени имеет вид

$$\gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} \gamma_{t-1} \gamma_t \gamma_{t+2} \dots \gamma_{n-5} \gamma_{n-3} \cdot \gamma_{n-1}.$$

Его степень, а значит и степень рассматриваемой координатной функции, равна

$$\left(\frac{t-1-1}{2} + 1 \right) + \left(\frac{n-1-t}{2} + 1 \right) = \frac{n+1}{2}.$$

Рассмотрим теперь t координатную функцию, где $2 < t \leq n$ – нечетно. Ее полиномиальное представление имеет вид

$$c_t \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{t-3} \overline{x_1 x_2}.$$

Аналогичными рассуждениями устанавливаем, что единственное слагаемое наибольшей степени имеет вид

$$b \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{t-1} \gamma_t \gamma_{t+2} \dots \gamma_{n-2} \gamma_{n-1} \oplus \oplus \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{t-1} \gamma_t \gamma_{t+2} \dots \gamma_{n-2} \gamma_n.$$

Его степень нелинейности, а значит и степень нелинейности всей координатной функции равна

$$\left(\frac{t-1-2}{2} + 1 \right) + \left(\frac{n-t}{2} + 1 \right) = \frac{n+1}{2}.$$

Таким образом, все координатные функции рассматриваемого преобразования $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1}} \rangle^{-1}$ имеют степень нелинейности $\frac{n+1}{2}$.

Обозначим слагаемые наибольшей степени $\frac{n+1}{2}$ координатной функции с номером t через g_t и выпишем их.

$$g_1 = b \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-4} \gamma_{n-2} \gamma_{n-1} \oplus \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{n-4} \gamma_{n-2} \gamma_n$$

$$g_2 = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{n-5} \gamma_{n-3} \gamma_{n-1}$$

$$g_3 = b \gamma_2 \gamma_3 \gamma_5 \dots \gamma_{n-2} \gamma_{n-1} \oplus \gamma_2 \gamma_3 \gamma_5 \dots \gamma_{n-2} \gamma_n$$

.....

$$g_{2k} = \gamma_1 \gamma_3 \dots \gamma_{2k-3} \gamma_{2k-1} \gamma_{2k} \gamma_{2k+2} \dots \gamma_{n-5} \gamma_{n-3}$$

$$g_{2k+1} = b \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{(2k+1)-1} \gamma_{(2k+1)} \gamma_{(2k+1)+2} \dots \gamma_{n-2} \gamma_{n-1} \oplus$$

$$\oplus \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{(2k+1)-1} \gamma_{(2k+1)} \gamma_{(2k+1)+2} \dots \gamma_{n-2} \gamma_n$$

.....

$$g_{n-2} = b \gamma_2 \gamma_3 \gamma_5 \dots \gamma_{n-3} \gamma_{n-2} \gamma_{n-1} \oplus$$

$$\oplus \gamma_2 \gamma_3 \gamma_5 \dots \gamma_{n-3} \gamma_{n-2} \gamma_n$$

$$g_{n-1} = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{n-2} \gamma_{n-1}$$

$$g_n = \gamma_2 \gamma_4 \dots \gamma_{n-1} \gamma_n,$$

Любая их нетривиальная линейная комбинация будет содержать слагаемое степени $\frac{n+1}{2}$. Следовательно, степень нелинейности исследуемого преобразования $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1}} \rangle^{-1}$ равна $\frac{n+1}{2}$.

Рассмотрим теперь, как на основе построенных регулярных систем вида $\langle f ; \delta_L \rangle$ однотипных функций строить другие регулярные системы того же вида. Очевидно, что в случае регулярности системы $\langle f ; \delta_L \rangle$, системы $\langle \bar{f} ; \delta_L \rangle$ и $\langle \delta_L^k f ; \delta_L \rangle$, $k \in N$, также являются регулярными. Здесь используется тот факт, что композиция биективных преобразований является биективным преобразованием.

Теорема 4

Для любого нечетного $n \geq 3$ и $b \in \overline{0, 1}$ система $\langle x_1 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1} \oplus b} \rangle$ однотипных функций является регулярной. При этом справедливо соотношение

$$\langle x_1 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1} \oplus b} \rangle = \sigma \langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1}} \rangle \sigma,$$

где σ – преобразование, инвертирующее координаты векторов пространства V_n .

Доказательство

Справедливость приведенного соотношения устанавливается непосредственной проверкой вида координатных функций систем $\langle x_1 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1} \oplus b} \rangle$ и $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1}} \rangle$. Регулярность системы $\langle x_1 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1} \oplus b} \rangle$ следует из регулярности преобразований σ и $\langle x_2 \oplus x_3 \oplus x_1 x_2 ; \delta_{x_1 \oplus b x_{n-1}} \rangle$.

Из доказанных утверждений вытекает, что для функций специального вида комбинация регистра сдвига и нелинейной функции позволяет строить технически просто реализуемые нелинейные биективные отображения. Полученные результаты развивают принципы компактной реализации биективных преобразований [3].

Список литературы

1. Никонов В.Г. Классификация минимальных базисных представлений всех булевых функций от четырех переменных // Обозрение прикл. и пром. мат. Сер. Дискретная мат. – 1994. – Т. 1. – Вып. 3. – С. 458–545.
2. Никонов В.Г., Саранцев А.В. Методы компактной реализации биективных отображений, заданных регулярными системами однотипных булевых функций // Вестник РУДН. Сер. Прикл. и комп. мат. – 2003. – Т.2, № 1. – С. 93–104.
3. Черемушкин А.В. Методы линейной и аффинной классификации двоичных функций // Тр. по дискр. мат. – М.:ФИЗМАТЛИТ. – 2001. – Т. 4. – С. 273–314.

