

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Статьи, представляемые в журнал, следует оформлять в соответствии с ОСТ 29.115-88 «Оригиналы авторские и текстовые издательские. Общие технические требования». Объем статьи должен составлять 6–7 страниц машинописного текста, статьи библиографического характера – 3 страницы. Над названием статьи проставляется индекс Универсальной десятичной классификации (УДК). В заглавии статьи указываются ее название, инициалы и фамилия автора (или авторов) на русском и английском языках и место работы. Рукописи направляются в редакцию в двух экземплярах, печатаются через два интервала на одной стороне листа. На листе должно быть не более 30 строк, а в строке не более 60 знаков. С левой стороны листа оставляется чистое поле шириной 30 мм. Все страницы рукописи нумеруются. На полях рукописи необходимо карандашом указать места рисунков и цифровых таблиц, если последние прилагаются к статье на отдельных листах.

Особое внимание должно быть обращено на аккуратное написание индексов и показателей степени. Следует делать ясное различие между заглавными и строчными буквами. Во избежание недоразумения заглавные буквы следует подчеркивать двумя черточками снизу, а строчные – двумя черточками сверху.

Для отличия от буквы О ноль (0) оставлять без подчеркивания. Греческие буквы обозначаются красным карандашом, латинские – синим.

Приводимый в статье графический материал не должен дублировать цифровых таблиц. Никакие сокращения слов, имен, названий, как правило, не допускаются. Возможно употребление лишь общепринятых сокращений. Названия учреждений, предприятий, марки механизмов и т. п., упоминаемые в тексте статьи в первый раз, пишутся полностью (в скобках указывается сокращенное название); в дальнейшем это наименование можно давать только сокращенно.

При ссылке в тексте статьи на работы других авторов следует в скобках указывать фамилию автора и год издания его работы. Имена иностранных авторов даются в русской транскрипции, ссылки на иностранные работы – на том языке, на котором они опубликованы. В случае приведения цитаты необходимо указать, откуда она взята (автор, название работы, номер тома, год издания, страницы).

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1 – 84 «Библиографическое

описание документа. Общие требования и правила составления» и должен содержать лишь цитируемые в тексте статьи работы, и, наоборот, все упоминаемые в тексте работы должны быть помещены в список литературы. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Иллюстрации представляются в двух экземплярах. Они должны быть пригодны для сканирования (фотографии должны быть четкими, чертежи необходимо делать черной тушью на ватмане, тени на рисунках – при помощи точек или штрихов). На обратной стороне рисунка указывается его порядковый номер и фамилия автора. Подписи к рисункам прилагаются на отдельном листе.

Рукопись должна быть подписана автором, должны быть написаны дата ее отправки, а также служебный и домашний почтовые адреса и номера телефонов.

Для ускорения публикаций статей текст необходимо представлять на дискете 3,5 дюйма.

При отправке статьи электронной почтой обязательно наличие рукописи в двух экземплярах и всех необходимых документов.

Для компьютерной верстки журнала используется IBM PC совместимые компьютеры и программы, работающие в среде Windows. Для компьютерного набора статей предпочтительно применение текстового процессора Word for Windows.

Для рисунков и фотографий представляются графические файлы в форматах BMP, PCX, TIF (разрешение 300 – 600 dpi).

К статье должны быть приложены краткий реферат, аннотация, рекомендация кафедры, экспертное заключение, две фотографии (6×7 см) и биографии авторов (фамилия, имя, отчество, год рождения и окончания вуза (какого), ученая степень, звание, должность и место работы, число печатных работ, область научных исследований).

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения рукописей. Корректур статей авторов, как правило, не предоставляется.

Оттиски статей авторам не высылаются.

Отдельные экземпляры журнала могут быть высланы наложенным платежом по заявкам.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Е.Л. Маслаков, А. Н. Кузнецов, Т. А. Шестакова.</i> О генезисе и динамике социальной структуры древостоя (на примере культур ели)	7
<i>П.В. Миронов, С. Р. Лоскутов.</i> Исследование морозостойкости древесных растений, интродуцируемых в дендрарии Института леса СО РАН. 2. Низкотемпературный термический анализ вегетативных органов кле-на остролистного, ореха маньчжурского и лоха серебристого	17
<i>В.А. Коломыцев.</i> Ландшафтные аспекты распространения и использования заболоченных лесов	22
<i>Л.Ф. Ипатов.</i> Динамика лесов Орловской корабельной рощи	30
<i>А.А. Афонин, Е. Н. Самошкин.</i> Зависимость размеров пыльцевых зерен ив трехтычинковой и пепельной от числа хромосом в клетках	35
<i>А.Д. Лозовой, В.Т. Паринов.</i> Расчет размера годичной лесосеки по прорежи-ваниям и проходным рубкам	40
<i>С.С. Штукин.</i> Изменение вредоносности корневой губки на плантациях сосны и ели	45

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>В.И. Кучерявый, В.Д. Чарков.</i> Моделирование показателей надежности дви-гателей автолесовозов	53
<i>С.И. Морозов.</i> Соударение автомобилей	58
<i>П.М. Мазуркин.</i> Моделирование характеристик двигателей	64
<i>В.П. Стуков.</i> Транспортные сети автомобильных дорог для освоения лесных массивов	69

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>В.Е. Воскресенский, С.М. Кружков.</i> Удельная сила резания при фрезеровании луба и бересты в отходах окорки фанерного сырья	72
<i>В.Н. Ермолин, Д.Н. Деревянных.</i> Повышение проницаемости древесины жид-костями при переменном давлении	77
<i>В.Н. Ермолин, Д.Н. Деревянных.</i> Пропитка древесины при переменном давле-нии	81
<i>Е.Б. Рюмина, С.А. Кабаков.</i> Выход элементов деревянных конструкций из совокупности необработанных пиломатериалов	86
<i>Н.В. Иванова, В.Г. Горохова, А.А. Шишко, Н.А. Кошилев, В.Г. Чернова, О.А. Коломакина, В.А. Бабкин.</i> Теоретические и практические аспекты применения электрогидравлического эффекта для обработки гидролиз-ного лигнина	91

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>В.И. Комаров.</i> Механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов	96
<i>О.В. Богданчикова, К.Г. Боголицын, В.А. Фокина.</i> Изменение содержания ми-неральных веществ в воде р. Северная Двина	103

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- В.И. Мосягин, И.Н. Тарасова, А.Р. Безпалько.* Планирование использования вторичных энергетических ресурсов на предприятиях лесного комплекса. 110
- В.Я. Крупчак.* Проблемы институциональной роли градообразующего предприятия 113

МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

- И.Н. Павлов.* Активные методы преподавания дисциплины «Лесные культуры» 118

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- А.Д. Голяков, И.С. Бекряшева, Е.В. Рудаков.* К вопросу уточнения технологических расчетов обрезных станков 122
- Г.А. Шепель, И. Л. Флейшман, А. А. Шумилов.* Применение индукционного нагрева для предотвращения смерзания насыпных грузов 124
- В.П. Орлов, Ю.Л. Юрьев.* К вопросу о сжигании парогазовой смеси при пиролизе древесины 128
- А.Н. Орехов, Э.Н. Сабуров.* Исследование теплоотдачи на боковой поверхности рабочего объема циклонных камер с торцевым выводом газов 131

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- К.Л. Михайлов, Е. С. Романов, А. В. Пластинин.* Экономические проблемы утилизации вторичных ресурсов лесного комплекса 142

ЮБИЛЕИ

- З.А. Дикая, А.И. Кораблев, Л. Т. Маевская, В. С. Соминский, С. В. Воронин.* Владимир Ильич Мосягин 144

CONTENTS

FORESTRY

<i>E.L. Maslakov, A.N. Kuznetsov, T.A. Shestakov.</i> On Genesis and Dynamics of the Social Structure of Forest Stand (spruce is taken as an example)	7
<i>P.V. Mironov, S.R. Loskutov.</i> Investigation of Frost Resistance of Woody Plant, Introduced in Arboretum of Forestry Institute of Russian Academy of Sciences. 2. Low-Temperature Thermal Analysis of Vegetative Organs of Bosnian Maple, Manchurian Walnut and Olive	17
<i>V.A. Kolomytsev.</i> Landscape Aspects of Spreading and Utilization of Waterlogged Forests	22
<i>L.F. Ipatov.</i> Dynamics of the Forests of Orlov Ship Timber Grove	30
<i>A.A. Afonin, E.N. Samoshkin.</i> Dependence of Pollen-grain Size of <i>Salix triandra</i> and <i>Salix cinerea</i> the Number of Cell Chromosomes	35
<i>A.D. Losovoi, V.T. Parinov.</i> Calculation of Annual Cut Based on Thinning and Accretion Felling	40
<i>S.S. Shtukin.</i> Alteration of Deleterious Influence of Pine Fungus in Pine and Spruce Plantations	46

WOODEXPLOITATION

<i>V.I. Kucheryavy, V.D. Charkov.</i> Modelling of Reliability Indices of Log Trucks Engines	53
<i>S.I. Morozov.</i> Collision of Automobiles	58
<i>P.M. Mazurkin.</i> Modelling of Engine Characteristics	64
<i>V.P. Stukov.</i> Transport Networks of Motor Roads for Forestry Development	69

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>V.E. Voskresenky, S.M. Kruzhkov.</i> Specific Cutting Force in Milling Bast and Birch Bark in Plywood Debarking Waste	72
<i>V.N. Ermolin, D. N. Derevyannykh.</i> Increasing the Permeability of Wood by Liquids at Alternating Pressure	77
<i>V.N. Ermolin, D. N. Derevyannykh.</i> Features of Wood Impregnation at Alternating Pressure	81
<i>E.B. Ryumina, S.A. Kabakov.</i> Yield of Wooden Constructions Elements out of Collection of Rough Sawn Timber	86
<i>N.V. Ivanova, V.G. Gorokhova, A.A. Shishko, N.A. Koshilev, V.G. Chernova, O.A. Kolomakina, V.A. Babkin.</i> Theoretical and Practical Aspects of Hydroelectric Effect Application for Hydrolysis Lignin Processing	91

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>V.I. Komarov.</i> Mechanism of Destruction of Pulp-and-Paper Materials	96
<i>O.V. Bogdanchikova, K. G. Bogolitsyn, V. A. Fokina.</i> Changing Content of Mineral Substances in Water of the Northern Dvina River	103

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- V.I. Mosyagin, I. N. Tarasova, A.R. Bezpalko.* Planning of Utilization of Secondary Energy Resources at Forest Complex Enterprises 110
- V.Ya. Krupchak .* Problems of Institutional Role of Hail-growing Enterprise..... 113

METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING

- I.N. Pavlov.* Active Methods in Teaching the Subject of «Forest Cultures»..... 118

SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE

- A.D. Golyakov, I. S. Bekryasheva, E. V. Rudakov.* To the Question of Technological Design Revision of Edging Machines 122
- G.A. Shepel, I.L. Fleishman, A.A. Shumilov.* Use of Inductive Heating to Prevent Freezing of Bulk Freight 124
- V.P. Orlov, Yu.A. Yurjev.* On the Question of Burning Steam-and-Gas Mixture 128
- A.N. Orekhov, E.N. Saburov.* Investigation of Heat Emission on the Lateral Face of the Displacement Volume of Cyclone Chambers with End Gas Outlet 131

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- K.L. Mikhailov, E.S. Romanov, A.V. Plastinin.* Economic Problems of Utilization of Forest-industry Secondary Resources 142

JUBILEES

- Z.A. Dikaya, A. I. Korablev, L. T. Maevskaya, V. S. Sominsky, S. V. Voronin.* Vladimir I. Mosyagin 144

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630.232

Е.Л. МАСЛАКОВ, А.Н. КУЗНЕЦОВ, Т.А. ШЕСТАКОВА

СПбНИИЛХ

Маслаков Евгений Лукич родился в 1921 г., окончил в 1951 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесовосстановления СПбНИИЛХ. Имеет более 150 печатных работ в области лесовосстановления.



Кузнецов Алексей Никандрович родился в 1932 г., окончил в 1958 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник СПбНИИЛХ. Имеет около 80 печатных работ в области лесовосстановления.



Шестакова Тамара Алексеевна родилась в 1950 г., окончила в 1974 г. Ленинградскую лесотехническую академию, научный сотрудник лаборатории лесовосстановления СПбНИИЛХ. Имеет 24 печатные работы в области лесовосстановления.

**О ГЕНЕЗИСЕ И ДИНАМИКЕ СОЦИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ
ДРЕВОСТОЯ (НА ПРИМЕРЕ КУЛЬТУР ЕЛИ)**

Рассмотрено социальное расслоение популяции деревьев в культурах ели на ранних и последующих фазах возрастного развития. Показано, что ранговый (классовый) статус деревьев, стабилизируется в возрасте 10...15 лет и затем, на уровне вероятности 0,8 ... 0,9, устойчиво сохраняется в последующих фазах роста

древостоя. Лидирующие особи (I – II класса роста) растут в 3 – 4 раза быстрее остальных и к возрасту культур ели 40...50 лет образуют 70...90 % древесной продукции древостоя.

The social distribution of tree population of spruce cultures has been viewed for early and follow-up stages of their age development. It is demonstrated that rank (class) tree status get stabilized at the age of 10...15 and then it is steadily preserved at all the follow-up stages of the stand's growth with an expectancy level of 0,8 ... 0,9. The leading trees (I – II growth class) grow 3 – 4 times faster than others and form 70...90% of all wood resources of the stand at the age of 40...50.

Еще в начале века Г.Ф. Морозов в числе факторов лесообразовательного процесса выделял как один из ведущих «биосоциальные» отношения. Он считал, что «лесоводство как искусство есть в сущности дела ни что иное, как регулирование общественной жизни древесных растений в хозяйственных целях, а лесоводство как наука – ни что иное, как исследование закономерностей, которым подчинена «общественная» жизнь растений» [9].

По В.Г. Нестерову [11], в истории развития и практике лесоводства существует более ста различных классификаций деревьев. Но общепризнанной как с теоретической, так и практической точек зрения является известная с прошлого века классификация Крафта. Многие ее современные модификации вольно или невольно лишь повторяют предложенное им разделение деревьев на социальные классы (господствующие, согосподствующие, средние, угнетенные и т. п.). В основе разделения изначально лежит учение Ч. Дарвина о борьбе за существование и, как главные факторы дифференциации деревьев на социальные классы, густота древостоя и конкуренция в нем.

Классификация Крафта, действительно, зеркально, объективно отражает эту естественную картину относительной дифференциации деревьев в древостоях, их так называемую «социальную» структуру (Г.Ф. Морозов и др.), особенно в приспевающих и спелых. По существующим до сих пор представлениям (Г.Ф. Морозов, В.Н. Сукачев, Н.В. Третьяков и др.), дифференциация деревьев по классам, актуализация социальной структуры насаждения происходят в процессе его формирования, преимущественно в стадии жердняка, когда напряжение конкурентных отношений в нем достигает апогея. До этого, как считалось [10, 12, 13], все деревья популяции в древостое социально (т. е. ценотически по отношению друг к другу) «равноправны».

Таким образом, проблема классификации деревьев в молодняках и объяснения первопричин «рождения», т. е. генезиса деревьев разных социальных категорий, оставалась открытой. Г.Р. Эйтинген говорил об «индивидуальной» (и очевидно конкурентной) силе дерева, которая могла быть обу-

словлена его возрастом, лучшими стартовыми локальными условиями роста, случайными факторами и др. [14]. Неясной оставалась стабильность действия этой «силы» – характера конкурентных взаимодействий деревьев-соседей, устойчивости их социального статуса и его изменений. Позже, по идеологическим мотивам, классы Крафта были заменены классами роста, но существо вопроса, особенно по отношению к молоднякам, не изменилось, и классы роста в действительности рассматриваются как прямые продукты конкурентных отношений.

В лесной таксации, исходя из работ немецких ученых Вейзе и Шиффеля о закономерностях распределения деревьев по их размерам (диаметр, высота), Н.В. Третьяковым сформулирован закон единства строения насаждений [13], основу которого составляет ранговое расчленение деревьев в их ценопопуляции. Деревья разных рангов (размеров) имеют определенные количественные относительные характеристики по сравнению со средним деревом популяции и соответственно друг с другом – редукционные числа [1, 13]. В известном смысле они также оценивают эквивалентно и классовое положение деревьев, их социальный статус. Поэтому, в отличие от классификации Крафта, где все оценки деревьев визуальны, в локальном масштабе относительны, субъективны, ранговая классификация хорошо отображает структуру (строение) древостоя, позволяет, особенно в динамических, микроэволюционных процессах его развития, оценивать количественно функциональную роль деревьев различных классов роста, моделировать механизмы конкуренции, роста и структурных изменений.

Наши многолетние исследования на стационарных базовых опытных объектах лесных культур сосны и ели в Ленинградской и Псковской областях, в Карелии, на Урале и других регионах страны показали, что ранговое положение (класс роста) отдельных деревьев сосны проявляется в возрасте 8 ... 10 лет, ели несколько позже (в 10 ... 15 лет), лидирующих в росте и отстающих – еще раньше (в 5 ... 7 лет) [2–4, 6, 7]. В последующих фазах и стадиях онтогенеза ранговый статус деревьев устойчиво сохраняется (на уровне вероятности 0,8–0,9 и выше). В лесных культурах с начальной густотой 2,5 ... 4,0 тыс. экз./га 20 ... 30 % из них образуют «конечный» древостой к возрасту рубки. Это так называемые деревья будущего, т. е. быстрорастущие деревья-лидеры. Они, как правило, растут в 2–3 раза быстрее остальных и к возрасту 40 ... 50 лет производят 70 ... 80 % древесной (и биологической) продукции насаждения. Ясно, что при решении проблемы ускоренного лесовыращивания, повышения продуктивности и устойчивости лесных насаждений большой интерес представляет селекция таких деревьев лесоводственными методами [2–4, 6–8].

Эта проблема имеет и особый теоретический подтекст. Тот факт, что социальная структура древостоя определяется в основном в фазе индивидуального роста, когда конкурентные отношения между деревьями еще явно не выражены, свидетельствует о том, что в процессе формирования и онтогенеза насаждения в классовом (ранговом) расчленении культивируемой

популяции решающую роль играет генетическая конституция (геном) и разнообразие наследственной природы образующих ее особей.

Проблема формирования насаждения и его онтогенеза, образования и динамики социальных структур древостоя, механизмов конкуренции и самоизреживания (микроэволюции) в целом очень сложна, и в отдельной статье невозможно рассмотреть даже ее основные аспекты. Нами ставится более узкая задача – показать, как идет социальное расслоение популяции деревьев в фазе индивидуального роста, а также исследовать некоторые элементы динамики социальных структур в возрастной динамике древостоя.

Рассмотрим ход этого процесса на примере 15-летних культур ели, созданных 6-летними саженцами (2+2+2) на вырубке в кислично-черничном типе лесорастительных условий (Орлинское лесничество ОЛХ «Сиверский лес»). Посадка саженцев произведена по пластам, подготовленным плугом ПКЛН-500. Густота посадки 3 тыс. экз./га; средняя высота культур 6,8 м; диаметр 9,2 см.

В этих культурах по принципу пропорционального представительства отобраны 30 модельных деревьев. В табл. 1 приведены показатели их роста по ранговым группам. В каждую группу включено 6 модельных деревьев соответственно их рангу (размерам по диаметру) в 15-летнем возрасте.

Приведенные данные, которые могут быть получены в любых насаждениях такого возраста, типичны для процесса роста и дифференциации деревьев в культурах ели (и сосны) в фазе индивидуального роста [2, 7].

Таблица 1

Возраст культур, лет	Диаметр, см, по классам роста						Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Корреляционное отношение
	I	II	III	IV	V	Средний			
2	0,83	0,78	0,75	0,78	0,55	0,74	0,16	21,6	0,614
3	1,02	0,92	0,98	0,88	0,67	0,83	0,18	21,7	0,696
4	1,28	1,25	1,17	1,00	0,77	1,08	0,27	25,0	0,703
5	1,68	1,57	1,42	1,22	0,90	1,36	0,37	27,2	0,765
6	2,20	1,90	1,80	1,55	1,08	1,71	0,47	27,5	0,816
7	2,90	2,53	2,28	1,93	1,30	2,19	0,65	29,7	0,854
8	4,15	3,37	2,83	2,40	1,70	2,89	0,96	33,2	0,883
9	5,43	4,47	3,72	3,03	2,18	3,77	1,25	33,2	0,912
10	6,70	5,38	4,65	3,82	2,75	4,66	1,49	32,0	0,921
11	7,83	6,33	5,43	4,62	3,37	5,52	1,63	29,5	0,944
12	8,80	7,07	6,18	5,28	3,92	6,25	1,76	28,2	0,953
13	10,10	8,10	7,15	6,22	4,58	7,23	1,96	29,2	0,963
14	11,43	9,25	8,02	6,92	5,15	8,15	2,25	27,6	0,959
15	12,62	10,43	9,15	7,68	5,72	9,12	2,46	27,0	0,973

В течение этого 15-летнего периода ничтожная вначале разница в диаметрах лидирующих и отстающих деревьев (1 ... 3 мм) перерастает в измеряющуюся несколькими сантиметрами. Разбег по диаметру деревьев разных ранговых групп непрерывно увеличивается, как и стандартное отклонение, оценивающее его величину. Оно повышается пропорционально средней скорости роста всей популяции, что подтверждается динамикой коэффициента вариации, который находится практически на одном уровне с 5-летнего возраста культур. Это одно из главных свойств рангового закона роста и его механизма, обеспечивающего стабилизацию статуса деревьев и расчленения их на социальные (классовые, ранговые) группы в последующие фазы и стадии роста древостоя. Значения корреляционного отношения показывают тесноту связи диаметров 15-летних деревьев с показателями по годам роста (возраста) культур, а также интенсивность процесса перемены деревьями своего рангового положения (статуса). Так, связь между размерами деревьев по диаметру, эквивалентно их ранговому статусу в 15 лет и в 2 года, оценивается значением корреляционного отношения $\eta = 0,614$, т. е. теснота связи умеренная. Но даже в 3-5-летнем возрасте посадок дерева I и II ранговых групп по диаметрам уже существенно превышают остальные группы, особенно последнюю. Значения критерия Фишера уже в 2-летних культурах существенно выше 99 %-го табличного уровня достоверности различий между средними значениями ранговых групп ($F = 6,4$ в 2 года и $F = 22,1$ в 6 лет при $F_{0,95 \text{ табл.}} = 2,78$).

Связь между размерами деревьев по диаметру в 6 ... 7 и 15 лет возрастает до уровня $\eta = 0,80 \dots 0,85$, т. е. ранговый статус самых крупных и отстающих деревьев в это время уже в основном определен. С возраста 9 лет значения корреляционного отношения уже превышают уровень $\eta = 0,9$, т. е. связь между размерами деревьев и их приростом становится почти функциональной: увеличивается прирост и быстро растет дистанция между деревьями высших и низших ранговых групп, эквивалентно классам роста. По всем составляющим роста отстающие деревья IV и V ранговых групп при вероятности 0,9 и выше уже не смогут перейти в I и II группы. Этот факт подтверждается данными наших исследований [3, 7]. В сосняках до 90 % этих деревьев отмирает в стадии жердняка, в ельниках этот процесс идет медленнее, но завершается практически так же – отмиранием в стадии жердняка или переходом во второй ярус.