О ПЕРЕРАБОТКЕ КОНЕЧНЫМИ АВТОМАТАМИ ЧЕЗАРОВСКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

С.Ю. МЕЛЬНИКОВ, «Стэл – Компьютерные Системы», канд. физ.-мат. наук

§ 1. Чезаровские последовательности

Пусть B – конечное множество (алфавит). Множество всех бесконечных последовательностей над B обозначим Ω ,

$$\Omega = \{ \omega = w_0 w_1 \dots \mid w_t \in B, t = 0, 1, \dots \}$$

Через B^* обозначим множество всех слов в алфавите B . Для каждого слова $\alpha \in$

B^* , $\alpha = a_0 a_1 \dots a_{m-1}$, где $a_i \in B$, определим цилиндр

$$[\alpha] = [a_0 a_1 \dots a_{m-1}] = \{ \omega = w_0 w_1 \dots \mid w_0 = a_0, \dots, w_{m-1} = a_{m-1} \} \subset \Omega.$$

Характеристическую функцию произвольного подмножества $F \subset \Omega$ будем обозначать IF :

$$IF(\omega) = \begin{cases} 1, & \text{если } \omega \in F \\ 0, & \text{если } \omega \notin F \end{cases}$$

Вместо $I[\alpha]$ будем писать просто $I\alpha$.

Определим отображение T («сдвиг последовательности»), $T: \Omega \rightarrow \Omega$ соотношением $T: \omega = w_0 w_1 \dots \rightarrow \omega T = w_1 w_2 \dots$

Запись $I\alpha(\omega T^t) = 1$, означает, таким образом, что $w_t = a_0, \dots, w_{t+m-1} = a_{m-1}$.

Число $\frac{1}{t} \sum_{j=0}^{t-1} I\alpha(\omega T^{s+j})$ называется [1]

относительной частотой встречаемости слова α в последовательности ω на отрезке от s до $s+t-1$. Слово α назовем *чезаровским* для ω , и будем использовать обозначение

$$p\alpha(\omega) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \sum_{j=0}^{t-1} I\alpha(\omega T^j), \quad (1)$$

если предел в правой части существует. Величину $p\alpha(\omega)$ можно интерпретировать как среднюю частоту встречаемости слова α в последовательности ω [1].

Последовательность ω назовем *l-чезаровской*, если все слова из B^* длины меньшей или равной l являются для нее чезаровскими. Класс *l-чезаровских* последовательностей будем обозначать $\Sigma_B^{(l)}$. Последовательность назовем *чезаровской*, если произвольное слово из B^* является для нее чезаровским. Класс чезаровских последовательностей обозначим ΣB . Очевидно, выполняются включения

$$\Sigma_B^{(1)} \supseteq \Sigma_B^{(2)} \supseteq \dots \supseteq \Sigma_B.$$

Примерами последовательностей из класса ΣB являются бесконечные периодические последовательности (как чисто периодические, так и последовательности с подходом), множество которых мы обозначим TB , $TB \subset \Sigma B$. В этом случае, как видно из формулы (1), $p\alpha$ является отношением частоты встречаемости слова α на периоде (количества мест на периоде, с которых в последовательности начинается слово α) к длине периода. Например, для последовательности $010101\dots$ имеем

$$p1 = 1/2, p01 = 1/2, p0101 = 1/2, p011 = 0.$$

В [1] указаны способы построения чезаровских непериодических двоичных последовательностей, порожденных машинами Тьюринга. Примером одной из таких последовательностей является последовательность Кини [4], названная автором «вальсом бесконечного порядка»: $(001\ 001\ 110\ 001\ 001\ 110\ 110\ 001\ \dots)$.

Можно показать, что для $\alpha = 1$ имеет место

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \sum_{j=0}^{t-1} I\alpha(\omega T^j) = \frac{1}{2}.$$

Класс ΣB содержит «почти все» последовательности в алфавите B .

У т в е р ж д е н и е 1

Пусть (w_0, w_1, \dots) – представление числа $x \in (0,1)$ в виде B -ичной дроби. (В случае неоднозначного представления выбираем последовательность с бесконечным количеством нулей). Мера Лебега множества тех $x \in (0,1)$, для которых последовательность (w_0, w_1, \dots) является чезаровской, равна 1.

Д о к а з а т е л ь с т в о

Поскольку мера счетного пересечения подмножеств отрезка $(0,1)$, имеющих меру 1, равна 1, достаточно доказать, что мера тех точек отрезка, для которых существует предел (1) при фиксированном $\alpha = (a_0 a_1 \dots a_{l-1}) \in B^*$, равна 1.

Рассмотрим вероятностное пространство, образованное отрезком $(0,1)$, σ -алгеброй измеримых по Лебегу множеств и мерой Лебега, выбранной в качестве вероятности. Прежде всего заметим, что величины w_0, w_1, \dots независимы. В самом деле, для $k \in \mathbb{N}, ik \in B$

$$\begin{aligned} \text{mes}\{x: w_0 = i_0, w_1 = i_1, \dots, w_{s-1} = i_{s-1}\} &= \\ &= 1/B^s = \prod_{k=0}^{s-1} \text{mes}\{x: w_k = i_k\}. \end{aligned}$$

Последовательность $I\alpha(\omega T^j)$, $j = 0, 1, 2, \dots$ является последовательностью l -зависимых случайных величин. Следовательно, для нее справедлив усиленный закон больших чисел, означающий, в частности,

существование предела (1) при фиксированном $\alpha = (a_0 a_1 \dots a_{l-1}) \in B^*$ почти всюду.

§ 2. Эргодические автоматы

Пусть $A = (X, Y, Q, h, f)$ – конечный сильносвязный автомат Мили, где X и Y – входной и выходной алфавиты,

- Q – множество состояний;
- $h: Q \times X \rightarrow Q$ – функция переходов;
- $f: Q \times X \rightarrow Y$ – функция выходов.

Автомат A назовем *эргодическим*, если, начиная работать из произвольного начального состояния q_0 , произвольную последовательность $\chi \in \Sigma X$ он перерабатывает в последовательность $\gamma = ExtA(q_0, \chi)$ из класса ΣY .

Автоматом с конечным запоминанием называется ([3]) автомат, обладающий тем свойством, что для любого его начального состояния и произвольного входного слова последняя буква выходного слова зависит только от последних k знаков входного слова.

У т в е р ж д е н и е 2

Автомат с конечным запоминанием является эргодическим.

Д о к а з а т е л ь с т в о

Присутствие в выходной последовательности конкретной $(l+1)$ -граммы зависит только от $(k+l)$ подряд идущих знаков входной последовательности.

У т в е р ж д е н и е 3

(Пример неэргодического автомата). Пусть $A = (X = Y = Q = \{0,1\}, h, f)$ где $h(q,x) = q \oplus x$, $f(q,x) = q$. Существует чезаровская последовательность χ , перерабатываемая автоматом A в последовательность γ , не являющуюся 1-чезаровской.

Д о к а з а т е л ь с т в о

Автомат A является триггером. Он может находиться в одном из двух состояний. При поступлении на вход нуля автомат сохраняет свое состояние, при поступлении единицы – меняет. В качестве входной последовательности χ рассмотрим последовательность следующего вида:

$$\chi = 0 \ 10 \ 1000 \ 10000000 \ 100\dots,$$

в которой единицы расположены на местах с номерами $2i$, $i = 0,1,\dots$. Если начальное состояние автомата было нулевым, то последовательность состояний имеет вид

$$\gamma = 0 \ 0 \ 11 \ 0000 \ 11111111 \ 000\dots$$

Последовательность γ образована (начиная со второго знака) чередующимися сериями из нулей и единиц, длина которых удваивается от серии к серии. Нетрудно видеть, что значения верхнего и нижнего пределов последовательности $\frac{1}{t} \sum_{j=0}^{t-1} \gamma_j$, $t = 1,2,\dots$ относительных частот единиц различны. Следовательно, для γ пределы (1) не определены уже при $l = 1$.

Для доказательства того, что $\chi \in \Sigma X$, достаточно заметить, что относительная частота единиц в растущих начальных отрезках этой последовательности уменьшается экспоненциально. Следовательно, предел относительной частоты встречаемости произвольного слова, отличного от $0k$, $k = 1,2,\dots$ существует и равен нулю. Для слов вида $0k$ соответствующие пределы равны единице.

§ 3. Многогранники автоматов

Зафиксируем два набора слов $\{\alpha_i \in X^*, i = 1,2,\dots,t\}$ и $\{\beta_j \in Y^*, j = 1,2,\dots,k\}$. Предположим, что автомат A перерабатывает последовательность $\chi = (x_0, x_1, \dots)$ в последовательность $\gamma = (y_0, y_1, \dots)$. Начальное состояние автомата обозначим q_0 . Последовательности χ поставим в соответствие вектор

$$z(A, q_0)(\chi) = (p\alpha_1(\chi), \dots, p\alpha_t(\chi), p\beta_1(\gamma), \dots, p\beta_k(\gamma)) \quad (2)$$

если все величины, стоящие в правой части, определены.

Для автомата A правило (2) определяет отображение

$$Z(A, q_0): TX \rightarrow [0,1]t + k \subset Rt + k,$$

которое в случае эргодического автомата A продолжается до отображения

$$Z(A, q_0): \Sigma X \rightarrow [0,1]t + k \subset Rt + k.$$

Множества $Z(A, q_0)$ (ΣX) и $Z(A, q_0)$ (TX) обозначим R_A^Σ и R_A^T соответственно. Подчеркнем, что первое множество определено только для эргодического, а второе – для произвольного сильносвязного конечного автомата A . Замыкание (совокупность всех предельных точек) множества R_A^T обозначим RA . Корректность принятых обозначений следует из того, что в силу сильносвязности A для произвольных двух состояний q_0 и q'_0 имеет место $Z(A, q_0)$ (ΣX) = $Z(A, q'_0)$ (ΣX), $Z(A, q_0)$ (TX) = $Z(A, q'_0)$ (TX). В [4] показано, что множество RA является выпуклым многогранником в кубе $[0,1]^{t+k}$. Это множество мы будем называть *многогранником автомата A* .

Нетрудно видеть, что мощность множества R_A^Σ равна континууму, в то время как множество R_A^T счетно.

У т в е р ж д е н и е 4

Для эргодического автомата A множество R_A^T плотно в R_A^Σ . Справедливо равенство $R_A^\Sigma = RA$.

Д о к а з а т е л ь с т в о

Рассмотрим произвольную точку $z \in R_A^\Sigma$. Для подходящей последовательности $\chi = (x_0, x_1, \dots)$ имеем

$$z = z(A, q_0)(\chi) = (p\alpha_1(\chi), \dots, p\alpha_t(\chi), p\beta_1(\chi), \dots, p\beta_k(\chi)),$$

где $\gamma = ExtA(q_0, \chi)$.

Через χk обозначим периодическую последовательность с периодом $(x_0, x_1, \dots, x_{k-1})$. Положив $zk = z(A, q_0)(\chi k)$, имеем $zk \rightarrow z$. Замечая, что $zk \in R_A^T$, получаем равенство замыкания множества R_A^T и множества R_A^Σ .

Определение множества RA можно качественно пояснить следующим образом. Достаточно длинная последовательность χ с частотами встречаемости слов $\alpha_1, \dots, \alpha_t$, близкими к $p\alpha_1, \dots, p\alpha_t$ может быть переработана автоматом A в последовательность γ с частотами встречаемости слов β_1, \dots, β_k , близкими к $p\beta_1, \dots, p\beta_k$, тогда и только тогда, когда точка $(p\alpha_1(\chi), \dots, p\alpha_t(\chi),$

$p\beta_1(\chi), \dots, p\beta_k(\chi))$ расположена внутри многогранника автомата или вблизи него.