В табл. 2 приведена динамика значений редуccionных чисел деревьев пяти ранговых групп (редуccionное число среднего дерева популяции равно 1,00). Хорошо видно, что их уровень изменяется мало и существенно стабилизируется с 5–7-летнего возраста культур. Это значит, что прирост деревьев достаточно тесно связан с их размерами и они с 5 ... 7 лет устойчиво, на уровне вероятности 0,8–0,9, сохраняют свой ранг в популяции (ранговый закон роста). Деревья I ранговой группы растут по диаметру в 1,3–1,4 раза, а по массе в 1,8–2,0 раза быстрее средних деревьев популяции (III ранговая группа). Наоборот, скорость роста по диаметру в

Таблица 2

Возраст культур, лет	Редукционное число по диаметру деревьев ранговых групп				
	I	II	III	IV	V
2	1,12	1,05	1,01	1,05	0,74
3	1,15	1,03	1,10	1,00	0,74
4	1,19	1,16	1,08	0,93	0,71
5	1,24	1,15	1,04	0,90	0,66
6	1,29	1,14	1,05	0,91	0,63
7	1,32	1,16	1,04	0,88	0,59
8	1,44	1,17	0,99	0,83	0,59
9	1,44	1,19	1,00	0,80	0,59
10	1,44	1,15	0,98	0,82	0,61
11	1,42	1,15	0,99	0,84	0,63
12	1,41	1,13	0,99	0,84	0,63
13	1,40	1,12	0,98	0,86	0,63
14	1,40	1,13	0,99	0,85	0,63
15	1,38	1,14	1,00	0,84	0,63

IV ранговой группе составляет в среднем 0,80 ... 0,85, а в V – 0,60 ... 0,65 по отношению к скорости роста среднего дерева. Редукционные числа оценивают энергетический уровень роста деревьев разных рангов и, по Г.Р. Эйтингену [14], их «индивидуальную силу» и конкурентоспособность.

В табл. 3 показано долевое участие деревьев разных ранговых групп в суммарном приросте всей популяции по площади сечения ствола в культурах ели. Как видим, деревья I и II ранговых групп образуют более 60 % суммарной древесной массы и прироста. На протяжении всей фазы индивидуального роста они в 1,5 раза опережали средние деревья и более чем в два раза остальную часть.

Таблица 3

Возраст культур, лет	Процент деревьев разных ранговых групп в суммарном приросте по площади сечения ствола				
	I	II	III	IV	V
3	30,0	20,0	30,0	10,0	10,0
4	27,8	33,3	16,7	16,7	5,5
5	33,3	25,9	18,5	14,8	7,5
6	35,6	27,7	15,6	15,5	6,6
7	35,4	27,8	19,0	8,9	8,9
8	44,5	25,2	14,2	10,3	5,8
9	38,0	27,0	18,3	10,7	6,0
10	38,3	22,2	19,3	13,3	6,9
11	35,4	24,2	18,9	14,2	7,3
12	35,8	22,0	19,2	14,4	8,6
13	35,3	22,5	18,6	15,5	8,1
14	37,3	26,0	17,3	12,0	7,4
15	32,4	26,2	21,9	12,5	7,0

Эти различия сохраняются и в последующих фазах роста культур ели, при этом деревья I и II ранговых групп непрерывно накапливают и наращивают свое преимущество в росте и по массе древесины.

На последующих этапах развития древостоя ранговый статус, определившийся в фазе индивидуального роста, по мере возрастания конкуренции меняется разнонаправленно. Отстающие деревья IV и V ранговых групп в основном отмирают, лишь небольшая их часть (не более 10 %) входит в группу лидирующих. Из категории средних по размерам деревьев (III ранговая группа) от 20 до 50 % переходит в категорию отстающих, большинство сохраняет свой статус и лишь некоторая часть (не более 15 ... 20 %) постепенно входит в состав доминантов [5, 8].

Деревья I и II ранговых групп, социальный статус которых определился в фазе индивидуального роста, к возрасту 40 ... 50 лет, как правило, на 90 % сохраняют свое доминирующее положение.

Рассмотрим динамику показателей роста деревьев различного рангового статуса на примере культур ели в период их роста от 25 до 40 лет, т. е. в фазах смыкания и жердняка (Красноборское лесничество Лисинского лесхоза-техникума Ленинградской области). Эти культуры были заложены в 1968 г. на вырубке ельника-черничника влажного. Почва подготовлена плугом-канавокопателем ЛК-2А. Сточные борозды выведены в мелиоративную сеть. Посадка произведена 2-летними сеянцами в пласты по схеме $3 \times 0,7$ м (4,2 тыс. экз./га). В 25-летних культурах заложены базовые опыты с целью изучить влияние густоты и мер ухода (внесение удобрений, разреживание и др.). Наблюдения за ростом по диаметру каждого дерева вели по вариантам опытов каждые 5 лет. Здесь даны результаты наблюдений за 15 лет на контрольном участке, где никаких воздействий на древостой не было.

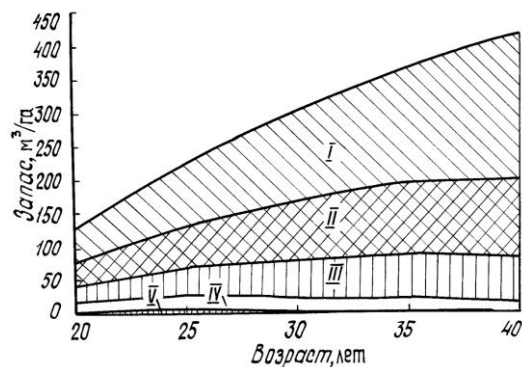
Таблица 4

Год учета	Возраст культур, лет	Число деревьев на 1 га	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечения стволов, м ² /га	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Прирост стволовой древесины за 5 лет, м ³ /га
1978	25	3316	<u>9,1</u> 11,5	<u>9,1</u> 13,0	<u>21,6</u> 13,3	<u>131,1</u> 80,8	—
1983	30	3292	<u>13,2</u> 15,2	<u>10,6</u> 15,7	<u>29,0</u> 19,3	<u>227,1</u> 148,6	<u>96,0</u> 67,8
1988	35	2648	<u>15,8</u> 17,5	<u>13,0</u> 17,5	<u>35,1</u> 24,0	<u>303,9</u> 208,6	<u>76,8</u> 60,0
1993	40	2456	<u>18,0</u> 19,5	<u>14,3</u> 18,9	<u>39,4</u> 28,4	<u>366,5</u> 263,7	<u>62,6</u> 55,1

Примечание. В числителе данные для всего древостоя; в знаменателе — для 1000 самых крупных деревьев.

В табл. 4 приведена динамика таксационных показателей древостоя в этих культурах за 15 лет. Отпад деревьев составил 860 экз., из них 97 % в последнее десятилетие. Культуры растут на уровне Ia класса бонитета, средний годичный прирост $15,7 \text{ м}^3$. Особый интерес вызывает рост 1000 самых крупных экземпляров. В начале периода наблюдений их доля по числу была 30,2, по запасу 61,6 %, т. е. они росли в среднем вдвое быстрее остальных деревьев популяции. В 40 лет их доля по числу составила 40,7, по запасу 72 %, и они дали 77,7 % всего прироста за 15-летний период, т. е. росли в 2,6 раза быстрее другой части популяции. Еще контрастнее обратный вывод: остальные 70 % деревьев (отстающих в росте) за это же время произвели только 22,3 % древесной продукции. Поскольку отпад этих деревьев продолжается, абсолютная и относительная продуктивность деревьев-лидеров еще возрастет.

Нами составлена матрица перехода деревьев из одних ступеней толщины в другие за 15-летний период наблюдений, позволяющая оценивать вероятность перехода деревьев из исходных ступеней толщины в другие (табл. 5). Так, вероятность отпада в 5-6-сантиметровых ступенях толщины равна 78,4 %. У этих деревьев нет никаких шансов достигнуть толщины 15 ... 16 см, средний прирост по диаметру составил всего 0,41 см, хотя у оставшихся живых он в среднем достиг 2 см. В 7-8-сантиметровых ступенях отпад равен 37 %, средний прирост живых 2,2 см и только 6,3 % деревьев достигли толщины 13 ... 16 см, т. е. деревья, у которых редуционное число меньше 0,8, практически не могут выйти в лучшую половину популяции. Деревья из ступеней толщины 5 ... 8 см, безусловно, являются первыми кандидатами в последующий отпад, так как у них самый низкий и падающий во времени прирост. Деревья из ступеней 9 ... 10 см – средние по размерам, около половины из них перешли в лучшую половину популяции (более 15 см). Из деревьев толщиной 11 см и выше (редуционное число более 1,2, 1212 экземпляров, это вторая, лучшая половина) только 76 экземпляров (11,4 %) сместились в нижнюю половину (редуционное число менее 1,1), остальные остались лидерами в росте. Матрица переходов свидетельствует, что эти деревья сохранили свой ранговый статус и лидерство в росте или даже повысили их. Коэффициент корреляции между размерами



деревьев в 25 и 40 лет $r = 0,929$, корреляционное отношение $\eta = 0,933$, т. е. связь линейная и очень тесная, почти функциональная.

На рисунке приведена динамика вклада деревьев ранговых групп I–V в запас древостоя ели по годам роста от 20 до 40 лет. Запас возрос со 130 до $420 \text{ м}^3/\text{га}$, при этом доля в нем

Таблица 5

Степень толщины в 25 лет, см	Число деревьев на 1 га по ступеням толщины в 40 лет, шт.									Средний диаметр в 40 лет, см	Средний прирост за 15 лет		Процент прироста по запасу за 15 лет	Редукцион- ное число деревьев в 40 лет
	Отпад		5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	Всего		по диаметру, см	по площади сечения ствола, см²		
	до 25 лет	после 25 лет												
1-4	884	-	-	-	-	-	-	-	884	-	-	-	-	-
5-6	-	540	120	24	4	-	-	-	688	5,91	0,41	6,0	1,5	0,5
7-8	-	256	132	260	44	-	-	-	692	8,86	1,36	17,5	6,7	0,7
9-10	-	48	-	328	312	36	-	-	724	12,42	2,92	50,2	18,6	1,0
11-12	-	12	-	64	316	268	4	-	664	15,75	4,25	90,9	30,2	1,3
13-14	-	4	-	-	28	272	92	4	400	19,36	5,86	151,2	29,5	1,6
15-16	-	-	-	-	-	32	84	8	124	21,63	6,13	178,7	10,8	1,8
17-18	-	-	-	-	-	-	16	8	24	23,90	6,40	208,9	2,7	2,0
Всего	884	860	252	676	704	608	196	20	4200	12,30	3,30	95,5	100,0	1,0

деревьев I и II ранговых групп (лидеры, их около 1000 экз./га в 40 лет) превысила 70 %.

Итак, поскольку будущий социальный статус деревьев, их продуктивность и устойчивость определяются в основном в фазе индивидуального роста насаждения, есть основание считать, что решающим фактором такой дифференциации служит их индивидуальный (экогенетический) потенциал. В локальных группах деревьев в древостое рост каждого из них является прямой высокодетерминированной функцией их рангового статуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Анучин Н.П. Лесная таксация.- М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. - 531 с. [2]. Динамика строения культур сосны и ели / Е.Л. Маслаков, А.Н. Кузнецов, Л.Б. Смоляницкая, Н.В. Орлова // Лесн. хоз-во. - 1993. - № 1. - С. 36-39. [3]. Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. - М.: Лесн. пром-сть, 1984. - 163 с. [4]. Маслаков Е.Л. Классификация деревьев и социальная структура древостоя в культурах сосны и ели // Экология популяций: Тез. докл. Всесоюз. совещ. СО АН СССР. - Новосибирск, 1988. - С. 47-49. [5]. Маслаков Е.Л. Эколого-лесоводственные проблемы восстановления леса на вырубках // Экологические предпосылки и последствия лесохозяйственной деятельности. - СПб.: ЛенНИИЛХ, 1992. - С. 40-49. [6]. Маслаков Е.Л. Процессы формирования и возрастной динамики «социальной» структуры разных типов искусственных насаждений сосны и ели и методы их моделирования // Тез. докл. VII конф. Междунар. ассоциации исследователей бореальных лесов. - М., 1996. - С. 27-28. [7]. Маслаков Е.Л., Кузнецов А.Н. Об особенностях динамики социальной структуры древостоя ели плантационного типа в возрасте 20-30 лет // Сб. науч. тр. - Л.: ЛенНИИЛХ, 1992. - С. 48-62. [8]. Маслаков Е.Л., Кузнецов А.Н. Об особенностях динамики социальной структуры древостоев ели плантационного типа в возрасте 25-30 лет // Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур: Сб. науч. тр. - СПб.: ЛенНИИЛХ, 1992. - С. 41-61. [9]. Морозов Г.Ф. Дарвинизм в лесоводстве // Лесн. журн. - 1913. - С. 1-12. [10]. Морозов Г.Ф. Избранные труды. Т.1. - М.: Лесн. пром-сть, 1970. - 559 с. [11]. Нестеров В.Г. Вопросы современного лесоводства. - М.: Сельхозгиз, 1961. - 369 с. [12]. Сукачев В.Н. Избранные труды. Т.1. Основы лесной типологии. - Л.: Наука, 1972. - 418 с. [13]. Третьяков Н.В. Закон единства строения насаждений. - М.; Л.: Новая деревня, 1927. - 113 с. [14]. Эйтинген Г.Р. Избранные труды. - М., 1962. - 500 с.

Поступила 16 января 1998 г.

УДК 630*181.324

П.В. МИРОНОВ, С.Р. ЛОСКУТОВ

Сибирский государственный технологический университет
Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Миронов Петр Викторович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Красноярский государственный университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры химической технологии древесины Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 35 печатных работ в области биофизики водных систем, физиологии устойчивости древесных растений к низким температурам.



Лоскутов Сергей Реджинальдович родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Красноярский государственный университет, кандидат химических наук, заведующий лабораторией химии растительных ресурсов Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, член Координационного совета по современным проблемам древесиноведения. Имеет 45 научных публикаций по проблеме взаимодействия древесины с физически активными низкомолекулярными веществами.



ИССЛЕДОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, ИНТРОДУЦИРУЕМЫХ В ДЕНДРАРИИ ИНСТИТУТА ЛЕСА СО РАН

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО, ОРЕХА МАНЬЧЖУРСКОГО И ЛОХА СЕРЕБРИСТОГО*

Показана возможность использования методов низкотемпературного термического анализа для оценки морозостойкости растений-интродуцентов. Определены минимальные температуры устойчивости вегетативных органов и количество невымораживаемой воды в живых тканях. Установлены безопасные уровни ее содержания в температурном интервале от 0 до – 60 °С.

The possibility of using methods of low-temperature thermal analysis for estimating frost resistance of introduced plants has been

* Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки. Грант 3F0172.

demonstrated. Minimal resistant temperatures of vegetative organs has been determined as well as the volume of non-frozen water in alive tissues. The safe levels of its content has been set up within the temperature limits of 0 ...–60 degrees C.

В дендрарии Института леса СО РАН создана коллекция древесных декоративных растений из различных ботанико-географических регионов России, стран ближнего и дальнего зарубежья [1]. На базе этой коллекции ведутся исследования по интродукции и акклиматизации растений, в том числе выделяются виды, перспективные для выращивания в условиях Красноярска. В связи с этим важно разработать экспрессные методы оценки морозостойкости интродуцентов для выявления достаточно устойчивых и перспективных в плане акклиматизации видов.

Цель данной работы – изучить особенности фазовых превращений воды в жизненно важных органах и тканях зимующих растений методами низкотемпературного термического анализа, установить связь характера кристаллизации воды с устойчивостью к низким температурам.

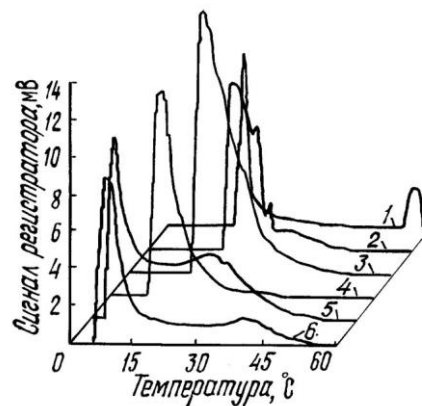
Для исследований выбраны три вида интродуцентов: клен остролистный (*Acer platanoides* L.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.) и лох серебристый (*Elaeagnus argentea* Pursh.). Объектом сравнения служила лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ldb.) как наиболее морозостойкий экологически пластичный вид [2, 3].

В последние годы зимостойкость клена, ореха маньчжурского и лоха оценивали по общепринятой семибалльной шкале, рекомендованной Советом ботанических садов [1]. Эти виды относительно устойчивы в условиях Красноярска, их зимостойкость в разные годы оценивали баллами I – III (I – побеги не обмерзают; II, III – обмерзает соответственно не более 50 и 50 ... 100 % длины однолетних побегов). Поскольку повреждались главным образом однолетние побеги, то они, а также вегетативные почки были использованы в качестве образцов для исследования.

Низкотемпературный термический анализ (НТА) отрезков междоузлий однолетних побегов, отрезков побегов с почками, отдельных почек, а также изолированных тканей проводили на установках дифференциального термического анализа (ДТА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [2, 3]. Образцы охлаждали от комнатной температуры до – 60 °C со скоростями 20 и 5 °C/ч. Параллельно в таких же условиях охлаждали целые побеги для выявления повреждений при замораживании. Образцы отбирали после вхождения растений в состояние вынужденного покоя и хранили в морозильной камере при температуре – (10 ... 12) °C.

Получены и проанализированы термограммы замораживания образцов с различной скоростью. Во всех случаях установлены существенные различия характера кристаллизации воды в тканях побега и почках. Некоторые из термограмм, полученные методом ДТА, приведены на рис. 1.

Рис. 1. Термограммы охлаждения вегетативных органов: 1, 2 – соответственно ксилема и почки клена остролистного; 3, 4 – почки и отрезок побега без почек лоха серебристого; 5, 6 – почки ореха маньчжурского



В ксилеме клена остролистного обнаружены низкотемпературные экзотермы (НТЭ) с максимумами около -30 и -48 °C (при скорости охлаждения ~ 20 °C/ч). При медленном охлаждении НТЭ сохранялась только в интервале температуры $-(40 \dots 55)$ °C (рис. 1, кривая 1), что связано с кристаллизацией переохлажденной внутриклеточной воды в живых клетках ксилемы. Величина переохлаждения достигала 40 °C (температура плавления около -8 °C). В этом случае кристаллизация приводила к гибели клеток, что выражалось в потемнении соответствующей части ксилемы. Этот факт свидетельствует о нуклеации льда в переохлажденных клетках по гетерогенному механизму [4] и, в свою очередь, позволяет сделать вывод о наличии в них веществ, обладающих сильной антинуклеационной активностью.

НТЭ в ксилеме побегов клена ограничивает его устойчивость температурой начала кристаллизации переохлажденной воды внутри клеток, на что указывает интенсивное потемнение ксилемы при дальнейшем снижении температуры до -50 °C.

При охлаждении целых отрезанных почек со скоростью 20 °C/ч на фоне пика тепловыделения регистрировали отдельные экзоэффекты (рис. 1, кривая 2), связанные с кристаллизацией умеренно переохлажденной воды в отдельных примордиях или группах клеток. Наличие таких экзоэффектов всегда сопровождалось гибелью меристематических тканей. Уменьшение скорости охлаждения до 5 °C приводило к исчезновению отдельных экзоэффектов и сохранению жизнеспособности меристем. Установлено, что с началом кристаллизации воды в тканях, прилегающих к зачаткам листьев (основной пик выделения тепла), происходило частичное обезвоживание меристематических тканей вследствие миграции воды к зонам льдообразования вне этих тканей.

В тканях побегов и почек лоха серебристого (рис. 1, кривые 3 и 4) отсутствуют выраженные НТЭ, даже при высокой скорости охлаждения. Кристаллизация начинается в тканях ксилемы (-8 °C) и почечных чешуях

При охлаждении почек ореха маньчжурского со скоростью 20 °С/ч наблюдалась НТЭ с максимумом около –23 °С (рис. 1, кривая 5), связанная с кристаллизацией в меристематических тканях, что приводило к их гибели. При скорости охлаждения 5 °С/ч тепловой эффект уменьшался, а максимум экзотермы смещался в область – (30 ... 35) °С (рис. 1, кривая 6). При этом видимых повреждений почек не наблюдалось. Температурные границы устойчивости составляют – (40 ... 45) °С. Побеги не имеют выраженной НТЭ.

В связи с этим интересно отметить также, что жизнеспособность тканей меристем почек и тканей ксилемы сохранялась в том случае, когда при достижении температуры -30°C (т. е. после завершения основного пика выделения тепла) замерзало не более 64 ... 66 % воды, способной кристаллизоваться. В то же время содержание незамерзшей воды, находящейся в равновесии со льдом при -30°C и способной к замерзанию при дальнейшем снижении температуры, составляет 0,5 ... 0,7 г на 1 г сухого вещества. Таким образом, при -30°C в тканях имеется до 30 % переохлажденной воды.

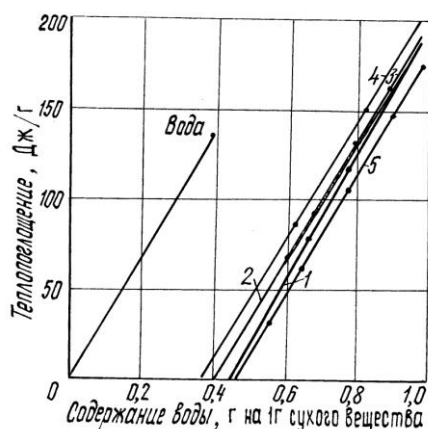


Рис. 2. Зависимость теплопоглощения в образцах вегетативных органов и тканей от содержания воды при размораживании (количество незамерзшей воды определяется по пересечению соответствующих линий с осью содержания воды): 1, 2 – почки и ксилема клена; 3, 4 – почки и ксилема лоха; 5 – почки ореха маньчжурского

Одна часть этой массы воды мигрирует из живых клеток и кристаллизуется в зонах льдообразования, расположенных в прилегающих тканях, другая (до 0,14 ... 0,15 г на 1 г сухого вещества) может сохраняться в клетках без кристаллизации даже при достижении температуры – 60 °С.

В любом случае (при наличии НТЭ, как у клена остролистного, и в ее отсутствие) в клетках имеются вещества, обладающие сильным анти-нуклеационным действием. Они предотвращают внутриклеточную кристаллизацию (до определенного температурного предела), что позволяет растениям выживать при довольно сильных морозах. Можно предположить, что эти вещества являются специфическими белками, как и в меристематических тканях почек лиственницы сибирской.

Кристаллизация воды в целых побегах клена, лоха и ореха маньчжурского начинается при более низких температурах, чем у лиственницы сибирской. Это повышает вероятность повреждений при резких колебаниях зимней температуры, так как при ее изменении может не хватить времени для достижения безопасного уровня содержания остаточной воды в живых клетках.

Выводы

Методы низкотемпературного термического анализа могут быть использованы для оценки перспективности интродукции растений по показателям их морозостойкости.

Исследование фазовых превращений воды в тканях зимующих растений позволяет установить механизм устойчивости к низким температурам, оценить условия охлаждения, при которых растения способны выдерживать зимние холода.

Метод дает возможность быстро определить температурную границу устойчивости растений, имеющих НТЭ в ксилеме или почках.

В тех случаях, когда НТЭ отсутствуют, ДСК-кривые замораживания – оттаивания можно использовать для определения количества кристаллизующейся воды в различных температурных интервалах и установить температурные границы устойчивости вегетативных органов растений-интродуцентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Лоскутов Р.И. Интродукция декоративных древесных растений в южной части Средней Сибири. - Красноярск: ИЛ СО РАН, 1991. - 189 с. [2]. Миронов П.В., Левин Э.Д. Переохлаждение и обезвоживание хвойных зачатков в зимующих почках лиственницы сибирской // Физиология растений. - 1985. - Т. 32, вып. 4. - С. 695-701. [3]. Миронов П.В., Лоскутов С.Р., Левин Э.Д. О фазовом переходе воды в зимующих побегах лиственницы сибирской // Лесн. журн. - 1985. - № 5. - С. 9-12. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Rasmussen D.H. Ice formation in aqueous systems // J. Microsc. - 1982. - Vol. 128, Pt 2. - P. 167-174.