Пусть l – максимум из длин слов множеств $\{\alpha_i, i = 1, 2, \dots, t\}$ и $\{\beta_j, j = 1, 2, \dots, k\}$. Определим автомат $A(l) = (X, Y, Q(l), h(l), f(l))$, положив

$$Q(l) = \{(q(1), x(1)), (q(2), x(2)), \dots, (q(l-1), x(l-1)), q(l)\},$$

где $h(q(i), x(i)) = q(i+1), i = 1, 2, \dots, l-1; q^{(i)} \in Q, j = 1, 2, \dots, l, x^{(j)} \in X, j = 1, 2, \dots, l-1\}$ – множество состояний;

$h^{(i)} : Q^{(i)} \times X \rightarrow Q^{(i)}$ – функция переходов;

$$h(l) (((q(1), x(1)), (q(2), x(2)), \dots, (q(l-1), x(l-1)), q(l)), x) = ((q(2), x(2)), \dots, (q(l-1), x(l-1)), (q(l), x), h(q(l), x));$$

$f^{(i)} : Q^{(i)} \times X \rightarrow Y$ – функция выходов;

$$f(l) (((q(1), x(1)), (q(2), x(2)), \dots, (q(l-1), x(l-1)), q(l)), x) = f(q(l), x).$$

Через Gl обозначим граф переходов автомата $A(l)$, дуга $(q, h^{(i)}(q, x))$ которого помечена символами $(x, f^{(i)}(q, x)), q \in Q^{(i)}$ [3].

Под (ориентированным) циклом в графе Gl мы понимаем циклическую последовательность попарно различных дуг, в которой конец каждой дуги совпадает с началом следующей. Множество всех циклов в Gl обозначим $Cl(A)$. С каждым циклом из $Cl(A)$ свяжем циклические последовательности первых и вторых координат меток дуг цикла. Эти последовательности будем называть входной и выходной разметками цикла соответственно, приняв для них обозначения $c(x)$ и $c(y)$. Для $\xi = (\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_m) \in B^*$ через $\langle \xi \rangle$ обозначим периодическую последовательность $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_m, \xi_0, \xi_1, \dots, \xi_m, \dots$ с периодом ξ . (Здесь $B = X$ или $B = Y$).

Для $c \in Cl(A)$ введем обозначения:

$l(c)$ – длина цикла,

$$\nu\alpha(c) = \frac{1}{l} \sum_{j=0}^{l(c)-1} I_\alpha(\langle c^{(x)} \rangle T^j) - \text{относительная частота встречаемости слова } \alpha \text{ во входной разметке } c(x) \text{ цикла } c,$$

относительная частота встречаемости слова α во входной разметке $c(x)$ цикла c ,

$$\nu\beta(c) = \frac{1}{l} \sum_{j=0}^{l(c)-1} I_\beta(\langle c^{(y)} \rangle T^j) - \text{относительная частота встречаемости слова } \beta \text{ в выходной разметке } c(y) \text{ цикла } c,$$

относительная частота встречаемости слова β в выходной разметке $c(y)$ цикла c ,

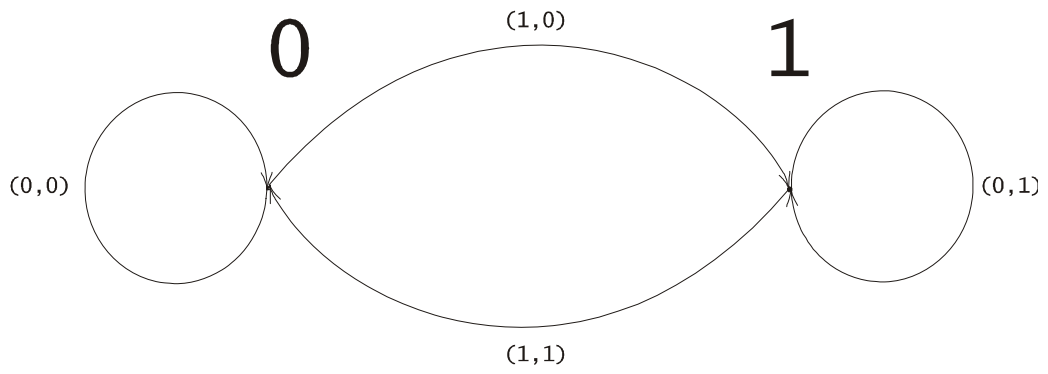


Рис. 1

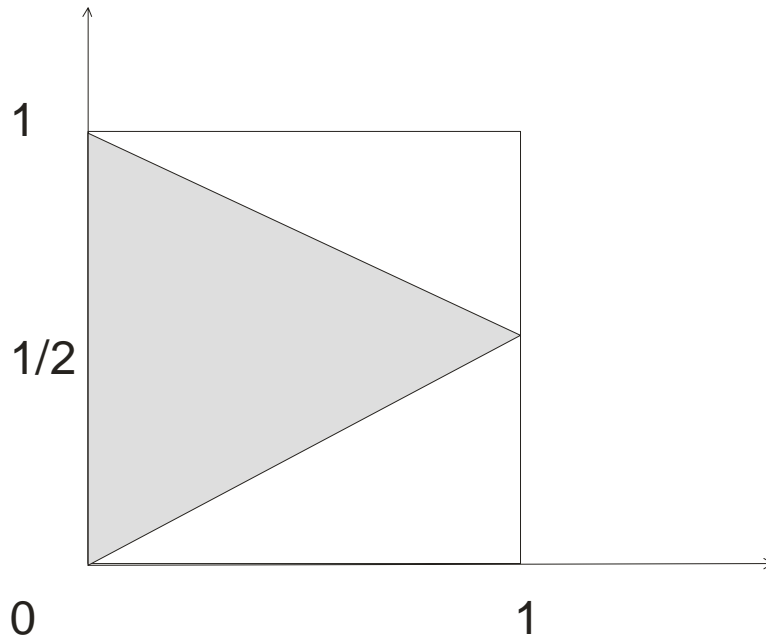


Рис. 2

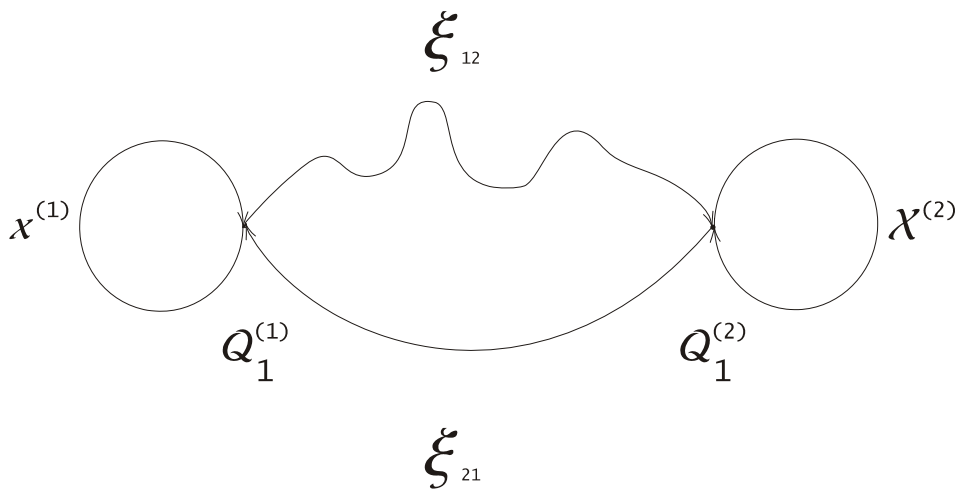


Рис. 3

$z(c) = (v\alpha_1(c), \dots, v\alpha_k(c), v\beta_1(c), \dots, v\beta_t(c))$ – вектор относительных частот.

Если E – некоторое множество точек из R^n , то $Conv E$ обозначает выпуклую оболочку множества E .

У т в е р ж д е н и е 5

$RA = Conv \{z(c), c \in Cl(A)\}$ [4].

Приведем пример построения многогранника неэргодического автомата. Воспользуемся автоматом из утверждения 3. Выберем $k = t = 1$, $\alpha_1 = \beta_1 = 1$. Граф автомата изображен на Рис. 1, он содержит три элементарных цикла: петлю в нулевой вершине с меткой (0,0), петлю в единичной вершине с меткой (0,1) и цикл длины 2 между вершинами, метки дуг которого равны (1,0) и (1,1). Вектора $z(c)$ перечисленных циклов равны (0,0), (0,1) и (1,1/2).

Многогранник автомата является плоским многоугольником, он изображен на Рис 2. (Ось абсцисс соответствует относительным частотам встречаемости единиц во входной последовательности, ось ординат – в выходной.)

В приведенном примере многоугольник автомата содержит сторону, параллельную оси ординат. В то же время примеры многоугольников автоматов с конечным запоминанием таким свойством не обладают.

У т в е р ж д е н и е 6

Пусть $A = (X = Y = \{0,1\}, S, h, f)$ – сильносвязный автомат, $k = t = 1$, $\alpha_1 = \beta_1 = 1$. Если автомат A является эргодическим, то его многоугольник не содержит параллельных оси ординат сторон.

Д о к а з а т е л ь с т в о

Предположим противное. Если RA содержит сторону, параллельную оси ординат, то в силу его выпуклости точки этой стороны имеют абсциссы 0 или 1. Без ограничения общности считаем, что рассматриваемая сторона лежит на прямой

$z_1 = 0$. Вершинам многоугольника RA , которые стягивает рассматриваемая сторона, в графе переходов соответствуют циклы c_1 и c_2 , такие, что $z_1(c_1) = z_1(c_2) = 0$, $z_2(c_1) \neq z_2(c_2)$.

Пусть множество состояний цикла c_i есть $\{q_1(i), \dots, q_{l_i}(i)\}$, l_i – длина цикла c_i , $i = 1, 2$. Пусть $\chi(i) = (x_0^{(i)}, \dots, x_{l_i-1}^{(i)})$ – входная последовательность, под действием которой автомат A проходит цикл c_i , начиная из состояния $q_1(i)$, $i = 1, 2$. Через ξ_{12} (ξ_{21}) обозначим кратчайшую последовательность, переводящую автомат A из состояния $q_1(1)$ в состояние $q_1(2)$ (из состояния $q_1(2)$ в состояние $q_1(1)$) рис. 3.

Рассмотрим последовательность

$$\chi = (\chi(1))k_1\xi_{12}(\chi(2))k_2\xi_{21}(\chi(1))k_3\xi_{12}(\chi(2))k_4 \dots$$

Нетрудно видеть, что при $k_i = 22i$ имеет место $\chi \in \Sigma$. Пусть $\gamma = ExtA(q_0, \chi)$ – выходная последовательность. Рассмотрим начальный отрезок последовательности γ длины $k_1 + |\xi_{12}| + k_2 + |\xi_{21}| + \dots + k_n$. Непосредственный подсчет показывает, что относительная частота встречаемости единиц на этом отрезке равна $z_2(c_1)(1+O(2-2n-1))$ при нечетном n и $z_2(c_2)(1+O(2-2n-1))$ при четном n . Это означает, что у этой последовательности не существует предела и, следовательно, $\gamma \notin \Sigma$, что противоречит условию эргодичности автомата A .