Поступила 18 апреля 1995 г.

УДК [504.54.06.009:630*]:630*116.28

В.А. КОЛОМЫЦЕВ

Институт леса Карельского НЦ РАН



Коломыцев Виктор Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Карельский государственный педагогический институт, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии лесных ландшафтов Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 20 печатных работ по вопросам структуры заболоченных экосистем, естественной и антропогенной динамики лесо- и болотообразовательного процессов в таежных ландшафтах Карелии.

ЛАНДШАФТНЫЕ АСПЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ

На зональной ландшафтно-типологической (географической) основе дано представление о пространственном распространении заболоченных (заболочивающихся) лесов в пределах северо- и среднетаежной подзон Карелии. Показана зависимость относительного участия заболоченных лесов в структуре ландшафтов от зонально-климатических и геоморфологических условий. Приведены некоторые рекомендации по промышленному освоению лесов и гидролесомелиорации.

The presentation of spatial spreading of waterlogged forests within northern taiga and middle taiga subzones of Karelia is given on the landscape-and-typological (geographical) basis. The dependence of relative participation of waterlogged forests in the landscape structure on zone-climatic and geomorphological conditions is presented. Some recommendations are outlined for industrial forest development and hydroforest amelioration.

Создание единой системы организации лесопользования для районов Севера европейской части России на ландшафтно-типологической основе является одним из разделов ГКНТП «Российский лес». В связи с этим для лесоводов представляет интерес изучение ландшафтных аспектов распространения и использования заболоченных лесов на примере Карелии.

Заболоченные и заболочивающиеся леса в таежной зоне являются важным компонентом ее структурной организации. Их выделяют по торфяной залежи толщиной до 0,3 м, т. е. до глубины, с которой корни деревьев способны получать питательные вещества из минеральной части почвы.

Заболоченные леса представляют большой теоретический интерес и практическую значимость ввиду их широкого распространения, типологического разнообразия в таежной зоне и необходимости особых режимов их эксплуатации. Кроме того, они объективно служат основным гидролесомелиоративным фондом.

Изучению качественных признаков заболоченных лесов и лесных болот, в частности характеристике типов и эндодинамических рядов их развития под влиянием изменения гидрологических и трофических условий, посвящена обширная литература [8, 9, 11, 15 и др.]. Трудность заключается в определении площади, занимаемой заболоченными лесами. Для крупных таежных регионов таких данных нет [3]. Это обусловлено тем, что, во-первых, развитие заболоченных лесов в лесные или открытые болота в определенные отрезки времени происходит нелинейно; во-вторых, они физиономически однородны с лесными болотами, и визуально невозможно определить основной качественный признак заболоченных лесных экосистем – толщину торфяной залежи. Сплошная зондировка, позволяющая установить толщину торфа, еще менее осуществима.

Ландшафтный метод исследования позволяет получить оценочную информацию о распространении и структуре экосистем, в том числе заболоченных лесов. В Карелии получен обширный эмпирический материал, позволяющий экстраполировать его на значительные территории в пределах северо- и среднетаежной подзон. Ландшафты выделяли по признакам их морфогенеза, т. е. в основу был положен классификационный (типологический) принцип [2, 10, 13]. Всего в Карелии выделено 6 морфогенетических групп и 20 типов ландшафта (табл.1, рисунок). Структуру их экосистем изучали методом профилирования. Профили прокладывали в пределах выделенных ландшафтных контуров перпендикулярно длинным осям ориентированных форм рельефа. На них определяли протяженность фаций (биогеоценозов) по группам растительных формаций и типам в соответствии с границами фитоценозов, их положение относительно форм элементов мезорельефа и др. Зондировочное бурение позволяло выделять три основные категории земель: суходольные (незаболоченные), заболоченные (заболачивающиеся) с толщиной торфа до 30 см и болотные на торфяных почвах толщиной более 30 см [5, 6, 9].

В данной статье рассмотрены лишь наиболее общие особенности распространения заболоченных лесов на уровне основных морфогенетических групп ландшафта. В отличие от шести групп, представленных в схеме их классификации [13] (табл.1), здесь даны три в более генерализованном виде с учетом подзональных особенностей: 1) озерно-ледниковые и морские равнинные, 2) ледниковые и водно-ледниковые холмистые и грядово-холмистые, 3) денудационно-тектонические холмисто-грядовые и грядовые.

В ландшафтах среднетаежной подзоны исследования были проведены на 27, северотаежной – на 15 профилях. Общая протяженность профилей около 200 км.

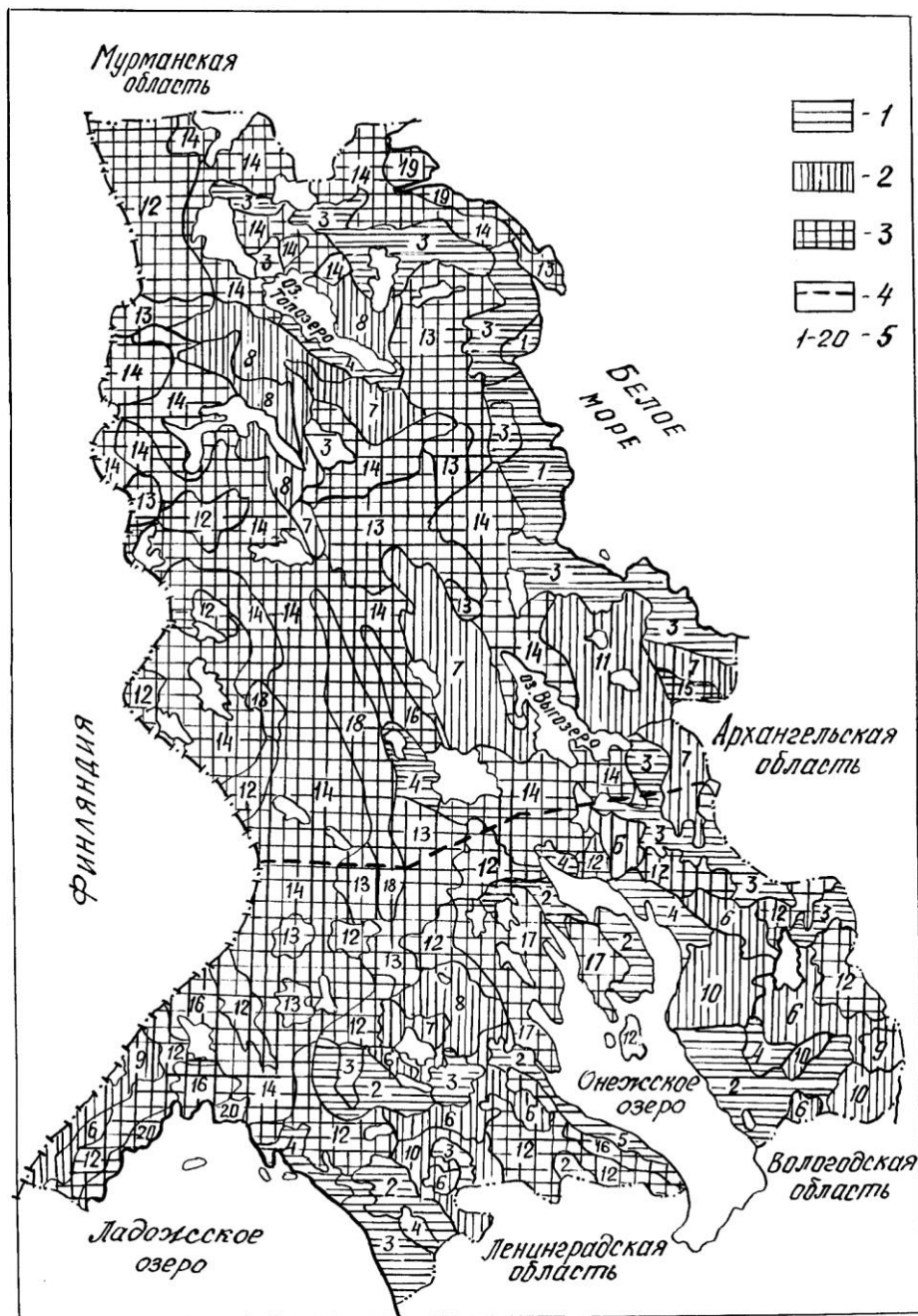
Таблица 1

Преобладающие местообитания (по коренным древесным породам)	Степень заболоченности		
	сильная (> 50 %)	средняя (20...50 %)	слабая (< 20 %)
I. Озерные, озерно-ледниковые и морские равнины			
Еловые	1	2	-
Сосновые	3	4	5
II. Ледниковые и водно-ледниковые холмисто-грядовые и холмистые			
Еловые	-	6	-
Сосновые	7	8	9
III. Ледниково-аккумулятивные сложного рельефа			
Еловые	-	-	10
Сосновые	-	-	11
IV. Денудационно-тектонические холмисто-грядовые, в том числе с комплексом ледниковых образований и низкогорные (г)			
Еловые	-	12	-
Сосновые	13	14	-
V. Денудационно-тектонические грядовые (сельговые)			
Еловые	-	15	16
Сосновые	-	17	18
VI. Скальные			
Сосновые	-	19	20

Группа равнинных ландшафтов озерно-ледникового и морского генезиса (типы ландшафтов 1–5) в пространственном отношении тяготеет к восточной, юго-восточной и южной периферии и центральной «оси» изучаемого региона, т. е. к областям распространения древних послеледниковых водоемов, и наиболее широким фронтом выходит на побережья Белого моря, Онежского и Ладожского озер [12]. В северотаежной подзоне равнинные ландшафты занимают 14, в среднетаежной – 22 % территории [13, 14].

Рельеф ландшафтов ровный, сформирован в условиях подводного отложения и сортировки моренного материала четвертичного периода [1]. Эрозионное расчленение поверхности слабое. Почвообразующие породы сухих местообитаний представлены песками и супесями, реже алевритами, суглинками и глинами. Степень заболоченности ландшафтов варьирует в пределах 40 ... 90 %. Для них характерно преобладание заболоченных лесных экосистем над болотными.

В северотаежной подзоне заболоченных лесов значительно меньше, чем в средней тайге, где их преобладание над категорией болотных земель служит наиболее существенным элементом структурной организации экосистем равнин [3, 6–8]. Данная особенность выявленная в ходе ландшафтных исследований, необъяснима с геоморфологических позиций,



Зональное ландшафтно-типологическое районирование Карелии: 1 – ландшафты равнинные озерного и морского генезиса; 2 – холмистые и холмисто-грядовые водно-ледникового генезиса; 3 – грядовые и холмисто-грядовые денудационно-тектонического генезиса; 4 – граница северо- и среднетаежной подзон; 5 – номера типов ландшафтов согласно табл. 1

поскольку морфометрические характеристики всех равнинных ландшафтов практически идентичны [4, 6]. Определяющим фактором здесь служит су- ровый климат, который способствует преимущественному развитию мохо- вых формаций за счет снижения конкурентной способности древесной рас- тительности в условиях избыточного увлажнения и быстрому прохождению сукцессионных фаз.

Широкое распространение заболоченных лесов в равнинных ландшафтах и высокая степень их заболоченности (табл. 2), свидетельству- ющие об активном болотообразовательном процессе, предполагают особый (падающий) режим эксплуатации лесов. В этих условиях сплошные

Таблица 2

Тип ландшафта	Господствующая порода	Общая заболоченность, %	Доля заболоченных лесов, % от общей заболоченности	Относительная площадь ландшафта в подзоне, %
I. Ландшафты озерно-ледникового и морского генезиса				
Северотаежная подзона				
1	Е	85	53	2
3	С	65	22	10
4	С	61	58	2
Среднее взвешенное	-	67	32	-
Среднетаежная подзона				
2	Е	70	80	10
3	С	75	60	8
4	С	50	80	4
5	С	20	85	0,5
Среднее взвешенное	-	66	74	-
II. Ландшафты холмистые и грядово-холмистые водно-ледникового генезиса				
Северотаежная подзона				
7	С	55	17	8
8	С	20	18	7
11	С	35	25	4
Среднее взвешенное	-	36	21	-
Среднетаежная подзона				
6	Е	27	15	9
7	С	55	10	2
8	С	25	10	3
9	С	15	40	2
10	Е	20	46	8
Среднее взвешенное	-	22	26	-

Продолжение табл. 2

Тип ландшафта	Господствующая порода	Общая заболоченность, %	Доля заболоченных лесов, % от общей заболоченности	Относительная площадь ландшафта в подзоне, %
III. Ландшафты холмисто-грядовые и грядовые денудационно-тектонического генезиса				
Северотаежная подзона				
12	Е	33	27	3
12г	Е	40	65	4
13	С	60	10	12
14	С	45	30	42
15	Е	30	35	1
18	С	14	90*	4
19	С	40	20	1
Среднее взвешенное	-	45	26	-
Среднетаежная подзона				
12	Е	35	50	23
13	С	50	41	4
14	С	45	40	15
17	С	30	60	3
18	С	15	50	6
19	С	15	-	0,5
20	С	20	75	2
Среднее взвешенное	-	35	48	-

* Столь высокий показатель свидетельствует, вероятно, об общей тенденции значительной доли участия заболоченных лесов в ландшафте 18.

концентрированные рубки недопустимы, поскольку они усиливают заболачивание суходолов. Важнейшим лесохозяйственным мероприятием здесь является гидролесомелиорация, которая выступает в качестве основного способа сохранения лесов от их дальнейшего заболачивания.

Группа ландшафтов холмистых и грядово-холмистых водно-ледникового генезиса (типы ландшафтов 6–11) отличается от предыдущей хорошо выраженными скульптурными формами рельефа, образование которых вызвано сложными процессами аккумуляции рыхлого ледникового материала и последующего эрозионного расчленения поверхности [7]. В пределах региона эти ландшафты локализованы в виде отдельных контуров различных размеров вдоль внутренней (континентальной) стороны равнинных ландшафтов [12], что подчеркивает их взаимную генетическую связь (см. рисунок). В северотаежной подзоне ландшафты занимают 19 %, в среднетаежной – 24 % территории.

Почвообразующими породами служат разнообразные рыхлые четвертичные отложения, но преобладают легкие морены и пески. Ланд-

шафты данной группы имеют в целом сравнительно слабую степень заболоченности (15 ... 50 %) в силу значительной расчлененности рельефа.

Другим их отличием от равнин служит явное преобладание категории болотных земель над заболоченными (табл. 2). В то же время выявлено, что чем шире развиты холмистые формы рельефа, тем слабее участие заболоченных земель в структуре ландшафтов, тогда как грядовый рельеф, особенно эрозионного происхождения, в большей степени способствует формированию заболоченных лесов.

Подзональные особенности распределения заболоченных земель в водно-ледниковых ландшафтах проявляются в не столь резкой форме, как на равнинах, но довольно однозначно: среднее взвешенное значение доли заболоченных земель по типам ландшафтов свидетельствует о большем распространении заболоченных лесов в среднетаежной подзоне при меньшей степени их заболоченности.

В связи со сравнительно слабой заболоченностью ландшафтов водно-ледникового генезиса и незначительным участием заболоченных лесов в структуре их экосистем здесь практически не требуется применение гидролесомелиоративных мероприятий. При рубках главного пользования учет фактора болотообразования имеет локальное значение.

Группа холмисто-грядовых и грядовых ландшафтов денудационно-тектонического генезиса (типы ландшафтов 12–20) для территории Карелии является наиболее распространенной (фоновой), поскольку занимает 67 % территории северотаежной подзоны и 54 % в подзоне средней тайги (см. рисунок).

В рельефе ландшафтов распространены грядовые и холмисто-грядовые формы, образовавшиеся в результате наложения сложных процессов, вызванных тектоническими нарушениями кристаллических пород, денудацией, переотложением ледникового материала и локальной водной абразией последнего [1, 7]. Для них характерны различная степень обнаженности или близкое расположение к дневной поверхности (1 ... 3 м) древних кристаллических пород. Почвообразующими породами служат преимущественно морены и реже скальные выходы. Степень заболоченности ландшафтов данной группы варьирует от 15 до 60 %. Различие в степени заболоченности типов денудационно-тектонических ландшафтов обусловлено морфологическими особенностями их рельефа и находится в обратно пропорциональной зависимости от степени расчлененности последнего [6].

Несмотря на существенные морфологические различия внутри этой группы ландшафтов и генетические – с ландшафтами равнинной группы, в них прослеживается явное сходство в подзональных особенностях по степени заболоченности и доле участия заболоченных земель в структуре ландшафтов.

В северотаежной подзоне степень заболоченности в целом выше, чем в среднетаежной, тогда как заболоченные леса имеют меньшее распространение (табл. 2). Данное обстоятельство подтверждает предположе-

ние о том, что более экстремальные климатические условия северной тайги снижают сопротивляемость мезофильных древесных формаций экспансии гигро- и гидрофильных моховых и травяно-моховых.

Типологическое разнообразие денудационно-тектонических ландшафтов, различия в степени и характере заболоченности обуславливают дифференцированный подход к эксплуатации лесов и лесохозяйственным мероприятиям. В фоновых типах ландшафтов 12, 13, 14, где степень заболоченности варьирует от 35 до 60 % и доля участия заболоченных земель в среднем около 40 %, гидrolесомелиорация является одним из наиболее приоритетных лесохозяйственных мероприятий для предотвращения дальнейшей экспансии болот на лесные территории. В остальных типах ландшафтов, занимающих небольшие площади (в том числе уникальных), вмешательство человека в регулирование лесо- и болотообразовательного процессов не требуется.

Выводы

Зонально-типологическая основа ландшафтной классификации и районирования территории Карелии позволила впервые получить информацию о распространении заболоченных лесов. Выяснено, что в равнинных ландшафтах водно-ледникового генезиса их доля обычно превышает 50 % от общей степени заболоченности, в холмистых и грядово-холмистых водно-ледниковых – менее 30 %, а в грядовых и холмисто-грядовых денудационно-тектонических ландшафтах варьирует в широких пределах (от 10 до 90 %) при среднем значении около 40 %.

Подзональные особенности в распространении заболоченных лесов заключаются в том, что в северотаежной подзоне их процент меньше, чем в среднетаежной. Влияние геоморфологических факторов на уровне типа ландшафта проявляется в увеличении доли заболоченных лесов в условиях развития грядового рельефа и снижении в ландшафтах с преимущественным развитием холмистых форм рельефа.

Заболоченные леса объективно служат основным гидrolесомелиоративным фондом, поскольку болотообразовательный процесс в них замедлен и они произрастают на потенциально плодородных почвах с развитым комплексным (органо-минеральным) профилем. Их осушение будет способствовать увеличению общей продуктивности лесов и сдерживанию разрастания открытых болот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии.- Петрозаводск, 1959. - 308 с. [2]. Волков А.Д., Лак Г.Ц., Еруков Г.В. Типы ландшафта Карельской АССР // Структура и динамика лесных ландшафтов Карелии.- Петрозаводск, 1985. - С. 16-38. [3]. Вомперский С.Э. Лес и болото: особенности круговорота веществ и проявления биосферной роли // Лесоведение.- 1991. - № 6. - С. 54-64. [4]. Коломыцев В.А. К вопросу о взаимосвязи заболоченности и темпов заболачивания с рельефом равнинных типов ландшафта. //

Структура и динамика лесных ландшафтов Карелии.- Петрозаводск, 1985. - С. 125-149. [5]. Коломыцев В.А. Моделирование процесса заболачивания в лесных ландшафтах среднетаежной подзоны Карелии // География и природные ресурсы. - 1986. - № 1. - С. 66-71. [6]. Коломыцев В.А. Болотообразовательный процесс в среднетаежных ландшафтах Восточной Фенноскандии. - Петрозаводск, 1993.- 172 с. [7]. Лукашов А.Д. Новейшая тектоника Карелии. - Л., 1976. - 108 с. [8]. Медведева В.М. Формирование лесов на осушенных землях среднетаежной подзоны Карелии.- Петрозаводск, 1989.- 168 с. [9]. Пьявченко Н.И. Лесное болотоведение. - М., 1963. - 192 с. [10]. Солнцев В.А. Природный ландшафт и некоторые его общие закономерности // Тр. II Всесоюз. географ. съезда. - М., 1948.- Т.1.- С. 258-269. [11]. Сукачев В.Н. Руководство к исследованию типов лесов // Избр. тр.- 1973.- Т. 1.- С. 15-141. [12]. Четвертичные отложения Финляндии и Северо-Запада Российской Федерации и их сырьевые ресурсы. Карта масштаба 1:1 000 000.-Helsinki, 1993. [13]. Экосистемы ландшафтов запада средней тайги (структура, динамика) / А.Д. Волков, А.Н. Громцев, Г.В. Еруков и др. - Петрозаводск, 1990. - 284 с. [14]. Экосистемы ландшафтов запада северной тайги (структура, динамика) / А.Д. Волков, А.Н. Громцев, Г.В.Еруков и др. - Петрозаводск, 1995. - 194 с. [15]. Яковлев Ф.С., Воронова В.С. Типы лесов Карелии и их природное районирование. - Петрозаводск, 1959. - 190 с.

Поступила 3 июня 1996 г.

УДК 630*648

Л.Ф. ИПАТОВ

Архангельский государственный технический университет



Ипатов Леонард Федорович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета, заслуженный лесовод РФ. Имеет более 140 публикаций по вопросам строения, роста и продуктивности древостоев искусственного и естественного происхождения на Европейском Севере.

ДИНАМИКА ЛЕСОВ ОРЛОВСКОЙ КОРАБЕЛЬНОЙ РОЩИ

На основе данных семи лесоустройств Орловской бывшей корабельной рощи в Великоустюгском районе Вологодской области изучена динамика лесного фонда за 122-летний период, выявлена нежелательная смена сосны елью под влиянием выборочных и сплошных рубок леса.

Based on the database of seven forest inventories of the former Orlov grove in Veliky-Ustyug region of Vologda area the dynamics of the forest stock has been studied over the period of 122 years, the undesirable alternation of pine into spruce under the influence of selective and final fellings has been revealed.

С возникновением отечественного кораблестроения, начало которому было положено в 1693 г. в Архангельске, в лесах Европейского Севера было выделено свыше пятисот корабельных рощ. К 1857 г. их количество составляло в Архангельской и Вологодской губерниях соответственно 318 и 144, общая площадь 628 915 га. К сожалению, в современных лесоустроительных материалах об этих рощах нет никаких сведений. Они остались в памяти лишь некоторых местных жителей и в архивных документах [3].

Единственным исключением из этого правила является Орловская бывшая корабельная роща в Великоустюгском районе Вологодской области. Сохранились многие лесоучетные материалы за 122-летний период, в течение которого границы рощи практически не изменялись (табл. 1).