Список литературы

1. Якобс К. Машинно-порожденные 0-1 последовательности // Кн. Машины Тьюринга и рекурсивные функции. – М.: Мир, 1972. – С. 216–247.
2. Кудрявцев В.Б., Алешин С.В., Подколзин А.С. Введение в теорию автоматов. – М.: Наука Гл.ред. физ.-мат. лит., 1985. – 320 с.
3. Мельников С.Ю. Многогранники, характеризующие статистические свойства конечных автоматов // Тр. по дискретной мат. — М.: Физ.-мат. лит., 2003. – Т. 7.
4. Keane M. Generalized Morse sequences // Z. Wahrscheinlichkeitstheorie verw. Geb., V.10, 1968, pp.335–353.

АННОТАЦИИ

Царалунга В.В., Гарнага В.В. РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ ДУБА РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ СОСТОЯНИЯ.

В настоящей работе выявлен уровень градации радиально прироста у деревьев дуба различного состояния и с этой позиции дается оценка объективности выделения категорий состояния по габитуальным патологическим признакам.

Царалунга В.В. ОСОБЕННОСТИ САНИТАРНЫХ РУБОК В ДУБРАВАХ.

В статье отражена специфика выборочных санитарных рубок в отечественных дубравах и показаны пути оптимизации технологии их проведения.

Цай Ю.Т., Стельмахович С.В., Косов И.В. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ ЛЕСНОГО ПОЖАРА.

Изучение опасных факторов лесного пожара позволяет определить количественный и качественный состав ОФЛП, изучить воздействия этих факторов на состояние и работоспособность лесных пожарных, разработать более совершенные эффективные средства и методы защиты людей.

Живайкина Н.В. ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОВЕНИЕНЦИЯМИ ЕЛИ В ВЕРХНЕ – КЛЯЗЬМИНСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ СОЛНЕЧНО-ГОРСКОГО ЛЕСХОЗА.

Полученные результаты дают основание скорректировать «Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород» (1982) [2] и в конечном итоге внести предложения по использованию в центральном (№ 10) лесосеменном районе семян западного происхождения из Эстонии, Беларуси и Закарпатской области Украины.

Федотов Г.Н. К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ НЕРАСТВОРЯЮЩЕГО ОБЪЕМА ПОЧВ.

В статье проведен анализ экспериментальных данных по нерастворяющему объему почв.

Показано, что наблюдается четкая корреляция между факторами, влияющими на нерастворяющий объем и на размер коллоидных образований.

Приведена термодинамическая трактовка процесса возникновения нерастворяющего объема в почвах и сделан вывод о его природе.

Харченко Н.Н. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОПОЛЯ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ.

В статье рассматриваются вопросы корреляции между продолжительностью жизни и плодовитостью.

Харченко Н.Н. СУТОЧНАЯ АКТИВНОСТЬ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ.

В статье рассматривается суточная активность норных зверей

Харченко Н.Н. СЕЗОННАЯ АКТИВНОСТЬ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ.

В статье рассматривается сезонная активность норных зверей

Харченко Н.Н. ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ МИГРАЦИЙ И РАССЕЛЕНИЯ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОПОЛЬЯ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ.

В статье рассматриваются миграция млекопитающих и конкурентные отношения различных видов норок.

Харченко Н.Н. КОНКУРЕНТНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКОЙ И АМЕРИКАНСКОЙ НОРОК НА СРЕДНЕМ ПОДОНЬЕ.

В статье рассматриваются миграция млекопитающих и конкурентные отношения различных видов норок.

Бурдин Н.А., Пешков В.В. ПРИМЕНЕНИЕ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ В ДЕРЕВЯННОМ ДОМОСТРОЕНИИ ЗА РУБЕЖОМ.

Дан обзор применения клееных конструкционных изделий из древесины в различных регионах, в том числе Северной Америки, Европе, Азиатско-тихоокеанском регионе и др.

Рассмотрены перспективы развития рынка клееных конструкционных изделий из древесины.

Меньшикова М.А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСНОГО СЕКТОРА.

Рассматриваются вопросы оценки системы управления затратами лесопромышленной фирмы, компании.

Предложен порядок определения интегрального показателя эффективности управления, коэффициент экономичности управления. Изложены условия построения эффективной системы управления затратами. Приведены показатели отчетности центров затрат по различным уровням управления, рекомендуемые для использования на лесопромышленных предприятиях.

Menshikova M.A. THE EFFICIENCY OF COST MANAGEMENT AT AN FOREST INDUSTRY ENTERPRISE.

The paper deals with some problems of cost management estimation system at a forest industry firm or company.

It offers some suggestion on determining the integral estimate of management efficiency and the factor (index) of management profitability. In addition, it covers the conditions of developing the efficient system of cost management. Besides, it gives some data of cost management centre reports on various management levels which can be used at forest industry enterprises to improve their running.

Фролов С.В. РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ЛЕСНОГО СЕКТОРА.

Планирование и реализация стратегий требуют значительных усилий и затрат времени, что в конечном счете помогает предприятию выжить в жестких условиях хозяйствования. Поэтому разработка стратегии и ее реализация должна осуществляться через должное отношение к ней руководства и сотрудников всех уровней.

Коршун В.Н., Кокотов Д.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЛЕСНЫХ МАШИН С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.

Предлагается многокомпонентная компьютерная модель, позволяющая прогнозировать случайные параметры опорной поверхности движения лесных машин с учетом деформирования подстилки сжатию и сдвигу

Korshun V.N., Kokotov D.G. SIMULATING FOREST SOIL DEFORMATION AND COMPACTION UNDER THE WHEELS TRAFFIC SYSTEMS.

The multicomponent computer model is offered. Casual parameters forest soil compaction under the wheels traffic systems are simulated with the account of shift and compression deformation

Ширнин Ю.А., Онучин Е.М. КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ МОДУЛЬНОЙ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ.