Сокращение общей площади рощи между первым (1868 г.) и последним (1990 г.) лесоустройствами произошло за счет передачи части территории местным крестьянам под выпас скота (112,8 га). За последние полвека площадь рощи практически не менялась (1276 га) и была близка к

Таблица 1

Распределение общей площади, га / %, по категориям земель

Категория земель	Год лесоустройства						
	1868	1911	1929	1956	1967	1978	1990
Покрытая лесом площадь	<u>1369,8</u> 98,7	<u>1238,9</u> 92,3	<u>1145,0</u> 85,4	<u>1230,4</u> 96,5	<u>1221,0</u> 95,7	<u>1253,0</u> 98,2	<u>1248,0</u> 97,8
В том числе лесные культуры	—	—	—	<u>21,1</u> 1,6	<u>24,0</u> 1,8	<u>30,0</u> 2,4	<u>30,0</u> 2,4
Несомкнувшиеся культуры	—	—	—	<u>5,3</u> 0,4	<u>6,0</u> 0,4	—	—
Не покрытая лесом площадь	<u>2,3</u> 0,2	<u>88,3</u> 6,6	<u>182,7</u> 13,3	<u>1,2</u> 0,1	<u>11,0</u> 0,9	—	—
В том числе:							
вырубки	—	88,3	128,9	0,7	1,0	—	—
гари	—	—	51,2	—	10,0	—	—
прогалины	2,3	—	2,6	0,5	—	—	—
Лесная площадь	<u>1372,1</u> 98,7	<u>1327,2</u> 98,9	<u>1327,7</u> 98,7	<u>1236,9</u> 97,0	<u>1238,0</u> 97,0	<u>1253,0</u> 98,2	<u>1248,0</u> 97,8
Нелесная площадь	<u>16,7</u> 1,3	<u>14,7</u> 1,1	<u>17,3</u> 1,3	<u>38,1</u> 3,0	<u>38,0</u> 3,0	<u>23,0</u> 1,8	<u>28,0</u> 2,2
Общая площадь	<u>1388,8</u> 100	<u>1341,9</u> 100	<u>1345,0</u> 100	<u>1275,0</u> 100	<u>1276,0</u> 100	<u>1276,0</u> 100	<u>1276,0</u> 100

средней арифметической величине всех выделенных корабельных роц на Европейском Севере (около 1400 га). В роце насчитывается 14 кварталов и 190 выделов покрытой лесом площади (по данным лесоустройства 1990 г.). Нелесная площадь занимает 2,2 % и представлена в основном просеками и дорогами. В настоящее время роща отнесена к ценным лесам I группы.

Лесорастительные условия Орловской рощи, расположенной на высоком водораздельном плато при впадении р. Лузы в р. Юг, исключительно благоприятны для роста сосны и лиственницы. Здесь нет заболачивания, столь обычного для большинства северных лесов. Объем статьи не позволяет привести подробные данные о высокой продуктивности древостоев. Приведем лишь два примера. По материалам наших исследований, на многих пробных площадях запас древостоев уже в возрасте 55 ... 60 лет превышал 400 м³ на 1 га, что является чрезвычайно высоким показателем для лесов Европейского Севера на границе средней и южной подзон тайги [1]. По данным А.А. Битриха, детально изучившего при лесоустройстве в 1911 г. состояние, рост и продуктивность насаждений и характер возобновления на вырубках, запас в 130-летней сурамени при составе 8С1Л1Е равнялся 663 м³ на 1 га. Это дало основание автору написать, что леса рощи «... в смысле продуктивности не имеют себе равных не только на севере, но и в центральной России» [2, с. 90].

Хозяйственная деятельность в роце отражает, по сути дела, историю освоения человеком лесов Европейского Севера. Наличие качественного строевого леса крупных размеров, удобство сплава и дешевизна рабочих рук местных крестьян привлекали великоустюгских и архангельских лесопромышленников. Вначале в роце проводили приисковые рубки лиственницы для нужд кораблестроения, затем выборочные на сосну, а с 1892 г. впервые на северо-востоке здесь были применены сплошнолесосечные рубки, продолжавшиеся вплоть до 1936 г., когда роща была объявлена памятником природы. А.А. Битрих считал, что сплошнолесосечные рубки и интенсивное возобновление ели под пологом леса приведут в ближайшее время к полной смене высокопродуктивных сосново-лиственничных насаждений низкопродуктивными еловыми. Он, в частности, писал: «Светолюбие лиственницы, усиленная рубка, быстрое задернение почвы и наличность густого подроста ели продиктовали верхнему – лиственничному – ярусу смертный приговор. Судьбу лиственницы, быть может, придется делить и сосне, если не будут приняты все меры к обузданию ели, все более и более вторгающейся в территорию борových сураменей и совершенно обесценивающей лучшие участки этих сообществ» [2, с. 84-85].

За 122-летний период между первым и последним лесоустройствами доля сосняков уменьшилась с 69,8 до 43,3 %, а еловых насаждений увеличилась с 29,4 до 53,9 % (табл. 2).

Таким образом, различные виды рубок вызвали смену сосны елью, хотя и в несколько меньшей мере, чем предсказывал А.А. Битрих. Более того, сплошные рубки привели к образованию насаждений с преобладанием березы и осины. По данным лесоустройства 1990 г., отмечено четыре таких

Таблица 2

Распределение покрытой лесом площади, га/%, по преобладающим породам

Преобладающая порода	Год лесоустройства						
	1868	1911	1929	1956	1967	1978	1990
Сосна	<u>956,0</u> 69,8	<u>668,7</u> 54,0	<u>698,7</u> 61,0	<u>570,5</u> 46,3	<u>557,0</u> 45,6	<u>546,0</u> 43,6	<u>540,0</u> 43,3
Ель	<u>402,7</u> 29,4	<u>558,6</u> 45,1	<u>446,3</u> 39,0	<u>651,7</u> 53,0	<u>630,0</u> 51,6	<u>686,0</u> 54,7	<u>672,0</u> 53,9
Лиственница	<u>11,1</u> 0,8	<u>11,6</u> 0,9	—	—	<u>25,0</u> 2,1	—	<u>15,0</u> 1,2
Береза	—	—	—	<u>8,2</u> 0,7	<u>9,0</u> 0,7	<u>21,0</u> 1,7	<u>18,0</u> 1,4
Осина	—	—	—	—	—	—	<u>3,0</u> 0,2
Итого	<u>1369,8</u> 100	<u>1238,9</u> 100	<u>1145,0</u> 100	<u>1230,4</u> 100	<u>1221,0</u> 100	<u>1253,0</u> 100	<u>1248,0</u> 100

участка на площади 21 га. Участок с явным господством лиственницы обнаружен при лесоустройствах 1868 и 1911 гг. После рубки на его месте возобновился смешанный древостой, который обозначен как сосновый при лесоустройствах 1956 и 1978 гг. и как лиственничный при лесоустройствах 1967 и 1990 гг. В последний раз лесоустройтели дали ему такую характеристику: состав 5Л4С1Е, возраст 70 лет, средняя высота 25 м, средний диаметр 24 см, полнота 0,8, запас 380 м³ на 1 га.

За исследуемый 122-летний период леса рощи почти полностью обновились. Если же учесть, что многие участки леса раньше были пройдены выборочными рубками, то современные насаждения следует считать третьим поколением. Средний их возраст около 70 лет.

В 1946 г. на территории рощи заложен питомник площадью 0,25 га, а в 1949 г. созданы первые культуры сосны. В настоящее время древостои искусственного происхождения занимают 30 га. Из-за отсутствия не покрытых лесом площадей в последние два десятилетия никаких лесовосстановительных мероприятий не было. С 1948 г. в дополнение к санитарным стали проводить рубки ухода, но в небольших объемах. В последнее время лесохозяйственная деятельность направлена в основном на охрану лесов от пожаров.

Интересно сравнить данные различных лесоустройств о динамике типов леса. Впервые разделение насаждений на типы произвел таксатор А.А. Битрих в 1911 г., применив три сосновых и три еловых типа леса (табл. 3). С 1929 г. использовали схемы, разработанные лесоустройтелями на принципах типологии В.Н. Сукачева.

Анализ данных табл. 3 показывает, что за период с 1929 г. в сосняках значительно снизилась доля относительно сухих типов леса – лишайникового, мшисто-лишайникового, брусничного (в последнем с 70,7 до 14,6 %). В то же время доля сосняка черничного как типа леса с более влажными

Таблица 3

Распределение покрытой лесом площади, %, по типам леса

Тип леса	Год лесоустройства					
	1911	1929	1956	1967	1978	1990
Сосняки:						
лишайниковый	–	12,5	–	–	0,2	–
мшистый	17,8	–	–	–	–	–
мшисто-лишайниковый	–	15,5	5,0	–	–	–
брусничный	–	70,7	51,0	17,0	12,5	14,6
суборь	37,4	–	–	–	–	–
кисличный	–	–	1,4	3,0	85,3	20,0
сосново-лиственничная сурамень	44,8	–	–	–	–	–
черничный	–	0,9	42,2	80,0	2,0	64,6
чернично-травяной	–	–	–	–	–	0,8
долгомошный	–	0,4	0,4	–	–	–
Ельники:						
брусничный	–	–	25,3	1,2	2,5	–
елово-лиственничная сурамень	38,7	–	–	–	–	–
кисличный	–	–	13,6	3,9	37,3	16,2
черничный	–	45,5	48,2	86,8	55,7	78,4
ровнядь	47,2	–	–	–	–	–
черничный влажный	–	–	–	–	3,2	2,0
долгомошный	–	1,0	8,4	3,8	–	2,0
лог	14,1	–	4,5	–	1,3	1,4
хвощовый	–	32,0	–	–	–	–
осоково-сфагновый	–	21,5	–	–	–	–
таволговый	–	–	–	4,3	–	–

почвами увеличилась с 0,9 до 64,6 %. Произошло как бы «увлажнение» леса. В определенной мере это объяснимо: в 1929 и 1956 гг. основным объектом таксации были молодняки и в напочвенном покрове было больше свето- и теплолюбивых растений-индикаторов. У ельников это явление выражено в меньшей степени. Тип леса, как видим, не остается постоянным во времени. Изменения в названии связаны как с динамикой травяно-мохового покрова, так и с индивидуальным подходом инженера-таксатора. Примером может служить лесоустройство 1978 г., когда преобладающим типом леса был выделен кисличный. По-видимому, инженер-таксатор уделил больше внимания продуктивности древостоев, а не напочвенному покрову.

Приведенные в статье данные показывают, что бывшие корабельные рощи могут служить важной базой для исследований динамики лесного фонда в течение длительного периода времени. На этих значительных территориях, в отличие от постоянных пробных площадей, можно проследить влияние рубки леса и различных лесохозяйственных мероприятий на смену пород и другие изменения в лесном фонде. Ценность материалов возрастает с проведением очередных лесоустройств. Архангельскому и Вологодскому управлениям лесами следовало бы восстановить по архивным материалам

границы бывших корабельных рощ, отводившихся, как известно, в лучших для сосны и лиственницы лесорастительных условиях. Одновременно это способствовало бы восстановлению генофонда наиболее ценных древесных пород Европейского Севера, что важно для теории и практики лесного хозяйства России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Беломорская тайга: вчера, сегодня, завтра / Л.Ф. Ипатов, П.Н. Львов, Д.В. Трубин, Б.В. Трубин. - Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1988. - 262 с. [2]. Битрих А. Орловская роща, ее устройство и судьба ее сплошных вырубок // Лесн. журн. - СПб., 1913. - Вып. 1-2. - С. 73-139. [3]. Редько Г.И., Бабич Н.А. Корабельный леса во славу флота российского. - Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1993. - 151 с.

Поступила 23 ноября 1995 г.

УДК 581.331.2:630*165.4

А.А. АФОНИН, Е.Н. САМОШКИН

Брянский государственный педагогический университет
Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Афонин Алексей Алексеевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Брянский педагогический институт, ассистент Брянского государственного педагогического университета по курсам генетики, цитологии и дарвинизма. Область научных интересов – популяционная биология.



Самошкин Егор Никитич родился в 1934 г., окончил в 1960 г. Всесоюзный заочный лесотехнический институт, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой дендрологии и лесной селекции Брянской государственной инженерно-технологической академии, академик РАЕН. Имеет более 100 научных работ по генетике и селекции древесных растений.



ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН ИВ ТРЕХТЫЧИНКОВОЙ И ПЕПЕЛЬНОЙ ОТ ЧИСЛА ХРОМОСОМ В КЛЕТКАХ

Установлена связь числа хромосом и длины пыльцевых зерен, подтверждено наличие анеуплоидных рядов, сделано предположение о существенной роли в эволюции ив анеуплоидии.

The dependence of the number of chromosomes and length of pollen-grains is established. The presence of aneuploideus rows is proved, as well as the proposition is made on the adequate role of aneuploidia willows in the evolution.

Внутривидовая изменчивость длины пыльцевых зерен (ПЗ) ив изучена крайне недостаточно [1]. Отмечается высокий уровень вариабельности в пределах рода, отдельных видов и даже особей. Предполагается, что разнокачественность пыльцы связана с полиплоидией, однако не обнаружены исследования о связи размеров пыльцы с числом хромосом [1, 6].

Известно [6], что при увеличении числа хромосом в N раз размеры ПЗ увеличиваются в $\sqrt{N}$ раз, что используется при оценке автополиплоидов.

По нашему мнению, можно расширить границы применения этого правила и представить его в виде уравнения

$$X_a / X_0 = (D_a / D_0)^2,$$

где X_a – число хромосом анеуплоидной особи;

X_0 – то же особи с модальными (наиболее часто встречающимися) размерами ПЗ;

D_a – размеры ПЗ анеуплоидной особи;

D_0 – модальный размер ПЗ в популяции.

Это соотношение будет выполняться достаточно точно, если толщины эскины незначительна по сравнению с размерами ПЗ, а влияние экологических факторов на размер ПЗ несущественно.

Для анализа отобраны два широко распространенных вида ив: трехтычинковая (*Salix triandra* L.) и пепельная (*S. cinerea* L.) в пойме р. Десны (Брянск). Пойменные ивняки произрастают здесь в оптимальных синэкологических условиях: умеренно развитые аллювиально-луговые почвы с высоким уровнем грунтовых вод, растения не имеют затенения.

Количество хромосом подсчитывали по стандартной методике [3] на давленных препаратах пыльников. Пыльники для цитоанализа получали на срезанных черенках в лабораторных условиях (январь – март).

В период массового цветения отбирали по три сережки с разных побегов каждой особи, анализ ПЗ выполняли без предварительной обработки. Изучение мейоцитов и зрелых ПЗ вели под СМ МБИ-11, увеличение 900-кратное, светофильтр зеленый. С помощью окуляр-микрометра (точность $\pm 0,8$ мкм) оценивали размер хромосом и определяли длину ПЗ. Ма-

териал обрабатывали статистически [2]. Хромосомные числа даны по [5, 7] и результатам прямых подсчетов, терминология – по [1, 4].

При анализе мейоцитов было установлено, что хромосомы в промежуточной фазе первого деления мейоза представляют собой цепочечные ассоциации хроматиновых сегментов. Форма отдельных сегментов округлая или слабо-овальная, их диаметр не превышает 1 мкм, причем одиночные сегменты имеют примерно одинаковые размеры. Ассоциации сегментов нестабильны, поэтому каждый сегмент можно считать отдельной хромосомой. Число сегментов изменяется в пределах как вида, так и одного пыльника, что показывает наличие у ив анеуплоидии и миксоплоидии.

В образцах пыльцы всегда присутствуют два типа ПЗ: мелкие деформированные и крупные правильной эллипсоидальной формы с четко выраженными морфологическими особенностями [1]. Последний тип ПЗ использовали для измерения их длины, затем вычисляли средний размер ПЗ для данной особи.

**Зависимость размеров ПЗ ив трехтычинковой и пепельной
от числа хромосом в клетках**

Номер особи	Длина ПЗ, мкм		X_a расчетное	t_ϕ
	фактическая	расчетная		
Ива трехтычинковая				
1	22,82 ± 0,26	22,87	17	– 0,19
2	24,18 ± 0,25	24,18	19	0,00
3	24,18 ± 0,29	24,18	19	0,00
4	24,18 ± 0,31	24,18	19	0,00
5	24,34 ± 0,27	24,18	19	+ 0,59
6	24,45 ± 0,37	24,18	19	+ 0,73
7	24,72 ± 0,20	24,81	20	– 0,45
8	24,74 ± 0,33	24,81	20	– 0,21
9	24,75 ± 0,26	24,81	20	– 0,23
10	24,80 ± 0,28	24,81	20	– 0,04
11	24,82 ± 0,24	24,81	20	+ 0,04
12	24,89 ± 0,55	24,81	20	+ 0,15
13	24,90 ± 0,28	24,81	20	+ 0,32
14	25,02 ± 0,25	24,81	20	+ 0,84
15	25,09 ± 0,26	24,81	20	+ 1,08
16	25,27 ± 0,34	25,42	21	– 0,44
17	25,30 ± 0,20	25,42	21	– 0,60
18	25,37 ± 0,23	25,42	21	– 0,22
19	25,40 ± 0,27	25,42	21	– 0,07
20	25,48 ± 0,12	25,42	21	+ 0,50
21	25,50 ± 0,27	25,42	21	+ 0,30
22	25,80 ± 0,26	26,02	22	– 0,85
23	25,89 ± 0,26	26,02	22	– 0,50
24	25,90 ± 0,40	26,02	22	– 0,30
25	25,91 ± 0,31	26,02	22	– 0,35

Продолжение таблицы

Номер особи	Длина ПЗ, мкм		X_a расчетное	t_ϕ
	фактическая	расчетная		
26	$25,95 \pm 0,29$	26,02	22	– 0,24
27	$26,04 \pm 0,19$	26,02	22	+ 0,11
28	$26,04 \pm 0,24$	26,02	22	+ 0,08
29	$26,04 \pm 0,31$	26,02	22	+ 0,06
30	$26,22 \pm 0,29$	26,02	22	+ 0,69
31	$26,31 \pm 0,32$	26,02	22	+ 0,91
31	$26,31 \pm 0,32$	26,60	23	– 0,90
32	$26,32 \pm 0,19$	26,02	22	+ 1,57
32	$26,32 \pm 0,19$	26,60	23	– 1,47
33	$26,38 \pm 0,29$	26,60	23	– 0,76
34	$26,43 \pm 0,29$	26,60	23	– 0,59
35	$26,87 \pm 0,25$	26,60	23	+ 1,08
36	$27,35 \pm 0,60$	27,18	24	+ 0,28
37	$27,40 \pm 0,23$	27,18	24	+ 0,96
Ива пепельная				
1	$26,64 \pm 0,35$	25,70	25	– 0,17
2	$26,43 \pm 0,22$	26,21	26	+ 1,00
3	$28,15 \pm 0,29$	28,15	30	0,00
4	$28,15 \pm 0,31$	28,15	30	0,00
5	$28,63 \pm 0,40$	28,62	31	+ 0,02
6	$28,70 \pm 0,51$	28,62	31	+ 0,16
7	$28,76 \pm 0,26$	28,62	31	+ 0,54
8	$29,58 \pm 0,35$	29,52	33	+ 0,17
9	$29,58 \pm 0,25$	29,52	33	+ 0,24
10	$29,58 \pm 0,22$	29,52	33	+ 0,27
11	$29,72 \pm 0,40$	29,52	33	+ 0,75
11	$29,72 \pm 0,40$	29,97	34	– 0,63
12	$29,92 \pm 0,48$	29,97	34	– 0,10
13	$30,33 \pm 0,23$	30,41	35	– 0,35
14	$30,40 \pm 0,29$	30,41	35	– 0,03
15	$30,67 \pm 0,33$	30,84	36	– 0,52
16	$30,87 \pm 0,39$	30,84	36	+ 0,08
17	$31,28 \pm 0,28$	31,26	37	+ 0,07
18	$31,48 \pm 0,31$	31,68	38	– 0,65
19	$31,62 \pm 0,44$	31,68	38	– 0,13
20	$32,10 \pm 0,26$	32,10	39	0,00
21	$32,57 \pm 0,21$	32,50	40	+ 0,33
22	$32,78 \pm 0,44$	32,91	41	– 0,30
23	$32,98 \pm 0,46$	32,91	41	+ 0,15
24	$33,66 \pm 0,35$	33,70	43	– 0,11

Примечание. Диплоидное число хромосом по [5, 7] для ивы трехтычинковой 38, 44, 57, 88; для ивы пепельной – 76. t_ϕ – различие между фактической и расчетной длиной пыльцевых зерен.

Анализ результатов показывает (см. таблицу), что средние длины ПЗ группируются около некоторых модальных величин, часть результатов повторяется с точностью до 0,01 мкм. Для ивы трехтычинковой модальные числа равны 24,18 и 26,04 мкм, для ивы пепельной 28,15 и 29,58 мкм. В качестве D_0 использовали минимальные модальные числа. На их основе по предложенному уравнению вычисляли теоретические размеры ПЗ с учетом варьирования числа хромосом. Число хромосом, соответствующее каждой модальной величине ПЗ, для конкретного вида определяли на основе возможных фактических чисел хромосом X_{ϕ} в прометафазе первого деления мейоза. Для ивы трехтычинковой $X_{\phi} = 17 \dots 27$ (наиболее часто встречающиеся 17, 19 и 22); для ивы пепельной – 30, 33, 34, 36, 38, 40, 42, 43, 44 (наиболее часто встречающиеся 33 и 38). Величину X_0 находили в соответствии с принципом максимального правдоподобия путем подбора [2]. Для ивы трехтычинковой при длине ПЗ 24,18 мкм она равна 19 хромосомам, для ивы пепельной при длине ПЗ 28,15 мкм – 30 хромосомам. Максимальные значения модальных величин использовали для проверки правильности расчетов; для ивы трехтычинковой ошибка составила 0,02 мкм (0,08 %), для ивы пепельной – 0,06 мкм (0,2 %).

Таким образом, каждому значению фактической средней длины ПЗ соответствуют определенное число хромосом и расчетная средняя длина ПЗ. Во всех случаях фактическая длина ПЗ отличается от вычисленной недостоверно ($P > 0,10$), т. е. наши предположения не опровергаются.

Наблюдающееся несоответствие модальных чисел хромосом и модальных размеров ПЗ ивы трехтычинковой объясняется тем, что исследованные виды относятся к разным под родам. У ивы трехтычинковой пыльца подобна верхнемеловым видам, она обладает более толстой экзиной примитивной структуры. У ивы пепельной экзина более продвинутой, тонкая, с мелкосетчатой структурой [1]. Отклонения фактической средней длины ПЗ от расчетной можно объяснить наличием миксоплоидии и некоторыми различиями в размерах хроматиновых сегментов.

Таким образом, для изученных представителей рода ива установлена тесная связь между размерами пыльцевых зерен и числами хромосом. Путем цитоанализа в популяциях ивы трехтычинковой и пепельной выявлен высокий уровень изменчивости хромосомных чисел за счет анеуплоидии и миксоплоидии. Однако особенности кариотипа ив (мелкие хромосомы, склонные к образованию цепочечных ассоциаций) затрудняют изучение хромосомного полиморфизма. Установление определенных связей чисел хромосом и изменчивости длины ПЗ позволило подтвердить наличие анеуплоидных рядов у ивы трехтычинковой и констатировать их существование у ивы пепельной, для которой анеуплоидия не была описана ранее.

Выявленный высокий уровень анеуплоидии у ив в сочетании с предложенной методикой выявления анеуплоидов дает возможность использовать ивы в качестве тест-систем для фиксации факторов, повышающих уровень анеуплоидии.

Широкое распространение анеуплоидии у ив следует учитывать в селекции и таксономии. Результаты исследований позволяют предположить, что значительную роль в эволюции ив играет именно анеуплоидия, а не полиплоидия, однако требуется дополнительный популяционно-генетический анализ изменчивости признаков с высоким коэффициентом наследуемости, но слабо зависящих от количества хромосом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

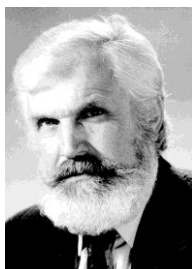
- [1]. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Семейство *Salicaceae* Mirbel-Ивовые // Пыльца двудольных растений европейской части СССР. - Л.: Наука, 1978. - С. 119-122. [2]. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высш. шк., 1982. - 224 с. [3]. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. - М.: Колос, 1974. - 122 с. [4]. Ригер Р., Михаэлис А. Генетический и цитогенетический словарь. - М.: Колос, 1967. - 607 с. [5]. Скворцов А.К. Сем. *Salicaceae* Mirbel-Ивовые // Флора европейской части СССР. - Л.: Наука, 1981. - Т. 5. - С. 10-33. [6]. Соколовская А.П. К вопросу о корреляции между числом хромосом и величиной пыльцевого зерна у видов диких растений // Полиплоидия у растений. - М., 1962. - С. 80-82. [7]. Числа хромосом цветковых растений флоры СССР/ Под. ред. А.Л. Тахтаджяна. - СПб.: Наука, 1993. - 403 с.

Поступила 2 августа 1995 г.

УДК 630*24:630*624.3

А.Д. ЛОЗОВОЙ, В.Т. ПАРИНОВ

Воронежская государственная лесотехническая академия



Лозовой Андрей Данилович родился в 1938 г., окончил в 1965 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 120 печатных трудов по проблемам разработки нормативной базы многопродуктового леса, теории и практики создания систем «непрерывный лес».



Паринов Виктор Тимофеевич родился в 1954 г., окончил в 1981 г. Воронежский лесотехнический институт и в 1993 г. Воронежский политехнический институт, ведущий инженер кафедры лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 20 печатных работ в области водного транспорта леса, лесной таксации и лесоустройства.

РАСЧЕТ РАЗМЕРА ГОДИЧНОЙ ЛЕСОСЕКИ ПО ПРОРЕЖИВАНИЯМ И ПРОХОДНЫМ РУБКАМ

Рассмотрены теоретические положения и возможные варианты расчета размера годичного пользования по прореживаниям и проходным рубкам. Приведены четыре варианта расчета, которые позволяют в последующем сделать объективный выбор годичного норматива пользования.

The theoretical basis and possible variants of calculating the annual forest utilization in relation to thinning and accretion felling have been examined. Four calculation variants are given, allowing to make an objective choice of annual norm of forest utilization.

Общеизвестно, что рубки ухода помогают формировать ценные по продуктивности и качеству насаждения. Одновременно они служат дополнительным источником товарной древесины. В связи с этим плановые, проектные и хозяйственные органы лесного хозяйства должны располагать объективными научно обоснованными методами расчета размера годичной лесосеки как наиболее важного норматива.

Практика лесного хозяйства использует четыре основных вида рубок ухода: осветление, прочистки, прореживания, проходные рубки. При расчете годичной лесосеки по площади для всех указанных видов используют простейший прием деления площади насаждений, нуждающихся в данном виде ухода, на период повторяемости. Простота и доступность этого приема обеспечили его широкое применение в практике. Однако многие исследователи указывают на несостоятельность подобного подхода [1–3]. В последнее время лесоустройство актуализирует этот показатель. Однако анализ этого метода позволил выявить следующие его недостатки:

- 1) определенное игнорирование динамики площадей в течение репродуктивного периода;
- 2) субъективность выбора периода повторяемости, хотя и подкрепленная рекомендациями и требованиями «Наставления по рубкам ухода»;
- 3) одновариантность расчета, что исключает возможность выбора лесосеки с учетом перспектив развития хозяйства.

Все это приводит к тому, что проектные, плановые и фактические объемы рубок ухода иногда довольно существенно различаются.

В последние три десятилетия появился целый ряд предложений по совершенствованию методики расчета [1–3, 7] и разработаны целевые программы [1, 2].

Проанализировав детально материалы лесоустройств и фактической деятельности 20 лесхозов европейской части РФ по рубкам ухода, предложения ученых, мы рекомендуем несколько иной подход к расчету размера годичного пользования по прореживаниям и проходным рубкам.

В процессе выполнения лесотаксационных работ любого лесного массива специалист встречается с насаждениями четырех типов, с учетом целесообразности проведения в них рубок ухода: критического, оптимального, перспективного состояния и бесперспективными.

Первая группа – это насаждения, достигшие полноты 0,9 ... 1,0 или требующие вмешательства по другим критериям. Их 40 % от общей площади. Это насаждения первой очереди. Они должны быть пройдены рубками в первые 1 ... 3 года после лесоустройства.

Вторая группа древостоев находится в преддверии достижения максимальной полноты и запаса. Это продуктивные, весьма ценные насаждения с полнотой 0,7 ... 0,8, пройденные рубками ухода 3 ... 5 лет назад. Их около 40 ... 50 %. Это насаждения второй очереди. Рубки ухода здесь следует проектировать на середину ревизионного периода на 62 ... 85 % площади.

Насаждения третьей группы, только что пройденные рубками ухода (1 ... 2 года назад), можно назвать перспективными или насаждениями третьей очереди. В них уход будет проведен в конце ревизионного периода не более чем на 50 ... 60 % площади.

Четвертая группа – бесперспективные участки. Их не следует принимать в расчет, так как в течение ревизионного периода они не достигнут необходимого для назначения рубок ухода норматива.

Предлагаемое выделение очередности поступления насаждений под рубки ухода позволит объективно оценить обстановку в хозяйстве относительно объема предстоящих работ, дифференцировать долю участия в расчете годичной лесосеки, а также обоснованно проводить в последующем авторский надзор со стороны лесоустройства.

В целом площадь, находящаяся в возрасте прореживаний и проходных рубок, будет складываться из следующих составляющих:

$$S^y = S_1 + 0,7 S_2 + 0,5 S_3, \quad (1)$$

где S^y – площадь насаждений в стадии рассматриваемого вида рубок ухода, га;

S_1, S_2, S_3 – площадь насаждений первой, второй и третьей очереди, га.

С учетом ведомости площадей каждой очереди в расчете формулу (1) можно представить в виде

$$S^y = K S_{1,2,3}, \quad (2)$$

где K – средневзвешенный коэффициент участия площадей, который для хозяйств с явным преобладанием первой очереди равен 0,9, с равным соотношением первой и второй очередей – 0,8, с преобладанием второй очереди – 0,7, третьей – 0,6.

Одновременно необходимо учитывать, что в ревизионный период часть насаждений перейдет из одного вида в другой или в стадию приспевающих древостоев. В связи с этим необходимо ввести поправку, балансирующую это соотношение (ΔS^y):

$$\Delta S^y = \frac{S^1}{n-x} - \frac{S^y}{n-x_1}, \quad (3)$$

где S^1 – площадь насаждений 1-, 2- и 3-й очереди предшествующего вида рубок ухода, га ($S^n, S^{пж}$);

S^y – площадь насаждений 1-, 2- и 3-й очереди вида ухода, га;

n – продолжительность ревизионного периода;

x, x_1 – поправочный коэффициент, зависящий от разности (ΔA) между предельным возрастом, до которого проводится данный вид ухода (A^y), и средним возрастом к концу ревизионного периода ($A_{cp} + n$).

При $\Delta A \geq 25$ годам x и $x_1 = 0$; при $\Delta A = 20, 15, 10, 5, 0$; x и $x_1 = 1, 2, 3, 4, 5$; при $\Delta A = -5$ годам x и $x_1 = 6$.

Таким образом, суммарная площадь насаждений, участвующих в расчете, будет складываться из двух рассмотренных составляющих, т. е.

$$S^y = K S_{1, 2, 3} + \left(\frac{S^1}{n-x} - \frac{S^y}{n-x_1} \right). \quad (4)$$

Для правильного прогнозирования перспектив этих насаждений необходимо увязать их современное состояние, таксационную характеристику с возможной выборкой или интенсивностью рубок ухода и показателей прироста. Такая взаимоувязка позволит точно установить период, в течение которого можно достичь целевой продуктивности. Эту взаимосвязь можно выразить уравнением

$$a = \frac{M_{a+n} - (M_{cp} - m)}{Z_m}, \quad (5)$$

где a – период достижения максимального значения запаса в соответствующем возрасте;

M_{a+n} – проектируемый запас насаждения к концу ревизионного периода при полноте не ниже 0,9;

M_{cp} – средний запас на 1 га на момент лесоустройства;

m – объем выборки с 1 га (критический, проектный, оптимальный, фактический);

Z_m – прирост по запасу.

Обобщая изложенный анализ показателей, влияющих на размер годичного промежуточного пользования по рубкам ухода, предлагаем следующие варианты расчета лесосек по площади на примере прореживаний.

1. Лесосека первого уровня или минимальная ($L_s^{пж}$)

$$L_1^{пж} = \frac{KS^{пж} + \left(\frac{S^n}{n-x} - \frac{S^{пж}}{n-x_1} \right) Z_m^{cp}}{M_{a+n} - (M_{cp} - m_k)}. \quad (6)$$

2. Лесосека второго уровня или проектная

$$L_2^{\text{пж}} = \frac{KS^{\text{пж}} + \left(\frac{S^{\text{п}}}{n-x} - \frac{S^{\text{пж}}}{n-x_1} \right) Z_m^{\text{сп}}}{M_{a+n} - (M_{\text{сп}} - m_{\text{п}})}. \quad (7)$$

3. Лесосека третьего уровня или оптимальная

$$L_3^{\text{пж}} = \frac{KS^{\text{пж}} + \left(\frac{S^{\text{п}}}{n-x} - \frac{S^{\text{пж}}}{n-x_1} \right) Z_m^{\text{сп}}}{M_{a+n} - (M_{\text{сп}} - m_{\text{о}})}. \quad (8)$$

4. Лесосека контрольная

$$L_4^{\text{пж}} = \frac{KS^{\text{пж}} + \left(\frac{S^{\text{п}}}{n-x} - \frac{S^{\text{пж}}}{M_{\text{сп}} - m_0} \right) Z_m^{\text{сп}}}{M_{a+n} - (M_{\text{сп}} - m_{\text{ф}})}. \quad (9)$$

Если прореживание проводят до 50-летнего возраста, то лесосеки рассчитывают по формуле

$$L_{1,2,3,4}^{\text{пж}} = \frac{KS^{\text{пж}} + \left(0,5S^{\text{п}} + \frac{S^{\text{п}} - S^{\text{пж}}}{n-x} \right) Z_m^{\text{сп}}}{M_{a+n} - (M_{\text{сп}} - m)}. \quad (10)$$

Расчетную лесосеку по запасу (L_m) каждого уровня определяют умножением лесосеки данного уровня по площади (L_s) на выбираемый запас (m):

$$L_m = L_s m. \quad (11)$$

Выбираемый запас для лесосеки первого уровня представляется в объеме критического ($m_{\text{к}}$), второго и третьего уровня – в размере оптимального (по таблицам хода роста), для контрольной – по фактическому ($m_{\text{ф}}$).

Аналогичен ход расчета и для проходных рубок.

При выборе лесосеки необходимо детально проанализировать каждую из лесосек с учетом сложившихся на предприятии условий.

Выбранная лесосека должна удовлетворять следующим условиям:

- 1) соответствовать возможностям предприятия по формированию насаждений необходимого состава, структуры и качества;
- 2) обеспечить равномерность пользования древесиной в течение всего ревизионного периода;
- 3) в течение первых трех лет после лесоустройства охватить рубками ухода насаждения критического состояния;
- 4) не допускать накопления насаждений критического состояния.

Предлагаемый метод базируется на материалах лесоустройства, вполне приемлем для машинной обработки данных и ручного расчета лесосеки специалистами различного уровня подготовленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бугаев В.А., Золотарев А.Ф. Машинное проектирование рубок ухода с использованием ЭВМ «Минск-22» // Лесн. хоз-во. - 1974. - № 1. - С. 49-52.
- [2]. Есимчик Л.Д., Кисляков В.Н. Метод расчета размера промежуточного пользования лесом // Вопросы лесопользования: Тез. докл. на науч. конф. по совершенствованию расчета и планированию размера главного и промежуточного пользования лесом. - Каунас, 1975. - С. 53-55.
- [3]. Мегалинский П.Н. О расчете лесосеки по рубкам ухода // Лесн. журн. - 1968. - № 4. - С. 159-161. - (Изв. высш. учеб. заведений).
- [4]. Мошкалев А.Г. Предложения по методике размера пользования древесиной // Совершенствование организации комплексного лесопользования: Тез. к докладам. - М., 1990. - С. 3-7.
- [5]. Поляков В.К. О методике исчисления расчетной лесосеки по рубкам ухода // Лесн. хоз-во. - 1968. - № 10. - С. 57-58.
- [6]. Сеннов С.Н. Целевые программы рубок ухода // Вопросы лесопользования: Тез. докл. на науч. конф. по совершенствованию расчетов и планирования размера главного и промежуточного пользования лесом. - Каунас, 1975. - С. 63-66.
- [7]. Швиденко А.Е. О методике исчисления расчетной лесосеки по рубкам ухода // Лесн. хоз-во. - 1968. - № 4. - С. 46-47.

Поступила 8 июня 1995 г.

УДК 630*416.3: 630*238

С.С. ШТУКИН

Двинская экспериментальная база Института леса Беларуси

Штукин Сергей Сергеевич родился в 1945 г., окончил в 1973 г. Белорусский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий сотрудник Двинской экспериментальной базы Института леса Беларуси. Имеет около 60 печатных работ в области интенсификации выращивания сосны обыкновенной, ели обыкновенной и лиственницы польской на дренированных почвах.



ИЗМЕНЕНИЕ ВРЕДНОСТИ КОРНЕВОЙ ГУБКИ НА ПЛАНТАЦИЯХ СОСНЫ И ЕЛИ

Описаны эксперименты по интенсификации выращивания сосны и ели в плантационных культурах, полученных селекционным изреживанием молодняков и применением химической и биологической мелиорации. Приведен перечень основных причин, способствующих уменьшению поражаемости сосны корневыми гнилями в целевых культурфитоценозах.

Experiments on intensification of pine and spruce growing in plantation cultures, obtained through selective thinning of young growth and chemical and biological amelioration. List of the main reasons contributing the lowering of pine affection by root rot in final culturephytocenosis is presented.

Самым опасным и распространенным возбудителем заболевания хвойных пород является гриб корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). В Беларуси эта болезнь причиняет большой ущерб искусственным насаждениям. Быстрое распространение корневой губки вызвано мощной антропогенной нагрузкой на фитоценозы, которая усиливается с каждым годом. Радикальных средств борьбы с болезнью пока не найдено. В этих условиях необходимо искать новые методы воспроизводства лесных ресурсов, которые обеспечивали бы улучшение санитарного состояния культурфитоценозов. Одним из таких методов, который получает все большую известность, может быть выращивание хвойных пород на плантациях.

В Беларуси экспериментальные работы по плантационной тематике начали проводить с 1976 г. Особый размах они получили в Двинской ЛОС, где на площади 80 га создано 20 стационарных опытных объектов. Методика экспериментов по интенсификации выращивания сосны и ели на плантациях разработана ЛенНИИЛХом (1975), а затем дополнена автором с учетом региональных условий. Первый стационар заложен в квартале 57 Глубокского лесничества Глубокского опытного лесхоза. В мае – июне 1976 г. проведено селекционное изреживание лесных культур сосны, созданных весной 1969 г. посадкой однолетних сеянцев при помощи лесопосадочной машины ЛМД-1. Густота посадки – 8,5 тыс. шт./га, размещение на площади 1,6 × 0,7 м. К моменту изреживания культуры хорошо сохранились и имели густоту 8,0 тыс. шт./га.

При изреживании на всем опытном участке кроме контрольных деленок вырубали каждый второй ряд культур. Изреженный древостой разбит на три секции. На первой секции в оставленных рядах намечено для дальнейшего роста каждое четвертое лидирующее дерево, на второй – каждое второе. Отставшие в росте сосны вырубали бензопилой. На третьей секции деревья в оставленных рядах не убирали. На опытном объекте площадью 8,2 га заложены четыре контрольных участка с исходной густотой. После изреживания культур получены четыре секции с размещением деревьев 3,2 × 2,8; 3,2 × 1,4; 3,2 × 0,7 и 1,6 × 0,7 м. Густота культур на первой секции – 1, на второй – 2, на третьей – 4, на четвертой – 8 тыс. шт./га. На секциях 1–3 внесены отдельно удобрения, гербициды, совместно удобрения и гербициды; контрольный вариант оставлен без удобрений и гербицидов. Всего исследовано 14 вариантов, в каждом из них оставлено не менее 500 деревьев.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, слабоподзоленная, связнопесчаная с переходами в супесчаную на песке связном, подстилаемая песком рыхлым и с глубины 198 см суглинком легким. Тип лесорастительных условий $A_2 - B_2$. По почвенному плодородию почвы участка относительно однородны.

В квартале 58 Глубокского лесничества Глубокского опытного лесхоза в июле – августе 1976 г. путем изреживания культур сосны 1966 г. заложен второй стационар площадью 2,7 га на участке с многолетним люпином. Варианты густоты те же, что и на первом объекте. Имеются контрольные делянки с люпином и без него с исходной густотой. Почва на втором стационаре дерново-подзолистая, слабоподзоленная, супесчаная на рыхлой супеси, подстилаемая песком рыхлым хрящеватым и с глубины 108 см мелкозернистым. Тип лесорастительных условий B_2 .

В квартале 32 Подсвильского лесничества Плисского опытного лесхоза путем изреживания культур 1966 г. заложен третий стационар площадью 1,5 га с густотой 1,0; 1,8 и 3,6 тыс. шт./га. Густота контрольной делянки 7,5 тыс. шт./га. Тип лесорастительных условий $A_2 - B_2$. В целом почвы на всех трех опытных объектах довольно близки по механическому и химическому составу, а также характеристике поглощающего комплекса, что свидетельствует об однородности лесорастительных условий. На всех трех стационарах сосна растет по I классу бонитета.

В мае 1977 г. в вариантах с удобрениями и на двух контрольных участках первого стационара, а также на третьем стационаре вносили аммиачную селитру в дозе 100 кг/га (д. в). Через два года в это же время применяли полное удобрение в такой же дозе азота, фосфора и калия. В мае 1983 г. на обоих объектах снова вносили аммиачную селитру в дозе 150 кг на 1 га, а весной 1989 г. – мочевины в такой же дозе. Для полного подавления травянистой растительности на удобренных и контрольных делянках применяли прометрин и пропазин из расчета 5 кг, а также аминную соль 2,4-Д – 3 кг на 1 га. В вариантах с совместным применением удобрений и гербицидов на первом стационаре все описанные мероприятия были проведены в комплексе.

Осенью 1982 г. и весной 1983 г. в квартале 156 Глубокского опытного лесхоза изрежены 18-летние лесные культуры ели на площади 7,2 га (стационар № 12). Тип лесорастительных условий D_2 , тип леса ельник-кисличник. Почва на участке дерново-подзолистая, сильноподзоленная, подстилаемая суглинком средним и с глубины 28 см глиной средней. Густота культур 10 тыс. шт./га. Сохранность главной породы ко времени закладки опыта составила 88 %. Изучены варианты с рядовым, кулисным (по два, три и пять рядов в кулисе) и групповым (по два и три дерева в группе) размещением деревьев, с удобрениями и обрезкой сучьев (всего 16 вариантов, выполненных в двукратной повторности). Весной 1983 г. в вариантах с удобрениями применяли аммиачную селитру из расчета 150 кг на 1 га, весной 1989 г. – мочевины в такой же дозе.

В опытных культурах изучали освещенность, температуру воздуха и почвы, массу и мощность лесной подстилки, условия минерального питания растений, состояние живого напочвенного покрова, а также рост древостоев и 700 деревьев-лидеров. Такое количество наиболее крупных деревьев принято для учета исходя из примерного числа стволов, которые согласно региональным таблицам хода роста сохраняются к возрасту рубки главного пользования. Освещенность в опытных культурах измеряли люксметром с 8 до 18 ч в ясную и пасмурную погоду под пологом изреженных и контрольных насаждений 10–12- и 28–32-летнего возраста. Температуру почвы определяли при помощи штанговых термометров на глубине 7, 14, 21 и 28 см, а ее влажность - весовым методом. Влияние проведенных мероприятий на условия минерального питания сосны и ели изучали методом агрохимических анализов почвы и листовой диагностики. Мощность лесной подстилки измеряли линейкой через каждые 2 м на 10 учетных площадках размером 0,5 × 0,5 м, заложенных по диагонали делянки. Воздушно-сухую массу и состав живого напочвенного покрова определяли на 10 раункировских однометровых площадках весовым методом. Осенью 1996 г. учитывали число очагов на стационарах и усохших деревьев в них. При этом вредность корневой губки на втором и третьем стационарах определяли не только на самих объектах, но и в прилегающих одновозрастных древостоях с однородными лесорастительными условиями.

Известно, что наибольший вред корневая губка наносит сосне I и II классов возраста в густых чистых культурах, созданных на землях из-под сельскохозяйственного пользования [4]. Уменьшение доступа солнечных лучей под полог насаждения, повышение влажности почвы и образование мощного слоя неразложившейся подстилки в высокополнотных древостоях вызывают усиленное распространение болезни [2]. Но при закладке наших плантаций этот традиционный процесс лесовыращивания был нарушен коренным образом. После селекционного изреживания молодняков в середине I класса возраста от 7 ... 8 до 1 ... 2 тыс. шт./га значительно изменилась экологическая обстановка под пологом древостоев; эти изменения сохраняются более 20 лет. Так, интенсивность освещения под пологом 10–12-летних плантаций сосны на высоте 1,3 м в ясную безоблачную погоду с 12 до 14 ч колеблется от 50 до 60 тыс. лк и более. На контрольных делянках, где исходная густота культур составляла 7,5 ... 8,0 тыс. шт./га и в процессе выращивания сосны древостой не изреживался, этот показатель ниже на 10 ... 15 тыс. лк. На открытой площади в это время освещенность равна 90 ... 110 тыс. лк. Под пологом культур ели, изреженных до густоты 1,5 тыс. шт./га, освещенность изменяется от 40 до 50, а на контрольных (4,5 тыс. шт./га) от 30 до 35 тыс. лк. После изреживания молодняков на длительное время изменяется температурный режим воздуха и почвы. Так, в 30-летних плантациях сосны во второй половине дня воздух прогревается больше, чем в контрольных делянках, на 3,4 ... 4,5 °, а почва на глубине

7 ... 14 см – на 0,4 ... 0,6 °. В плантациях ели различия температуры почвы еще выше (0,5...0,8 °).

Вырубка в молодняках вызывает увеличение массы живого напочвенного покрова в воздушно-сухом состоянии на делянках без внесения удобрений от 210 до 650, с удобрениями от 350 до 1050 кг/га, т. е. в 3 раза. На следующий год после внесения аммиачной селитры несколько повышается интенсивность роста травянистой растительности, а затем начинается ее постепенное подавление древостоем. Значительно изменяется состав живого напочвенного покрова на плантациях сосны с многолетним люпином. Здесь преобладают люпин (67 %) и злаки (25 %). Масса широколистного разнотравья на контрольных делянках в 2,5 – 2,7 раза выше, чем на участках с люпином. Большое влияние на массу люпинового травостоя оказывает густота стояния деревьев. При увеличении ее от 1,0 до 6,5 тыс. шт./га масса люпина снижается от 1,14 ... 1,41 до 0,31 т/га, или в 4-5 раз.

Уменьшение опада в плантационных культурах и увеличение массы живого напочвенного покрова вносят существенные коррективы в процесс формирования лесной подстилки, где складываются благоприятные условия для жизнедеятельности мицелия корневой губки. Установлено, что после интенсивного изреживания молодняков мощность лесной подстилки снижается. Так, на плантациях сосны с густотой стояния деревьев в середине I класса возраста 1 и 2 тыс. шт./га этот показатель к 25 ... 28 годам колеблется от $2,70 \pm 0,08$ до $4,20 \pm 0,19$ см; в контрольных молодняках густотой 7,5 ... 8,0 тыс. шт./га мощность подстилки выше – $4,30 \pm 0,19$... $4,90 \pm 0,23$ см ($t = 1,4 \dots 3,5$). На плантации ели с густотой 1,4 тыс. шт./га

Таблица 1

Вариант опыта	Число усохших деревьев (числитель) и площадь делянки, га (знаменатель) при густоте стояния деревьев в возрасте 8 лет, тыс. шт./га			
	8 (контроль)	4	2	1
Без удобрений и гербицидов	<u>66</u> 0,31	<u>0</u> 0,55	<u>0</u> 0,46	<u>0</u> 0,78
Удобрения	<u>10</u> 0,23	<u>0</u> 0,49	<u>0</u> 0,46	<u>0</u> 0,78
Гербициды	–	<u>70</u> 0,44	<u>25</u> 0,46	<u>0</u> 0,64
Удобрения и гербициды	–	<u>50</u> 0,44	<u>0</u> 0,46	<u>10</u> 0,78
В с е г о:				
на делянке	<u>76</u> 0,54	<u>120</u> 1,92	<u>25</u> 1,84	<u>10</u> 3,46
в пересчете на 1 га	141	62	14	2
В том числе деревьев-лидеров	12	11	5	2

этот показатель составил $2,40 \pm 0,06$, на неизреженных делянках $3,00 \pm 0,09$ см ($t = 5$). В чистых культурах сосны при густоте 1 тыс. шт./га через 17 лет после изреживания абсолютно-сухая масса лесной подстилки равнялась 30 ... 35 т на 1 га, что на 15 ... 20 % меньше, чем на контрольных делянках с исходной густотой 7 ... 8 тыс. шт./га. Весь этот комплекс изменений в фитоценозах оказал влияние на вредоносность корневой губки (табл. 1).