В статье предложено техническое решение, позволяющее повысить манёвренность и функциональность модульных лесных машин и дано математическое описание кинематики их движения.

In this article is suggested a technical resolve increased the maneuverability and functionality of module forest machines and given mathematical description of cinematic of their movement.

Савельев В.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ.

Приведена математическая модель определения нагрузок на оси лесовозных автопоездов и их составляющих от перевозимых лесоматериалов и навесного погрузочного оборудования.

Савельев В.В. MATHEMATICAL MODEL OF DEFINITION OF AXIAL LOADS LOGGING TRAIN OF LORRY CONVOYS.

Mathematical model of definition of loads on a axis logging train of lorry convoys and their making from transported forest products and laying of loading equipment is adduced.

Герц Э.Ф. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА МАРШРУТА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН.

Разработана математическая модель выбора маршрута перемещения фланговой ЛЗМ по взаимосопряженным кривым. Приведены результаты имитационного моделирования непрямолинейного перемещения в процессе заготовки древесины в редианах. Даны сравнительные результаты различных тактик перемещения ЛЗМ.

Gerz E.F. MATHEMATICAL MODEL OF AROUTE SELECTION MOVEMENTS FOREST MASIN OF AMBULANCES.

The mathematical model of a route selection of movement boundary FM on straight to curves is designed. The results of a simulation modeling straight of movement are reduced during preform of timber in Infrequent forest . The comparative results of different tactics of movement FM are given.

Герц Э.Ф. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА МНОГОСЛОЙНОГО ХВОРОСТЯНОГО НАСТИЛА ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ВОЛОКА.

В работе рассмотрены основы расчета хворостяного настила трелевочного волока под воздействием внешних моментов. Приведена математическая модель расчета прогибов настила.

Gerz E.F. FUNDAMENTAL THEORY OF CALCULATION MULTILAYER BRUSHWOOD OF A FLOOR FOR REINFORCING PATH DRAWING.

In operation are reviewed by a fundamentals of calculation brushwood of a floor Path of steel drawing under affecting of the exterior moments. The mathematical model of calculation of troughs of a floor is reduced.

Тарасов С.М., Азаров В.И., Ковернинский И.Н. РОЛЬ НОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА.

Рассказывается о современных направлениях в развитии технологии использования химических вспомогательных средств в производстве бумаги и картона. Рассматривается большинство аспектов этой технологии: виды химических вспомогательных средств; их сочетаемость; основные мировые тенденции в технологии их использования и др. Показаны новейшие технологические разработки в этой области, в том числе сделанные с участием авторов статьи. Отмечены перспективы направления совершенствования технологии использования химических вспомогательных средств в производстве бумаги и картона. Освещено их комплексное влияние на свойства конечной продукции и технологический процесс ее производства.

There is told about modern directions in development of technology of use of chemical auxiliary means in manufacture of a paper and cardboard. The majority of aspects of this technology is considered: kinds of chemical auxiliary means; their compatibility; the basic global tendencies in technology of their use etc. Are shown the newest technological development in this area, including made with participation of the authors of clause. The prospects of a direction of perfection of technology of use of chemical auxiliary means in manufacture of a paper and cardboard are marked. Their complex influence on properties of final production and technological process of its manufacture is covered.

Запруднов В.И. ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА С МИНЕРАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ.

Выведены формулы для проведения вычислений эффективных модулей древесно-цементного композита на основе цементного камня, минеральных добавок, частиц органического заполнителя пор.

Федотов Г.Н. ОБРАЗОВАНИЕ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ КАК ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ СТАДИЯ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ВЕЩЕСТВ.

В статье рассмотрена перспективная концепция обязательности коллоидообразования при фазовых превращениях веществ. Приведены интересные экспериментальные результаты, полученные с применением современных методов.

Глазков С.С., Мурзин В.С., Снычева Е.В. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И РОЛЬ ЛАТЕКСНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССАХ ОТВЕРЖДЕНИЯ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ.

Рассмотрен механизм влияния клеевых латексных композиций на адгезию и когезию карбамидоформальдегидных смол в целях улучшения клеящей способности данных связующих.

Glazkov S.S., Murzin V.S., Snychova E.V. SURFACE PHENOMENA AND THE INFLUENCE OF LATEX SYSTEMS IN THE PROCESSES SETTING OF CARBAMIDE-FORMALDEHYDE RESINS.

The mechanism of the glue latex composition influence on adhesion and cohesion of the carbamideformaldehyde resins is discussed with the aim of improving the ability gluing of these glues.

Гелес И.С. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КАТИОНИТОВ ИЗ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ (НА ПРИМЕРЕ БИСУЛЬФИТНЫХ ЩЕЛОКОВ ОАО «КОНДОПОГА»).

В статье рассмотрены основные особенности технологий получения катионитов из сульфитных отработанных растворов. Показаны крайне ограниченные возможности модификации свойств катионообменных материалов. Проведены поисковые эксперименты, показавшие возможность получения полимерных материалов редкой и частой сшивки из ЛСТ (лигиосульфат технический) от бисульфитной варки еловой древесины на натриевом основании. В предлагаемом процессе в качестве исходного сырья наряду с компонентами бисульфитного щелока использованы также вещества сточных вод других отделов предприятия. Проведено сравнение укрупненных блок-схем существующего и предлагаемого предприятия по производству целлюлозы. Показана возможность резкого снижения нагрузки и повышения эффективности очистки сточных вод, а также улучшения экономических показателей всего производства.

Домрачев В.Г., Ретинская И.В., Курникова М.П., Нешта Е.П. МЕТОД ВЫБОРА СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ КУРСОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИСТЕМЫ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА.

В статье предлагается система выбора средств разработки курсов для дистанционного обучения на основе анализа системы характеристик качества.

At the article are suggested system for choice of software for development remote education courses.

Полещук О.М. ПРИМЕНЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И НЕЧЕТКОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА.

В статье представлены на конкретных примерах решения задач разработки оптимального множества лингвистических значений шкалы для оценивания характеристики качества программных средств и задачи нечеткого многокритериального выбора программных средств на основе характеристик качества.

Полещук О.М. О БИБЛИОТЕКЕ ПРОГРАММ «FUZZY EXPERT», РАЗРАБОТАННОЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕЧЕТКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ.

В настоящее время методы теории нечетких множеств широко используются для разработки экспертных систем, интеллектуальных систем поддержки принятия решений, анализа данных и управления сложными процессами.

Исследования автора статьи, направленные на повышение адекватности нечетких моделей, позволили разработать ряд методов формализации и обработки нечеткой экспертной информации.

Никонов В.Г., Никонов В.Г. О ПРОБЛЕМАХ ЛОКАЛЬНОЙ РАЗРЕШИМОСТИ И СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ k -ЗНАЧНЫХ УРАВНЕНИЙ СДВИГОВОГО ТИПА.

В статье для систем уравнений, порожденных регистром сдвига, исследовано понятие запрета k -значной функции как последовательности знаков, порождающей несовместную подсистему, известное ранее применительно к двоичным функциям. Введено понятие эффективности, и показана связь запретов с полузапретами I-ого и II-ого рода, порождающими однозначно разрешимые относительно некоторых неизвестных подсистемы уравнений и, соответственно, подсистемы уравнений, локализующие множества значений отдельных входных переменных.

Nikonov V.G., Nikonov N.V. ABOUT PROBLEMS OF A LOCAL RESOLUTION AND COMPATIBILITY OF SYSTEMS OF EQUATIONS WITH k -FUNCTIONS OF SHEAR TYPE.

In the article for systems of equations generated by a register of shear a term of interdiction of as a sequence of signs generated disjoint subsystem which is well-known with reference to Boolean function is investigated. A term of effectiveness is introduced and the connection between interdictions and half-interdictions of the first and second type which generates simple solving subsystems of equations relatively of some unknown variables and accordingly subsystems of equations which localize lots of values of variables is showed.

Домрачев В.Г., Рыбников К.К. Оценки мощности множества входных величин, формирующих область определения функции активации искусственного нейрона.

В работе приводится метод оценки числа решений псевдоболевого неравенства, основанный на анализе резольвенты неравенства, как прикладной инструмент анализа схемы функционирования искусственного нейрона.

Domrachev V.G., Rybnikov K.K. Measuring the Power of Entrance Values Set Which Determines Field of Definition of Activation Function of Article Neuron.

The authors suggest the method of determination the quantity of solutions of pseudo-boolean linear inequalities as the way of analyze of artificial neuron as functional unit.

Анашкина Н.В. ОБЗОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ НЕРАВЕНСТВ.

В данной статье приводится обзор методов решения систем линейных неравенств. Рассматриваются наиболее известные и широко применяемые на практике алгоритмы, работающие в непрерывной и дискретной областях. Приводятся оценки трудоемкости.

Anashkina N.V. REVIEW OF METHODS OF SOLVING LINEAR INEQUALITY SYSTEMS

Review of methods of solving linear inequality systems is introduced. The most famous algorithms using wide in practice and working in continuous and final region are examined. Some estimators are shown.

Ролдугин П.В. УПРОЩЕНИЕ ГАМИЛЬТОНОВЫХ ГРАФОВ.

В статье рассматривается метод упрощения графа, облегчающий поиск гамильтонова цикла в этом графе. Метод основывается на представлении графа в виде объединения своих максимальных клик.

Ролдугин П.В. ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ФУНКЦИЙ.

В данной работе предлагается метод получения полиномиальных представлений для простых компьютерных функций, то есть функций, реализующихся при помощи покомпонентного сложения r -ичных векторов длины n и одного сложения векторов с переносом, то есть сложения по модулю p^n . Указан способ применения полиномиальных представлений для вычисления вероятности аффинных статистических аналогов простой компьютерной функции.

Нетыкшо В.Б. ПЕРЕОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДЛЯ ПОРОГОВЫХ ФУНКЦИЙ k -ЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ.

В статье рассматриваются вероятностные свойства пороговых функций k -значной логики, с помощью которых устанавливается мера зависимости входных значений функции от выходных.

ESTIMATION OF POSSIBILITIES FOR THRESHOLD FUNCTIONS OF k -MARK LOGIC.

The article deals with the possible characteristics of the threshold functions of k -mark logic which helps to determine the rate of influence of incoming meanings of function on outgoing.

Саранцев А.В. ПОСТРОЕНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ СИСТЕМ ОДНОТИПНЫХ ДВОИЧНЫХ ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГИСТРА СДВИГА.

Из утверждений доказанных в статье вытекает, что для функций специального вида комбинация регистра сдвига и нелинейной функции позволяет строить технически просто реализуемые нелинейные биективные отображения. Полученные результаты развивают принципы компактной реализации биективных преобразований.

Мельников С.Ю. О ПЕРЕРАБОТКЕ КОНЕЧНЫМИ АВТОМАТАМИ ЧЕЗАРОВСКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ.

Бесконечная последовательность символов конечного алфавита называется Чезаровской, если существуют пределы относительных частот встречаемости произвольных мультиграмм в ее растущих начальных отрезках. Изучаются условия, при которых выходная последовательность конечного автомата, перерабатывающего Чезаровскую последовательность, является Чезаровской.

Melnikov S.Y. ON THE FINITE AUTOMATA WITH CESARO SEQUENCES INPUT.

Cesaro sequence is the infinite sequence with existing relative frequencies limits of the any fixed word. The article deals with the finite automata with Cesaro sequences input.