Из восьми секций с густотой стояния деревьев 1-2 тыс. шт./га на стационаре № 1 очаги болезни появились только на двух, причем в обоих случаях применялась химическая мелиорация. Это подтверждает выводы Н.И. Федорова [5] о том, что под влиянием азотных удобрений значительно возрастает интенсивность усыхания сосны от корневой губки. В целом же вред от гриба в крайних вариантах густоты различается в 70 раз.

Об изменении вредоносности корневой губки более объективно можно судить по реакции деревьев-лидеров. С уменьшением густоты стояния их число также стабильно снижается и в крайних вариантах различается в 6 раз.

Интересные данные получены на стационаре № 2 (табл. 2).

Таблица 2

Вариант опыта	Число усохших деревьев (числитель) и площадь делянки, га (знаменатель) при густоте стояния деревьев в возрасте 11 лет, тыс. шт./га			
	7,5 (контроль)	3,8	2,0	1,0
Без люпина	<u>550</u>	—	<u>0</u>	<u>0</u>
	3,40		0,22	0,43
Люпин	<u>240</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	1,50	0,30	0,50	0,60
В с е г о: на делянке	<u>790</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	4,90	0,30	0,72	1,03
в пересчете на 1 га В том числе деревьев-лидеров	161	0	0	0
	15	0	0	0

Корневая губка в изреженных древостоях с многолетним люпином вообще не появилась, а в контроле ее вред больше, чем на первом стационаре. Скорее всего, это связано с увеличением возраста сосны. Следовательно, наши результаты подтверждают вывод А.И. Гончара [1] о том, что при длительном произрастании люпина на одном месте его алкалоиды угнетают жизнедеятельность многих бактерий и грибов, в том числе корневой губки.

На стационаре № 3, где четыре раза вносили минеральные удобрения, на делянках с густотой 1,0 и 1,8 тыс. шт./га болезнь в 31-м молодняке не обнаружена (табл. 3).

Таблица 3

Вариант опыта	Число усохших деревьев (числитель) и площадь делянки, га (знаменатель) при густоте стояния деревьев в возрасте 11 лет, тыс. шт./га			
	7,5 (контроль)	3,6	1,8	1,0
Без удобрений	<u>420</u> 1,1	–	–	–
Удобрения	<u>170</u> 0,3	<u>57</u> 0,3	<u>0</u> 0,4	<u>0</u> 0,5
В с е г о:				
на делянке	<u>590</u> 1,4	<u>57</u> 0,3	<u>0</u> 0,4	<u>0</u> 0,5
в пересчете на 1 га	421	190	0	0
В том числе деревьев-лидеров	39	35	0	0

Обрезка сучьев сначала до высоты 2,5 ... 3,0 м, а затем 6,0 ... 7,0 м не вызвала появления болезни на делянках. При густоте 3,6 тыс. шт./га имеется один очаг корневой губки, в котором погибло 190 деревьев в пересчете на 1 га. Контрольная делянка и все прилегающие насаждения поражены грибом очень сильно (более 400 стволов на 1 га). Число усохших деревьев на этом стационаре в 2-3 раза больше, чем на первом и втором. И в будущем на плантациях вряд ли можно ожидать значительного усиления болезни, так как эти древостои находятся в хорошем санитарном состоянии.

На стационаре 12, где лесорастительные условия совершенно другие и произрастает ель, корневая губка до 32 лет не появилась. Это не означает, что ель не поражается болезнью, однако начинается она после 30 ... 40 лет [4].

Снижение вредоносности корневой губки на плантациях объясняется многими причинами. После интенсивного изреживания молодняков в середине I класса возраста происходит существенная трансформация фитоценозов. В процессе селекционной рубки удаляются отставшие в росте деревья и в значительной степени ослабляется внутривидовая конкуренция растений. В результате такой конкуренции не только отмирают отставшие в росте деревья, но и ослабляются деревья-лидеры. В таких древостоях появляется большое количество вторичных вредителей леса, которые способствуют распространению корневой губки. Споры гриба хорошо сохраняются в кишечнике насекомых, которые переносят их на другие деревья [2]. Именно наличием большого количества ослабленных деревьев и более благоприятными для болезни экологическими условиями можно объяснить ухудшение санитарного состояния контрольных насаждений. Этим же объясняется и увеличение вреда на делянках с применением туков, которые усиливают рост древостоев и конкуренцию в них, способствуя более раннему появлению ослабленных деревьев.

На плантациях улучшается не только световой и температурный режим воздуха и почвы, но и происходят более глубокие изменения в процессе превращения органических остатков и гумусообразования в почвах. Доказано, что лесная растительность, особенно хвойных пород, в зоне смешанных лесов вызывает усиление подзолообразовательного процесса, а многолетняя травянистая – дернового [6]. В результате в хвойных насаждениях условия минерального питания растений ухудшаются, а под травами, наоборот, улучшаются. Изреживание молодняков и усиление роста травянистой растительности активизируют жизнедеятельность микроорганизмов в лесной подстилке. В результате происходит усиленное накопление аминокислот в почве, что способствует улучшению питания растений [3]. Наши исследования, проведенные совместно с БелНИИ почвоведения и агрохимии, показали, что на плантациях заметно увеличивается содержание элементов минерального питания растений, а в ельниках еще и уменьшается кислотность почвы.

Таким образом, селекционное изреживание молодняков на плантациях в середине I класса возраста способствует изменению экологических условий под пологом древостоев на длительное время, многократному увеличению массы живого напочвенного покрова, уменьшению мощности и массы лесной подстилки, улучшает условия минерального питания растений и значительно снижает вредоносность корневой губки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Гончар А.И. Эффективный способ создания лесных культур в лесной и лесостепной зонах // Лесн. хоз-во. - 1982. - № 3. - С. 60-62. [2]. Негруцкий С.Ф. Корневая губка. - 2-е изд. - М.: Агропромиздат, 1986. - 196 с. [3]. Соколов Д.Ф. Влияние лесной подстилки на состав гумуса почв различных природных зон. - М.: Изд. АН СССР, 1962. - 184 с. [4]. Федоров Н.И. Защита леса от фитоповреждений // Справочник работника лесного хозяйства. - 4-е изд., перераб. и доп. - Минск.: Наука и техника, 1986. - С. 373-385. [5]. Федоров Н.И. О роли минеральных удобрений в устойчивости насаждений к корневой губке// Повышение продуктивности лесов методами лесных культур: Тез. докл. - Минск, 1973. - С. 79-80. [6]. Якушев Б.И. Влияние древесных и травянистых растений на агрохимические свойства почвы искусственных фитоценозов // Изучение лесных фитоценозов. - Минск: Наука и техника, 1973. - С. 64-67.

Поступила 31 января 1997 г.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630*36.001.57

В.И. КУЧЕРЯВЫЙ, В.Д. ЧАРКОВ

Ухтинский государственный технический университет

Кучерявый Василий Иванович родился в 1953 г., окончил в 1977 г. Ленинградскую лесотехническую академию, в 1991 г. Ленинградский государственный университет, доктор технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 80 печатных работ в области разработки новых методов расчета прочности и прогнозирования надежности лесозаготовительных машин (ЛЗМ), вероятностного проектирования и статистической динамики конструкций ЛЗМ, моделирования на ПЭВМ ресурса деталей и прогнозирования их потребности.



Чарков Владимир Дмитриевич родился в 1939 г., окончил в 1964 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 40 научных трудов по численным методам расчета прочности конструкций.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОЛЕСОВОЗОВ**

Применена детерминированная формула оценки обобщенного ресурса деталей двигателя по критерию износа как функция ресурсов на четырех типичных режимах. Методом компьютерного статистического моделирования найдено распределение обобщенного ресурса, показатели надежности и требуемое число запасных частей с учетом условий эксплуатации.

The determinate formula for estimating the generalized resource of engine details according to the wear criterium has been ap-

plied as the resource function for four typical modes. Method of computer modelling was used for determining the distribution of the generalized resource, reliability indices and the required number of spare parts taking into account the operation conditions.

Автолесовозы работают в сложных дорожных условиях, что приводит к снижению ресурса работы их двигателей по сравнению с двигателями автомобилей общего назначения. Показатели надежности двигателя невозможно получить сбором статистических данных по отказам, так как на практике автолесовозы работают при различных режимах и условиях эксплуатации.

В соответствии с [1] режим работы двигателя по износу делится на четыре типа: I – легкий (равномерное движение автомобиля), II – средний (неравномерное движение автомобиля), III – тяжелый (запуск двигателя), IV – весьма тяжелый (движение автомобиля по запыленным дорогам). Ресурсы деталей на выделенных режимах обозначены как t_I , t_{II} , t_{III} и t_{IV} . По совокупности однотипных деталей, из-за множества факторов, влияющих на износ, ресурсы на типичных режимах – величины случайные $\tilde{t}_j$ ($j=I, \dots, IV$).

Поскольку при эксплуатации типичные режимы сочетаются, то обобщенный ресурс (ОР) детали двигателя (наработка в тысячах километров пробега) – это функция четырех случайных аргументов [1, 3]:

$$t_0 = 1 / (\gamma_I / t_I + \gamma_{II} / t_{II} + \gamma_{III} / t_{III} + \gamma_{IV} / t_{IV}), \quad (1)$$

где $\gamma_I, \dots, \gamma_{IV}$ – относительное время работы двигателя на типичных режимах,

$$\text{причем } \sum_{j=1}^4 \gamma_j = 1, \quad \gamma_j \geq 0.$$

Величины $\gamma_I, \dots, \gamma_{IV}$ в (1) количественно характеризуют условия эксплуатации и вносят различие в интенсивность износа. Допускаем, что в (1) ресурсы на каждом j -м режиме подчинены логнормальному распределению с плотностью вероятности

$$p(t_j) = (\sqrt{2\pi}t_0b_0)^{-1} \exp\left[-(\ln t_j - a_j)^2 / (2b_j^2)\right]. \quad (2)$$

Параметры a_j и b_j определяем по формулам

$$\begin{aligned} a_j &= \ln \bar{t}_j - (1/2) \ln(s_j^2 + \bar{t}_j^2), \\ b_j &= \sqrt{\ln(s_j^2 + \bar{t}_j^2) - 2 \ln \bar{t}_j}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\bar{t}_j$, s_j – математическое ожидание (МО) и стандартное отклонение (СО) ресурса на каждом j -м типичном режиме ($j = I, \dots, IV$).

При этих допущениях ставится задача: найти статистическое распределение $\tilde{t}_0$ по условию (1). Так как этот случай не имеет аналитического решения, то применяли статистическое моделирование [2], реализация которого возможна на ПЭВМ.

Описание алгоритма. Вычислительная программа составлена на языке Турбо-Бейсик. Последовательность случайных чисел (СЧ) $\{r_i\}_n$, равномерно распределенных от 0 до 1, генерировали с помощью оператора $RND(x)$. Затем попарно вычисляли последовательность нормированных нормальных СЧ:

$$\begin{aligned} z_i &= (-2 \ln r_i)^{1/2} \cos(2\pi r_{i+1}); \\ z_{i+1} &= (-2 \ln r_i)^{1/2} \sin(2\pi r_{i+1}), \end{aligned} \quad i = 1, 3, 5 \dots \quad (4)$$

где n – объем смоделированной выборки.

С учетом (3) и (4) моделирующая формула возможных значений ресурсов на каждом j -м типичном режиме принимает вид

$$\{t_i^{(j)}\}_n = \exp[a_j + \{z_i\}_n b_j]. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (1), получаем общий вид моделирующей формулы возможных значений ОР:

$$\{t_{oi}\}_n = 1 / (\gamma_I / \{t_{ii}\}_n + \gamma_{II} / \{t_{iii}\}_n + \gamma_{III} / \{t_{iiii}\}_n + \gamma_{IV} / \{t_{iVi}\}_n). \quad (6)$$

Проведем реализацию алгоритма для поршня двигателя ЯМЗ-238 автолесовоза МАЗ-5434 в составе с прицепом-ропуском ГKB-9362 для условий эксплуатации Боровского и Каджеромского леспромхозов АО «Комилеспром».

Исходные данные для Боровского ЛПХ: $\gamma_I = 0,51$; $\gamma_{II} = 0,37$; $\gamma_{III} = 0,02$; $\gamma_{IV} = 0,10$; для Каджеромского ЛПХ: $\gamma_I = 0,46$; $\gamma_{II} = 0,39$; $\gamma_{III} = 0,03$; $\gamma_{IV} = 0,12$. Ресурсы поршня на типичных режимах вычисляем по формуле

$$t_j = m_j / k_j,$$

где m_j – допустимый износ (принимается по [4]);

k_j – линейная интенсивность изнашивания (принимается по [2]).

Поскольку значения k_j имеют разброс, то по правилу 3σ находили МО и СО ресурсов на типичных режимах в тысячах километров пробега. В результате получено: $\bar{t}_I = 240$, $s_I = 19,2$; $\bar{t}_{II} = 120$, $s_{II} = 9,6$; $\bar{t}_{III} = 80$, $s_{III} = 6,4$; $\bar{t}_{IV} = 60$, $s_{IV} = 4,8$.

По (3) вычисляем параметры логнормального распределения: $a_I = 5,447$, $b_I = 0,0799$; $a_{II} = 4,784$, $b_{II} = 0,0798$; $a_{III} = 4,379$, $b_{III} = 0,0798$; $a_{IV} = 4,091$, $b_{IV} = 0,0798$.

После этого по выражению (5) смоделированы две случайные последовательности $\{t_{oi}\}_n$ объемом $n = 3000$ значений каждая для условий Боровского и Каджеромского ЛПХ. Их проверяли на согласие по следующим теоретическим распределениям: β -, χ^2 -, Эрланга, показательному, Фишера, γ -, логнормальному, нормальному, Стюдента, треугольному, равномерному на интервале, Вейбулла. В обоих вариантах наибольшая вероятность согласия P получена для логнормального распределения $\tilde{t}_0$ по (1), она выше допускаемой 0,05.

Приводим численные значения параметров, полученных в результате моделирования (Боровской ЛПХ): $\chi_1^2 = 11,5$ при числе степеней свободы

t_0	$p(t_0)$	$F(t_0)$	$R(t_0)$	$h(t_0)$
Боровской леспромхоз				
112,9	0,0011	0,0032	0,9968	0,0001
118,6	0,0045	0,0177	0,9823	0,0005
124,3	0,0129	0,0657	0,9344	0,0014
130,0	0,0249	0,1734	0,8266	0,0029
135,7	0,0343	0,3456	0,6544	0,0049
141,4	0,0354	0,5493	0,4507	0,0070
147,1	0,0282	0,7337	0,2663	0,0091
152,9	0,0179	0,8657	0,1343	0,0110
158,6	0,0093	0,9417	0,0583	0,0127
164,3	0,0040	0,9782	0,0219	0,0141
170,0	0,0015	0,9928	0,0072	0,0153
175,7	0,0005	0,9979	0,0021	0,0163
Каджеромский леспромхоз				
107,0	0,0013	0,0036	0,9964	0,0002
109,9	0,0029	0,0094	0,9906	0,0003
115,6	0,0101	0,0437	0,9563	0,0012
121,3	0,0227	0,1358	0,8642	0,0027
127,0	0,0347	0,3023	0,6977	0,0049
132,7	0,0379	0,5154	0,4846	0,0075
138,4	0,0309	0,7161	0,2839	0,0099
144,1	0,0195	0,8604	0,1396	0,0122
149,9	0,0097	0,9422	0,0577	0,0142
155,6	0,0039	0,9796	0,0204	0,0159
161,3	0,0014	0,9938	0,0062	0,0173
167,0	0,0004	0,9984	0,0016	0,0185

$v_1 = 21$, вероятность согласия $P_1 = 0,951961$; выборочное среднее ОР $\bar{t}_{01} = 140,5$ тыс. км, выборочное СО $s_{01} = 11,1$ тыс. км; $a_{01} = 4,942$, $b_{01} = 0,0791$; Каджеромский ЛПХ: $\chi_2^2 = 13,7$, $v_2 = 20$, $P_2 = 0,843434$; $t_{02} = 132,7$ тыс. км, $s_{02} = 10,5$ тыс. км; $a_{02} = 4,885$, $b_{02} = 0,0791$.

По этим данным спрогнозированы следующие показатели надежности: функция распределения ОР – $F(t_0)$, вероятность безотказной работы – $R(t_0)$ и интенсивность отказов – $h(t_0)$ в интервале наработки (0, t_0 , тыс. км) по формулам

$$F(t_0) = \Phi[(\ln t_0 - a_0) / b_0] \quad (7)$$

$$R(t_0) = 1 - \Phi[(\ln t_0 - a_0) / b_0] \quad (8)$$

$$h(t_0) = \varphi[(\ln t_0 - a_0) / b_0] / t_0 b_0 R(t_0), \quad (9)$$

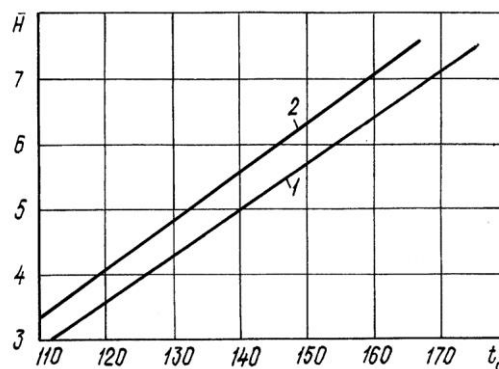
где $\Phi[y] = (\sqrt{2\pi})^{-1} \int_{-\infty}^y \exp(-\tau^2/2) d\tau$ – интеграл вероятностей (вычисленный по специальной подпрограмме);
 y – его аргумент;
 ϕ – плотность нормированного нормального распределения.

Значения функций (2), (7) – (9) приведены в таблице, где t_0 – наработка, тыс. км пробега. Используя известную асимптотическую зависимость теории восстановления, можно спрогнозировать МО числа замен поршней в интервале наработки $(0, t_0)$:

$$\bar{H} = t_0 / \bar{t}_0 + (1/2)(s_0^2 / \bar{t}_0^2 - 1). \quad (10)$$

Формула (10) справедлива для простого процесса замены, когда параметры ресурса начального и замененного поршня одинаковы. График изменения $\bar{H}$ от t_0 по (10) показан на рисунке (1 – для Боровского, 2 – для Каджеромского ЛПХ).

Аналогично моделируем показатели надежности и для остальных деталей двигателя, подверженных износу. Методику использовали для разработки дифференцированных по условиям эксплуатации норм расхода запасных частей для двигателей автолесовозов АО «Комилеспром».



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Егоров В.И. Прогнозирование надежности и долговечности лесозаготовительного оборудования. - М.: Лесн. пром-сть, 1976. - 112 с. [2]. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. - М.: Наука, 1982. - 296 с. [3]. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. - М.: Высш. шк., 1991. - 319 с. [4]. Херсонский С.Г., Майборода В.В. Ремонт автомобилей-лесовозов МАЗ-509 и КрАЗ-255Л. - М.: Лесн. пром-сть, 1975. - 260 с.

Поступила 19 июня 1995 г.

УДК 629.114.4.001.2

С.И. МОРОЗОВ

Архангельский государственный технический университет



Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет около 140 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.

СОУДАРЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

С помощью формул классической теории удара при соударении плоских свободных тел рассмотрена методика определения импульсов ударных сил, скоростей центров масс автомобилей после удара и их угловых скоростей на примере соударения двух автомобилей.

With the help of the classic theory formulas on stroke at collision of flat free bodies the technique has been viewed on defining impulses of impact forces, as well as speeds of mass centers of motors after stroke and their angular speeds based on the collision of two automobiles.

При изучении курса безопасности движения для инженеров-механиков в специальной литературе [2, 3] рассматривают задачу о столкновении автомобилей. Ее решают с помощью элементарной теории соударения, в которой каждое тело принимают за материальную точку. Расчетное уравнение, выражающее закон сохранения количества движения, имеет вид

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1' + m_2 \vec{u}_2',$$

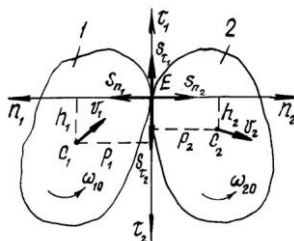
где m_1, m_2 — массы автомобилей;

v_1, v_2 — скорости центров масс до удара;

u_1', u_2' — то же после удара.

Использование элементарной теории в задаче о столкновении автомобилей не позволяет, как отмечено в работе [3], получить результаты,

Рис. 1. Расчетная схема



совпадающие с экспериментальными данными. Это объясняется двумя причинами: неопределенностью значения коэффициента восстановления и несовершенством математической модели удара.

На основе методики, изложенной в работе [1], нами разработана полная теория соударения плоских тел [4]. Уточнение модели удара имеет важное практическое значение. Рассмотрим полную теорию в настоящей статье.

Расчетная схема для общего случая соударения двух плоских свободных тел 1 и 2 приведена на рис. 1. Движение тел рассматриваем в системе координат τ и n , которые изображены для каждого тела в отдельности. Оси n_1 и n_2 лежат на линии удара, оси τ_1 и τ_2 перпендикулярны к ней и образуют с осями n_1 и n_2 правосторонние системы координат.

Импульсы ударных сил S_τ и S_n лежат на осях τ и n и направлены в положительную сторону этих осей.

Расчетные зависимости имеют следующий вид.

Для импульсов ударных сил:

поверхности тел шероховатые, в точке удара имеется проскальзывание тел:

$$S_\tau = S_n f; \quad (1)$$

$$S_n = - \frac{(1 + \varepsilon) A_1}{G + Hf}; \quad (2)$$

поверхности тел шероховатые, в точке удара проскальзывания тел нет

$$S_\tau = \frac{(1 + \varepsilon) H A_1 - G A_2}{B}; \quad (3)$$

$$S_n = \frac{H A_2 - (1 + \varepsilon) G_1 A_1}{B}. \quad (4)$$

Для кинематических величин

$$\bar{u}_1 \bar{n}_1 = \bar{v}_1 \bar{n}_1 + S_n / m_1; \quad \bar{u}_2 \bar{n}_2 = \bar{v}_2 \bar{n}_2 + S_n / m_2;$$

$$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1 = \bar{v}_1 \bar{\tau}_1 + S_\tau / m_1; \quad \bar{u}_2 \bar{\tau}_2 = \bar{v}_2 \bar{\tau}_2 + S_\tau / m_2;$$

$$\omega_1 = \omega_{10} + (S_\tau p_1 + S_n h_1) / I_1;$$

$$\omega_2 = \omega_{20} + (S_\tau p_2 + S_n h_2) / I_2.$$

Здесь G, G_1, H, B – инерциальные коэффициенты:

$$G = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + h_1^2 / I_1 + h_2^2 / I_2;$$

$$G_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + p_1^2 / I_1 + p_2^2 / I_2;$$

$$H = p_1 h_1 / I_1 + p_2 h_2 / I_2;$$

$$B = G G_1 - H^2;$$

A_1, A_2 – скоростные коэффициенты:

$$A_1 = \bar{v}_1 \bar{n}_1 + \bar{v}_2 \bar{n}_2 + h_1 \omega_{10} + h_2 \omega_{20};$$

$$A_2 = \bar{v}_1 \bar{\tau}_1 + \bar{v}_2 \bar{\tau}_2 + p_1 \omega_{10} + p_2 \omega_{20};$$

m_1, m_2 – массы соударяющихся тел;

I_1, I_2 – моменты инерции тел относительно осей, проходящих через их центры масс;

ω_{10}, ω_{20} – угловые скорости вращения тел до удара вокруг осей, проходящих через центры их масс;

ω_1, ω_2 – то же после удара;

$\bar{v}_1 \bar{n}_1, \bar{v}_2 \bar{n}_2, \bar{v}_1 \bar{\tau}_1, \bar{v}_2 \bar{\tau}_2$ – проекции скоростей центров масс до удара на оси n и τ ;

$\bar{u}_1 \bar{n}_1, \bar{u}_2 \bar{n}_2, \bar{u}_1 \bar{\tau}_1, \bar{u}_2 \bar{\tau}_2$ – то же после удара;

$\bar{n}_1, \bar{\tau}_1$ – орты осей координат;

ε – коэффициент восстановления начального состояния тел после удара, $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

С помощью приведенных зависимостей можно решить практически любую задачу на соударение двух плоских свободных тел, в том числе автомобилей.

Рассмотрим пример соударения автомобилей для схемы, приведен-

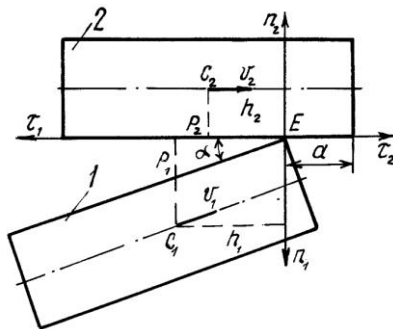


Рис. 2. Схема соударения автомобилей

ной на рис. 2.

Здесь α – угол соударения (встречи) автомобилей;

a – расстояние, определяющее положение точки встречи;

h_1, h_2, p_1, p_2 – плечи импульсов ударных сил:

$$h_1 = -x_{C_1} \cos \alpha + b_1 \sin \alpha;$$

$$h_2 = x_{C_2} - a;$$

$$p_1 = x_{C_1} \sin \alpha + b_1 \cos \alpha;$$

$$p_2 = b_1;$$

x_{C_1}, x_{C_2} – координаты точек C_1 и C_2 , расположенных на продольных осях симметрии автомобилей;

b_1 – половина ширины автомобилей.

Расчет выполнен для исходных данных, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

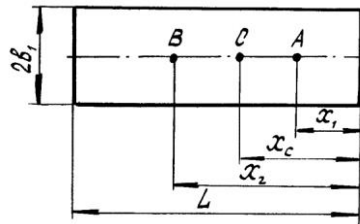
№ автомобиля	Масса, кг			Координаты x_C , м	I_i , кг· м ²	v , м/с	ω_0 , с ⁻¹
	мостов		автомобиля				
	m_A	m_B					
1	560	485	1045	1,71	1500	10	0
2	485	315	800	1,60	1200	5	0

В таблице обозначено:

m_A, m_B – массы автомобилей, приходящиеся на передний и задний мосты;

x_C – координаты, определяющие положение центров масс (точек C_i). Их находим по формулам (рис. 3)

Рис. 3. Основные габаритные размеры автомобиля: A – поперечный мост; B – задний мост; C – центр масс



$$x_{C_1} = \frac{m_A x_1 + m_B x_2}{m_A + m_B}; \quad x_{C_2} = \frac{m'_A x_1 + m'_B x_2}{m'_A + m'_B};$$

I_i – моменты инерции тел (автомобилей) относительно осей, проходящих через их центры масс,

$$I_1 = m_A d_A^2 + m_B d_B^2; \quad I_2 = m'_A d_A^2 + m'_B d_B^2,$$

Результаты расчета по формулам (3) и (4) при отсутствии проскальзывания и неупругом ударе ($\epsilon = 0$) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Угол встречи, град	S_t	S_n	f_n	$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_2 \bar{n}_2$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\bar{u}_2 \bar{\tau}_2$	ω_1	ω_2
	Н·с			м/с				с ⁻¹	
15	1823	1411,5	1,29	1,091	1,7638	-7,9145	7,2788	0,1463	-0,5402
30	1634	2299	0,71	-2,8	2,87375	-7,0963	7,0425	0,2737	0,0329
60	361	3512	0,10	-5,3052	4,39	-4,6545	5,4512	1,0883	1,5097
75	-491	3724	0,13	-6,0924	4,655	-0,7286	4,3862	2,6175	2,1975

Они позволяют проследить зависимость основных расчетных величин от угла соударения α . Отметим ниже три закономерности.

1. По мере увеличения α импульс S_τ уменьшается, а импульс S_n увеличивается. Это означает, что при малых значениях угла α существует высокая вероятность удара с проскальзыванием, при больших α такая вероятность существенно меньше.

Отношение S_τ / S_n назовем предельным коэффициентом трения скольжения и обозначим f_n . Значения его также приведены в табл. 2, зависимость $f_n(\alpha)$ показана на рис. 4.

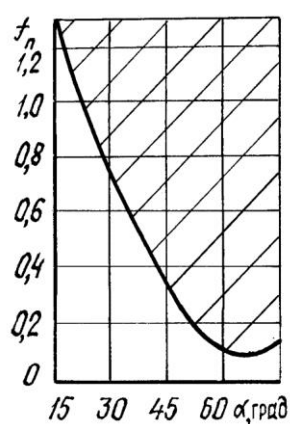


Рис. 4. График зависимости $f_n(\alpha)$

Если фактический коэффициент трения f меньше предельного f_n , то удар автомобилей происходит с проскальзыванием в точке удара, если $f \geq f_n$ – без проскальзывания. На рис. 4 зона удара без проскальзывания выделена штрихами. В незаштрихованной зоне значения S_τ и S_n находят по формулам (1) и (2). Для ряда значений f и α они приведены в табл. 3.

Таблица 3

α , град	$f = 0$		$f = 0,5$		$f = 1$		$f = 1,29$	
	S_n	S_τ	S_n	S_τ	S_n	S_τ	S_n	S_τ
15	666	0	833	417	1114	1114	1386	1790
30	1528	0	1998	999	2883	2883	3886	5018
60	3435	0	3838	1919	4348	4348	4712	6085
75	3732	0	3722	1861	3713	3713	3708	4783

Здесь имеет место следующая закономерность: с увеличением коэффициента трения импульсы ударных сил возрастают. Наименьшее значение они имеют при соударении гладких тел (при $f = 0$), наибольшее – при ударе без проскальзывания (при $f = f_n$).

2. Для первого и второго тела нормальные составляющие скорости центров масс после удара $\bar{u}_1 \bar{n}_1$ и $\bar{u}_2 \bar{n}_2$ по мере увеличения угла α возрастают, а касательные составляющие $\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$ и $\bar{u}_2 \bar{\tau}_2$ уменьшаются. Эта закономерность

изменения скоростей аналогична закономерности изменения импульсов S_n и S_τ . Знак плюс для скоростей показывает, что они направлены в сторону координатных осей, знак минус – обратно.

В отдельных случаях при возрастании угла α эта закономерность может изменяться. Например, для $\alpha = 15^\circ$ имеем $\bar{u}_1 \bar{n}_1 = 1,091$ м/с, а при $\alpha = 30^\circ$ $\bar{u}_1 \bar{n}_1 = -2,8$ м/с. В первом случае происходит отскок тела 1 от тела 2, во втором – их совместное движение, что необходимо учесть при решении задачи о движении автомобилей после удара.

3. Оба автомобиля после удара придут во вращательное движение. Значения угловых скоростей возрастают пропорционально увеличению угла α . Так как в большинстве случаев $\omega_1 > 0$ и $\omega_2 > 0$, то оба автомобиля после удара станут вращаться против часовой стрелки (кроме случая $\omega_2 < 0$ при $\alpha = 15^\circ$).

Для определения движения автомобилей после удара можно использовать дифференциальное уравнение плоскопараллельного движения тела в осях τ_1 и n_1 для первого, τ_2 и n_2 для второго тела. Начало этих двух систем координат примем в точке соударения E . В качестве силовых величин, действующих на автомобили при их движении после удара, примем силы и моменты сил трения, пропорциональные нормальным давлениям от колес автомобиля на поверхность дороги.

Поскольку эта задача выходит за границы акта удара, то ее надо рассмотреть отдельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бутенин Н.В., Меркин Д.Р., Лунц Я.Л. Курс теоретической механики. Т. 2. - М.: Наука, 1985. - 492 с. [2]. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. - Л.: Лениздат, 1984. - 304 с. [3]. Илларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: Учеб. для вузов. - М.: Транспорт, 1989. - 255 с. [4]. Морозов С.И. Удар двух тел: Методич. указания по решению задач. - Архангельск: РИО АГТУ, 1996. - 56 с.

Поступила 8 мая 1997 г.

УДК 621.43.001.57

П.М. МАЗУРКИН

Марийский государственный технический университет



Мазуркин Петр Матвеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, и. о. заведующего кафедрой природообустройства Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки и техники Республики Марий Эл, академик РАЕН, член Международной ассоциации «Эвристика», эксперт СНГ по машиностроению. Имеет более 500 печатных работ в области функционально-конструктивного блочно-модульного синтеза манипуляторных машин, аванпроектирования и моделирования систем машин и биотехнических систем.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ

Приведены регрессионные модели скоростных, наружных и других характеристик двигателя бензинотворной пилы, основанные на биотехническом законе.

Regression models based on a biotechnical law are given for speed, load and other performances of a motorsaw engine.

При проектировании лесных машин и оборудования применяют несколько методологических подходов для определения параметров процесса функционирования отдельных узлов и деталей. Во-первых, это использование методов определения и прогнозирования динамических нагрузок, необходимых при расчетах на прочность и долговечность [1]; во-вторых – методов расчета энергосиловых показателей, характеризующих интенсивность взаимодействия инструментов, рабочих органов и машин с объектом труда. Очевидно, что в обоих случаях необходимо учитывать динамику изменения различных характеристик двигателей, в частности внутреннего сгорания (ДВС).

Потребность в простых математических моделях для определения скоростных, нагрузочных и иных характеристик возникает также при обосновании технологических процессов, в которых применяют то или иное устройство. Модели характеристик ДВС прежде всего необходимы при обосновании режимов механической обработки лесной почвы, деревьев, древесины и древесных материалов. Эти режимы реализуются с помощью технологического оборудования (стационарное, полустационарное или автономное) типа ДВС – режущий орган.

Для деревообрабатывающих лесных машин [5] известны следующие методологические подходы:

а) моделирование физико-механических свойств древесины растущих деревьев и их учет в энергосиловых расчетах, например при спиливании цепными пилами [4];

б) аналитическое и экспериментальное изучение процесса резания для обоснования параметров реальных видов инструментов и режимов резания в различных условиях [3];

в) аналитическое и экспериментальное изучение множества вариантов конструкций механизмов резания [2];

г) решение обратных задач: в соответствии с математическими моделями [4, с. 88 – 97] определение допустимой мощности привода по условиям работоспособности механизмов резания и их деталей.

В последнем случае необходимо знать не только номинальную мощность ДВС, но и ее изменения в зависимости от частоты вращения коленчатого вала.

В качестве примера найдем характеристики ДВС бензиномоторной пилы типа МП-5 «Урал» [7] и дизеля Д-442-22 Алтайского моторного завода.

Скоростная характеристика ДВС бензопилы включает в себя несколько зависимостей. При изменении частоты вращения (n) от 4,55 до 6,55 тыс. об/мин в работе [7, с. 83] приведены следующие математические модели регрессии:

мощность двигателя N_e , л.с.

$$N_e = 0,010729 n^{6,41800} \exp(-0,67947 n^{1,13601}); \quad (1)$$

удельный расход топлива g_e , г/(л.с. · ч)

$$g_e = 673,00 - 0,0029006 n^{28,0405} \exp(-9,84032 n^{0,76660}). \quad (2)$$

Экспериментальные и расчетные значения N_e и g_e (при сохранении размерности показателей, использованной в первоисточнике [7]), приведены в табл. 1 и 2.

Остаток ε (абсолютную погрешность) вычисляют по формуле $\varepsilon = N_e^{\Phi} - N_e$ для мощности двигателя (аналогично и по g_e). Относительную погрешность Δ определяют по формуле $\Delta = 100\varepsilon / N_e^{\Phi}$ для мощности двигателя и аналогично для g_e .

Разность $100 - \Delta$ описывает доверительную вероятность применения той или иной регрессионной модели.

Из данных табл. 1 и 2 видно, что относительная максимальная погрешность $\Delta_{\max}$ не превышает 2,5 % величин N_e и g_e . Таким образом, уравнения (1) и (2) можно использовать в различных расчетных методиках с доверительной вероятностью более 97,5 %.

Для расчета крутящего момента $M_k = 9550 N_e / n$ и часового расхода топлива $G_T = 10^{-3} N_e g_e$ применяют регрессионные модели (1) и (2).

Таблица 1

n, тыс. об/мин	N_e^Φ	N_e	ε	Δ , %
	л.с.			
4,60	4,10	4,11	-0,01	-0,19
5,00	4,80	4,79	0,01	0,28
5,40	5,33	5,33	-0,00	-0,01
5,60	-	-	-	-
5,80	5,70	5,71	-0,01	-0,13
6,20	5,90	5,91	-0,01	-0,09
6,40	5,95	5,94	0,01	0,21
6,55	5,93	5,93	-0,00	-0,07

Примечание. Значения N_e получены по графикам из книги [7, с. 83].

Таблица 2

n, тыс. об/мин	g_e^Φ	g_e	ε	Δ , %
	г/(л.с.·ч)			
4,55	500	491	9,18	1,84
4,80	450	454	-4,02	-0,89
5,00	420	430	-10,15	-2,38
5,40	405	403	1,53	0,38
5,80	415	407	7,57	1,82
6,20	437	437	0,42	0,10
6,55	470	474	-4,27	-0,91

По экспериментальным данным Алтайского моторного завода, скоростная характеристика дизеля Д-442-22 при начальном удельном расходе топлива $g_{e0} = 163,7$ г/(л.с.·ч) и $n = 1,2 \dots 1,8$ тыс. об/мин имеет вид

$$N_e = 241,475 n^{18,66976} \exp(-4,42569 n^{2,29411}) + 88,4496 n^{1,5256} \times \exp(-0,082131 n^{3,40528}). \quad (3)$$

Фактические и расчетные значения N_e в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя Д-442-22 приведены в табл. 3.

Эти данные показывают, что уравнение (3) достаточно хорошо определяет зависимость $N_e(n)$.

Формула (3) содержит две одинаковые по структуре составляющие. Вторая из них характеризует приспособляемость двигателя к внешним нагрузкам. Коэффициент приспособляемости находят как отношение N_e ко второй части формулы (3).

Формулы (1) и (3) просты в сравнении с общеизвестной формулой Лейдермана

$$N_e = N_{en} (A\bar{n} + B\bar{n}^2 - C\bar{n}^3), \quad \bar{n} = n/n_e, \quad (4)$$

которая включает ряд дополнительных факторов: N_{en} – номинальную мощность; n_{en} – номинальные обороты ДВС; A, B, C – эмпирические коэффициенты для данного типа двигателя.

Таблица 3

n, тыс. об/мин	N_e^Φ	N_e	ε	Δ ,
	л.с.			%
1,200	109,0	109,0	0,01	0,01
1,300	118,0	118,0	-0,01	-0,01
1,400	123,0	123,1	-0,09	-0,08
1,500	125,0	124,7	0,29	0,23
1,600	124,0	124,1	-0,10	-0,08
1,700	121,0	122,1	-1,06	-0,88
1,725	121,0	121,3	-0,34	-0,28
1,751	121,0	120,5	0,50	0,41
1,763	121,0	120,1	0,90	0,75
1,777	121,0	119,6	1,44	1,19
1,800	117,0	118,6	-1,63	-1,40

При расчетах по формуле (1) необходимо определить только эмпирические коэффициенты, не нужно находить значения номинальной частоты и мощности.

Нагрузочной характеристикой называют зависимость расхода топлива (и других показателей) от мощности ДВС при заданной частоте вращения коленчатого вала. По данным работы [7, с. 84] при $n = 5800$ об/мин в табл. 3 приведены значения удельного и часового расхода топлива при изменении N_e от 0,75 до 5,75 л. с.

По этим данным получены уравнения для определения удельного (g_e , г/(л. с. · ч)) и часового (G_T , кг/ч) расхода топлива:

$$g_e = 737,907 - 171,102 N_e^{2,01399} \exp(-0,36716 N_e^{1,21781}); \quad (5)$$

$$G_T = 0,6814 + 0,34592 N_e^{4,8202} \exp(-2,68172 N_e^{0,53812}). \quad (6)$$

Из данных табл. 4 видно, что модель (5) адекватна экспериментальным данным с доверительной вероятностью около 90 %, а модель (6) – более 95 %.

Регрессионные модели характеристик ДВС без учета коэффициента их приспособляемости примерно одинаковы по конструкции и имеют вид

$$y = a_1 \pm a_2 x^{a_3} \exp(-a_4 x^{a_5}), \quad (7)$$

Таблица 4

N_e , л.с.	Удельный расход				Часовой расход			
	g_e^Φ	g_e	ε	Δ , %	G_Γ^Φ	G_Γ	ε	Δ , %
	г/ (л.с.·ч)				кг/ч			
0,75	720	664	56,1	7,8	0,71	0,69	0,020	2,8
1,50	500	526	-25,8	-5,2	0,75	0,77	-0,018	-2,4
2,00	400	444	-43,7	-10,9	0,87	0,88	-0,010	-1,2
3,00	370	352	18,0	4,9	1,25	1,23	0,025	2,0
4,00	380	355	25,0	6,6	1,64	1,65	-0,008	-0,5
5,00	420	415	4,9	1,2	2,05	2,06	-0,009	-0,42
5,75	450	474	-24,8	-5,4	2,33	2,32	0,006	0,3

где y – показатель характеристики двигателя;
 x – его переменный параметр;
 $a_1, \dots, a_5$ – регрессионные коэффициенты.

Если $y = N_e \vee M_k$, то $a_1 = 0$. В общей модели (7) вторая составляющая соответствует биотехническому закону [6], в соответствии с которым применительно к ДВС описывают процесс горения топлива в виде двух противодействующих явлений (табл. 5). В совокупности выражение $a_2 x^{a_3} \exp(-a_4 x^{a_5})$ в общей модели (7) отображает процесс горения топлива от вялого до чрезмерно интенсивного с переходом через оптимальное (для данной конструкции ДВС) состояние. Однако для различных показателей это оптимальное горение неодинаковое.

По табл. 1 значение $N_{e\max}$ достигается при $n_N^* = 6,40$ тыс. об/мин. Значение $M_{k\max}$ максимально при $n_M^* = 5,60$ тыс. об/мин. По табл. 2 минимальный удельный расход топлива $g_{\min}$ достигается при $n_g^* = 5,40$ тыс. об/мин, а по табл. 4 при $n = 5800$ об/мин значение $g_{\min}$ соответствует значению $N_{eg}^* = 3,0$ л.с.

При оптимизации прочности технической системы ДВС – режущий орган наиболее важной характеристикой становится крутящий момент M_k . Зависимость $M_k = f(n)$ становится основной, а остальные приведенные в табл. 5 модели – вспомогательными. Если известна внешняя нагрузка M_k^H , то методом подбора вычисляют значение n^H . Поэтому предложенные зависимости характеристик двигателей позволяют создавать различные типы имитационных моделей.

Отсюда следует, что разработка комплексов статистических моделей двигателей различных типов, применяемых на лесных машинах и технологическом оборудовании, позволяет в процессе проектирования оптимизировать не только прочностные расчеты, но и определять рациональные режимы эксплуатации с учетом показателей надежности. Например, если для ДВС известно общее число допустимых циклов вращения до ремонта, то возможна максимизация времени работы системы ДВС – режущий инструмент за счет адаптации параметров к оптимальному режиму обработки. Если известны удельные затраты, то с учетом параметров n , M_k , g_e , G_T и других возможны оптимизационные расчеты по экономическим критериям.

Таблица 5

Номер модели	Вид модели	Аллометрический рост		Экспоненциальное снижение	
		Активность	Интенсивность	Активность	Интенсивность
1	$N_e = f(n)$	0,010729	6,41800	0,67947	1,13601
2	$g_e = f(n)$	-0,0029006	28,04050	9,84032	0,76660
5	$g_e = f(N_e)$	-171,102	2,01399	0,36716	1,21781
6	$G_T = f(N_e)$	0,34592	4,82020	2,68172	0,53812

Принципиально возможны и другие подходы к проектированию технической системы ДВС – режущий инструмент с учетом возможностей работников, условий эксплуатации и ремонта, требований качества обработки и др. В ближайшей перспективе особый интерес будут представлять также обратные задачи, когда по лесотехническим требованиям и лесоводственно определенным режимам обработки проектируются новые двигатели для перспективных лесных машин и оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин: Учеб. для вузов. - М.: Экология, 1995. - 256 с. [2]. Герман С.А. Обоснование профиля и геометрических параметров универсальных резцов пильных цепей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Химки: ЦНИИМЭ, 1990. - 22 с. [3]. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: Учеб. пособие. - М.: Лесн. пром-сть, 1986. - 296 с. [4]. Люманов Р. Машинная валка леса. - М.: Лесн. пром-сть, 1990. - 280 с. [5]. Мазуркин П.М. Функциональная классификация лесных машин // Лесн. журн. - 1994. - № 1. - С. 47 - 50. - (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Мазуркин П.М. Биотехническое проектирование (справочно-методическое пособие). - Йошкар-Ола: МарПИ, 1994. - 348 с. [7]. Моторные инструменты для лесозаготовок (теория, конструкция, эксплуатация)/ А.П. Полищук, Д.К. Шамаков, В.С. Кретов и др. - М.: Лесн. пром-сть, 1970. - 232 с.

Поступила 5 декабря 1995 г.

УДК 625

В.П. СТУКОВ

Архангельский государственный технический университет

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, почетный дорожник РФ. Имеет около 70 печатных трудов в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.



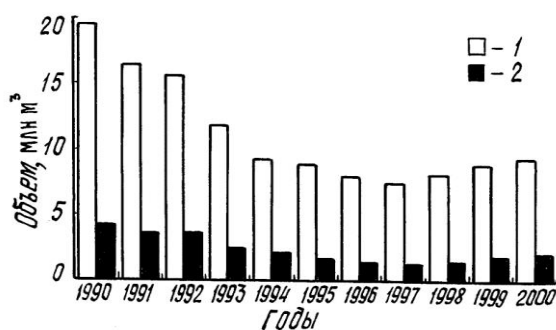
ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

Рассмотрен вариант прокладки магистральных автомобильных дорог с твердым покрытием для круглогодичной вывозки леса как одно из направлений освоения новых лесных массивов Архангельской области. Отмечена целесообразность

применения современных конструкционных материалов – клееной древесины отдельно или в сочетании с железобетоном – в мостах на этих дорогах.

The alternative of tracking the main motor roads with hard pavement for all-year logging is considered as one of the directions of new forestry development of the Arkhangelsk Region. The expediency of application of modern construction materials – glued laminated wood separately and in combination with reinforced concrete – for bridges erected on these roads.

В структуре экономики области лесопромышленный комплекс составляет 40 %. Лесной фонд располагается на площади 25 млн га. Здесь сосредоточено 17,5 % общего запаса хвойных насаждений Европейско-Уральской зоны страны, спелых и перестойных 20 % в объеме 2510,6 млн м³ (в эксплуатационных лесах 1589,8, из них спелых и перестойных 1196,6 млн м³).



Эти данные приведены в среднесрочной Программе развития Архангельской области на 1998 – 2000 гг. Здесь же определена расчетная годовая лесосека 21,0 ... 21,3 млн м³ и ежегодный объем лесозаготовки до 2000 г. На основании этих данных составлена гистограмма объемов лесозаготовки (1) и производства пиломатериалов (2) на период 1990 – 2000 гг., представленная на рисунке.

Направление развития транспортной сети лесовозных дорог связано со стратегией освоения лесных массивов области.

По данным Департамента лесопромышленного комплекса области, запрещение молевого сплава привело к резкому снижению объемов заготовки древесины на предприятиях, расположенных в верховьях рек Пинеги, Ваги, Онеги, Мезени, Вычегды. По этой причине область недополучает ежегодно 2,5 ... 3,0 млн м³ леса.

Рубки главного пользования, проводившиеся в прошлые годы практически без лесовосстановления, стали причиной смены хвойных лесов на малоценные лиственные, изменения гидрологического режима рек, климата и представлять опасность для экологии региона.

В настоящее время стратегия лесозаготовки определена по трем направлениям:

1) восстановление сплава леса по малым и средним рекам сплоточными единицами большого объема и малой осадки с рубкой леса на площадях в бассейне рек;

2) лесовосстановительные рубки в лесах I группы, входящих в природоохранный комплекс;

3) промежуточные рубки в лесах III группы (эксплуатационные леса) при освоении новых лесных массивов (площадей).

Лесозаготовка по первому направлению связана с развитием сети сезонных дорог. При этом капиталовложения значительно меньше, чем для двух других направлений, но объем лесозаготовки ограничен и непродолжителен по времени. Использование этого направления для области чревато невосполнимыми последствиями, связанными с дальнейшим нарушением экологического равновесия, обмелением рек, изменением климата и т. д.

Согласно второму направлению существующие автомобильные дороги, включая лесовозные, следует улучшить до уровня автомобильных с твердым покрытием круглогодичного пользования. Отлаженная транспортная сеть, при условии лесовосстановления, будет способствовать долгосрочным стабильным поставкам древесины потребителю. Поскольку проработка этого направления относится, в первую очередь, к Плесецкому, Каргопольскому и другим районам, то одновременно будет решена проблема туризма, что связано с освоением Кенозерского национального парка, созданием туристического центра в районе космодрома Плесецк, использованием для этих целей оз. Лача и т. п.

Третье (основное) направление связано с наибольшими капиталовложениями в развитие транспортной сети. Необходимо осваивать новые лесные массивы в Лешуконском, Мезенском, Ленском и других районах области. Работы заключаются в прокладке магистральных автомобильных дорог с твердым покрытием. При правильном лесопользовании лесозаготовка по этому направлению должна быть основной для периода после 2000 г.

Развитие лесозаготовки по второму и третьему направлениям требует строительства большого числа мостов на прокладываемых автодорогах. Если учесть, что мостостроительная отрасль области даже с показателями наиболее успешного 1994 г.* не справится и с половиной планируемых до 2000 г. работ, то мосты на дорогах лесопромышленного комплекса следует строить с максимальным привлечением современных конструктивных материалов, изготавливаемых в пределах области, например клееной древесины. Практика зарубежного мостостроения имеет длительный (20 ... 30 лет) опыт эксплуатации пролетных строений мостов из клееной древесины, в том числе балок из клееной древесины и железобетона.

Рассматриваемая проблема вполне разрешима вместе с созданием новых специализированных мостостроительных организаций и налаживанием современного производства клееных конструкций.

* Программа развития дорожного хозяйства Архангельской области до 2000 года (без Ненецкого автономного округа) // Ведомости Архангельского областного собрания депутатов. – Архангельск, 1995. - № 1. - 57 с.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674:631.571

В.Е. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, С.М. КРУЖКОВ

С.-Петербургская лесотехническая академия



Воскресенский Владимир Евгеньевич родился в 1938 г., окончил в 1960 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории механизмов, деталей машин и подъемно-транспортных устройств С.-Петербургской лесотехнической академии, академик МАНЕБ. Имеет около 120 печатных работ в области исследования и разработки новых технологий и нестандартного оборудования в фанерной и деревообрабатывающей промышленности.



Кругков Сергей Михайлович родился в 1972 г., окончил в 1995 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, аспирант кафедры станков и инструментов СПбЛТА.

УДЕЛЬНАЯ СИЛА РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЛУБА И БЕРЕСТЫ В ОТХОДАХ ОКОРКИ ФАНЕРНОГО СЫРЬЯ

Построена мультипликативная математическая модель, характеризующая экспоненциальную зависимость удельной силы резания луба и бересты от подачи на резец при различных передних углах ножа; приведены степенные коэффициенты уравнения для всех условий резания луба и бересты.

Multiplicative mathematical model has been constructed for determining exponential dependence of the specific cutting force of bast and birch bark on in-blade feed at different front angles of a knife. Power coefficients of the equation are given for all bast and bark cutting conditions.

Цель данной работы – построить мультипликативную математическую модель для определения удельной силы резания при фрезеровании луба и бересты.

Показатель удельной силы резания необходим для определения силы резания при отделении луба от бересты фрезерованием [3], энергозатрат при фрезеровании луба [4], оптимизации параметров и режимов работы установки для отделения луба от бересты [7].

Удельная сила резания луба и бересты определена нами на маятниковом копре [5] с пересчетом по формулам

$$F_{уд}^л = |9,81 K^л|; \quad (1)$$

$$F_{уд}^б = |9,81 K^б|,$$

где $K^л, K^б$ – удельная работа резания соответственно луба и бересты, кгм/см^3 .

Удельная работа резания K – это работа, затраченная на образование 1 см^3 стружки [5]:

$$K = \frac{A_{рез}}{Q_{стр}}, \quad (2)$$

где $A_{рез}$ – работа, затраченная на резание, $\text{кг} \cdot \text{м}$,

$$A_{рез} = GL (\sin \nu_1 - \sin \nu_2); \quad (3)$$

GL – грузовой момент физического маятника, $\text{кг} \cdot \text{м}$;

ν_1 – угол подъема маятника от горизонтальной плоскости после совершения холостого качания (затраты работы на трение);

ν_2 – угол подъема маятника от горизонтальной плоскости после совершения процесса резания (затраты работы на резание);

$Q_{стр}$ – объем срезанной стружки при разовом качании маятника с резцом, см^3 ,

$$Q_{стр} = U_z b h \cdot 10^{-3}; \quad (4)$$

U_z – подача на резец, мм ;

b – ширина резца, мм ;

h – толщина срезаемого слоя, мм .

В процессе эксперимента изменяли передний угол ножа γ (принят отрицательным) и угол заточки β (табл. 1). Выбор отрицательного переднего угла обусловлен тем, что при положительном γ ножи фрезерующего ротора установки для отделения луба от бересты перерезают бересту, поступающую с кусками коры в рабочий зазор между отделяющими роторами, на узкие полоски шириной, равной шагу между ножами в роторе, что ухудшает сортность получаемой бересты и производимого из нее дегтя [2]. Эксперименты показали, что высокое качество отделения луба от бересты обеспечивается при $\gamma = -25 \dots -35^\circ$. Кроме того, изменяли подачу материала на нож в пределах $U_z = 0,1 \dots 2,0 \text{ мм}$. В качестве постоянных факторов был принят грузо-

вой момент на копре $GL = 0,399$ кг·м при начальном угле подъема маятника $\psi_1 = 42^\circ$ и закрытом резании. Удельную силу резания определяли при резании луба $F_{уд}^л$ и бересты $F_{уд}^б$ поперек и вдоль волокон. Абсолютная влажность бересты $W_a^б = 39\%$, луба $W_a^л = 100\%$.

Каждый опыт повторяли три раза.

Путем регрессионного анализа установлено, что адекватно описывает удельную силу резания $F_{уд}$ луба и бересты мультипликативная (степенная) модель вида $y = ax^b$ (где x – подача материала U_z , мм). При этом в ЭВМ модель преобразуется к следующему виду:

$$\ln y = \ln a + b \ln x,$$

отсюда

$$y = e^{\ln a + b \ln x}. \quad (5)$$

Для снижения трудностей при образовании указанных в табл. 1 углов γ угол заточки β по абсолютной величине был принят равным углу γ (за исключением первого случая).

С помощью ЭВМ получены значения степенных коэффициентов $\ln a$ и b (табл. 2) уравнения (5) и произведена оценка точности модели. В табл. 3 приведены значения удельной силы резания $F_{уд}$ луба и бересты, полученные для рекомендуемых к применению в промышленности передних углов γ

Таблица 1

Угловые параметры (град) ножей, принятые в экспериментах

Передний угол γ	0	- 10	- 15	- 20	- 25	- 30	- 35	- 40
Угол заточки β	10	10	15	20	25	30	35	40
Задний угол α	80	90	90	90	90	90	90	90
Угол резания δ	90	100	105	110	115	120	125	130

Таблица 2

Значения коэффициентов $\ln a$ и b уравнения (5)

Передний угол γ , град	Луб вдоль волокон		Береста вдоль волокон		Береста поперек волокон	
	$\ln a$	b	$\ln a$	b	$\ln a$	b
0	2,580	-0,636	3,836	-0,626	4,321	-0,632
-10	2,660	-0,560	3,850	-0,550	4,080	-0,500
-15	2,350	-0,668	3,900	-0,604	3,270	-0,455
-20	2,340	-0,600	3,660	-0,309	4,346	-0,594
-25	2,309	-0,591	3,719	-0,318	3,685	-0,582
-30	2,565	-0,642	2,740	-0,730	3,770	-0,249
-35	2,640	-0,595	3,960	-0,385	4,210	-0,398
-40	2,776	-0,569	3,490	-0,270	3,737	-0,260

Таблица 3

Экспериментальные $\bar{Y}$ и расчетные $\hat{Y}$ значения силы резания (Н/мм²)
для рекомендуемых передних углов

Передний угол γ , град	Подача на нож U_z , мм	Луб вдоль волокон		Береста вдоль волокон		Береста поперек волокон	
		$\bar{Y}_\parallel$	$\hat{Y}_\parallel$	$\bar{Y}_\parallel^6$	$\hat{Y}_\parallel^6$	$\bar{Y}_\perp^6$	$\hat{Y}_\perp^6$
-25	0,1	42,00	40,57	82,11	87,28	164,22	155,08
	0,5	12,50	15,32	49,27	52,07	53,60	60,19
	1,0	9,04	10,07	44,21	41,68	35,90	40,04
	1,5	8,72	7,88	38,99	36,59	31,41	31,55
	2,0	7,45	6,62	30,4	33,36	30,63	26,64
-30	0,1	55,60	57,01	81,00	83,17	81,00	76,96
	0,5	19,80	20,29	23,50	25,69	48,60	51,55
	1,0	11,73	13,00	13,46	15,49	38,13	43,38
	1,5	9,81	10,02	10,80	11,52	41,45	39,21
	2,0	8,89	8,33	10,79	9,34	38,75	36,50
-35	0,1	54,25	56,12	128,30	124,96	180,50	175,84
	0,5	23,50	21,26	64,50	66,71	82,70	90,17
	1,0	15,00	14,00	49,22	50,91	54,83	67,63
	1,5	11,80	10,96	46,02	43,46	62,04	57,15
	2,0	9,55	9,22	43,05	38,85	59,13	50,72

Таблица 4

Результаты статистической обработки экспериментальных
и модельных кривых силы резания для рекомендуемых передних углов

Передний угол γ , град	Луб вдоль волокон			Береста вдоль волокон			Береста поперек волокон		
	K_{xy}	R^2 , %	Π , %	K_{xy}	R^2 , %	Π , %	K_{xy}	R^2 , %	Π , %
-25	-0,980	96,29	7,0	-0,981	96,41	2,0	-0,987	97,59	4,1
-30	-0,997	99,42	1,3	-0,990	98,47	4,4	-0,960	93,00	2,9
-35	-0,990	99,66	0,6	-0,990	98,49	1,2	-0,950	92,00	6,7

Примечание. Π – процент отклонения суммы квадратов модельной кривой от экспериментальной.

(– 25°, – 30°, – 35°), обеспечивающих отсутствие перерезания бересты в процессе отделения луба [1]. Как видно из табл. 3, расчетные (по уравнению (5)) данные хорошо согласуются с экспериментальными.

Так, процент остаточных сумм квадратов R^2 (табл. 4), показывающих степень согласования экспериментальных и модельных кривых, находится в пределах 92 ... 99 %. При этом ошибка, показывающая отклонение R^2 модельных кривых от экспериментальных, не превышает 7 %, составляя в большинстве случаев 1 ... 3 %. Коэффициент корреляции K_{xy} находится в пределах 0,95...0,99, что также свидетельствует о стабильности вероятностной связи между варьируемыми переменными.

Из приведенных на рис.1 графиков, подтверждающих экспоненциальную зависимость удельной силы резания $F_{уд}$ луба и бересты от подачи на нож

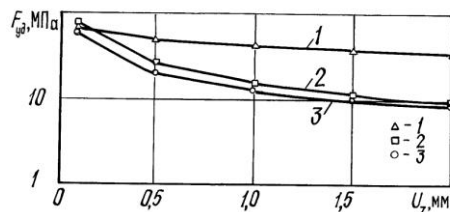


Рис. 1. Зависимость удельной силы резания $F_{уд}$ от подачи U_z : 1 – береста поперек волокон; 2 – береста вдоль волокон; 3 – луб вдоль волокон

U_z , следует, что наибольшее значение $F_{уд}$ имеет при резании бересты поперек волокон, наименьшее – при резании луба вдоль волокон.

На рис. 2 представлены графики, показывающие влияние величины переднего угла ножа γ на удельную силу резания луба вдоль волокон $F_{удл}^л$ при различных значениях U_z . Из рис. 2 следует, что при увеличении переднего угла от 0 до -15° сила $F_{уд}^л$ снижается незначительно, а при $\gamma = -15 \dots -25^\circ$ – значительно, после чего начинает расти до $\gamma = -40^\circ$.

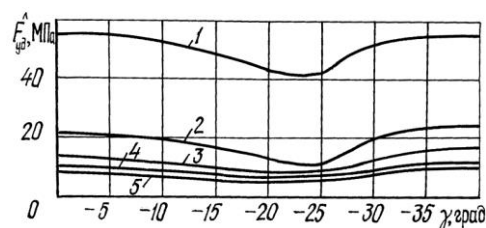


Рис. 2. Зависимость удельной силы резания луба вдоль волокон $F_{удл}^л$ от переднего угла γ при различных значениях подачи U_z : 1 – 0,1 мм; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 1,5; 5 – 2,0 мм

Это можно объяснить следующим. До $\gamma = -15^\circ$ уменьшение $F_{уд}$ связано с удалением материала путем скобления режущей кромкой, с увеличением γ в пределах $-15 \dots -25^\circ$ усиливается деформирование материала передней гранью ножа с ростом сил трения. Роль удаления материала режущей кромкой снижается, что приводит к значительному уменьшению удельной силы резания. При увеличении γ от -25° до -40° наблюдается рост давления со стороны передней грани и снижение скобления, что повышает $F_{уд}$.

На основании анализа результатов проведенных опытов можно сделать следующие выводы.

1. Математико-статистическая модель (5) для удельной силы резания при фрезеровании луба и бересты дает хорошее приближение к данным, полученным экспериментальным путем (табл. 3), и адекватно описывает исследуемый процесс (табл. 4).

2. Определенная экспериментальным путем удельная сила резания при фрезеровании луба и бересты для различных передних углов резания и подачах на нож, позволяет определять силу и мощность резания при отделении луба от бересты и осуществлять оптимизацию параметров отделяющих роторов установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Воскресенский В.Е. К вопросу оптимизации параметров и режимов работы установки для отделения луба от бересты // Лесн. журн. - 1996. - № 6. - С. 90-100. - (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Воскресенский В.Е. К выбору параметров рабочих органов установки для механического отделения луба от бересты // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр. - Л.: РИО ЛТА, 1984. - С. 109-114. [3]. Воскресенский В.Е. Определение толщины стружки и силы резания в процессе отделения фрезерованием луба от бересты // Лесн. журн. - 1996. - № 6. - С. 81-89. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Воскресенский В.Е. Определение энергозатрат при отделении луба от бересты фрезерованием // Лесн. журн. - 1996. - № 3. - С. 61-76. - (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Ивановский Е.Г. Резание древесины. - М.: Лесн. пром-сть, 1975. - 200 с.

Поступила 27 февраля 1997 г.

УДК 674.048

В.Н. ЕРМОЛИН, Д.Н. ДЕРЕВЯННЫХ

Сибирский государственный технологический университет

Ермолин Владимир Николаевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии композиционных материалов Сибирского государственного технологического университета. Имеет 30 научных трудов в области сушки, пропитки древесины, древесиноведения.



Деревянных Дмитрий Николаевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Сибирский технологический институт, аспирант кафедры композиционных материалов Сибирского государственного технологического университета. Имеет 3 печатных труда в области пропитки древесины.



ПОВЫШЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ЖИДКОСТЯМИ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ДАВЛЕНИИ

Приведены результаты исследований влияния амплитудно-частотных характеристик переменного жидкостного давления на проницаемость ядровой древесины сосны; изучен характер изменения скорости поглощения при пропитке с переменным давлением.

The results of investigating the influence of amplitude-frequency characteristics of alternating liquid pressure on permeability of pine heart are presented. The nature of changing the absorption speed at impregnation with alternating pressure has been investigated.

Во многих технологиях, связанных с обработкой древесины модифицирующими жидкостями (антисептиками, антипиренами, полимерами, красителями и т. д.), желательна глубокая или даже сквозная пропитка. Ядро и спелая древесина, составляющие ее основную массу, относятся к труднопропитываемым материалам (ГОСТ 20022.2 – 80. Защита древесины. Классификация). Способы пропитки такой древесины без нарушения ее целостности в настоящее время неизвестны.

Ниже рассмотрен наиболее перспективный, по нашему мнению, способ решения данной проблемы, основанный на применении переменного давления пропитываемой жидкости. Первые пробные эксперименты были проведены на полупромышленной установке, смонтированной на Лесосибирском мацтопропиточном заводе [1]. Объект исследования – круглые окоренные сосновые сортименты длиной 2,5 м и диаметром 18 ... 22 см. При пропитке их антисептиками создавали переменное давление с частотой $\nu = 4$ Гц и амплитудой $A = 0,1$ МПа. При этом глубина проникновения антисептика оказалась в 2 раза больше, чем по способу полного погружения. Пропитке подверглась не только вся заболонь, но и часть ядра (до 15 мм).

Для всестороннего изучения влияния параметров процесса пропитки древесины переменным давлением была изготовлена лабораторная экспериментальная пропиточная установка [2]. График изменения давления в пропиточном автоклаве представлен на рис. 1. Так как температура

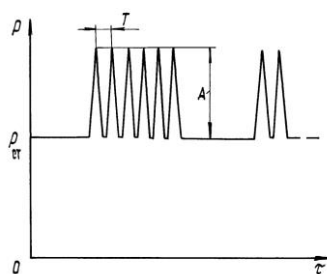
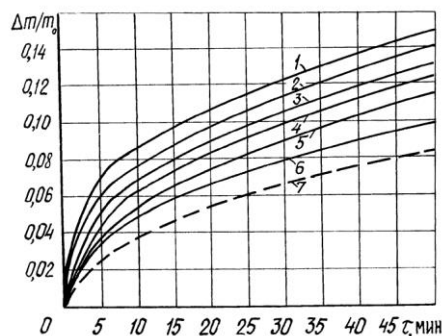


Рис. 1. График изменения давления антисептика в процессе пропитки (T – период; A – амплитуда; $P_{ст}$ – постоянное давление)

Рис. 2. График зависимости интенсивности поглощения пропиточной жидкости (в долях от первоначальной массы образцов ядровой древесины сосны) от времени при постоянном давлении 0,5 МПа (7) и переменном давлении (1 – 6) с различной частотой: 1 – 7 Гц; 2 – 8; 3 – 12; 4 – 5; 5 – 3; 6 – 1 Гц;



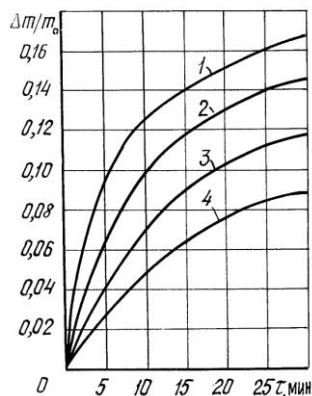
оказывает сильное влияние на повышение проницаемости древесины [3], то опыты проводили при комнатной температуре, которая считается неблагоприятной. Для исключения влияния природной изменчивости древесины одновременно пропитывали два парных образца.

Данные о влиянии амплитуды и частоты давления антисептика на проницаемость древесины в настоящее время отсутствуют. Поэтому было решено провести однофакторные эксперименты. На рис. 2 представлены результаты наблюдений за поглощением образцами пропиточной жидкости в процессе пропитки при различных частотах ($A = 0,3$ МПа и $P_{ст} = 0,4$ МПа). Лучшие результаты получены при $\nu = 7$ Гц. Дальнейшее увеличение частоты не приводит к существенному увеличению глубины пропитки, снижение – уменьшает глубину пропитки, но облегчает создание переменного давления, что важно при реализации метода в промышленности.

В результате исследований влияния амплитуды давления на поглощение ($\nu = 3$ Гц, $P_{ст} = 0,4$ МПа) установлено, что с увеличением амплитуды возрастает количество поглощенного антисептика (рис. 3).

Процесс пропитки древесины при переменном давлении антисептика значительно отличается от пропитки при постоянном давлении. Это, в частности, проявляется в своеобразном характере изменения скорости поглощения (рис. 4). При приложении переменного давления сначала наблюдается резкое увеличение скорости поглощения, затем она

Рис. 3. График зависимости интенсивности поглощения пропиточной жидкости (в долях от первоначальной массы образцов ядровой древесины сосны) от времени при различной амплитуде давления: 1 – 0,7 МПа; 2 – 0,5; 3 – 0,3; 4 – 0,1 МПа



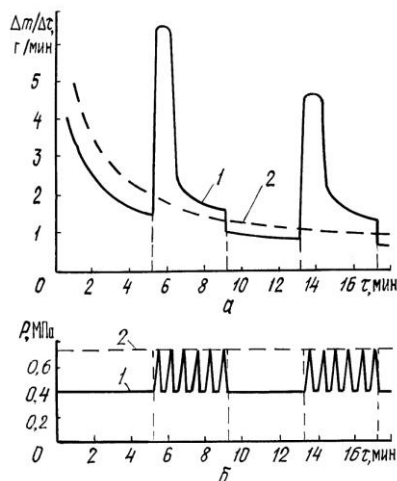


Рис. 4. График зависимости скорости поглощения пропиточной жидкости ядровой древесины сосны (а) и изменение ее давления от времени (б) в процессе пропитки: 1 – переменное давление; 2 – постоянное давление ($P_{ст} + A$)

снижается и примерно через 5 мин стабилизируется на одном уровне. Если прекратить воздействие и выдержать древесину при постоянном давлении не менее 4 ... 5 мин, то при возобновлении воздействия вновь отмечается возрастание скорости поглощения с последующим снижением и стабилизацией. Это происходит при всех повторных воздействиях, но с уменьшением максимальной скорости поглощения.

Подобный процесс, но только с меньшими количественными показателями, происходит и при пропитке ядровой древесины лиственницы и спелой древесины ели. Такой характер поглощения нельзя объяснить с позиций теории фильтрации жидкости через пористые среды. Можно только предположить влияние особенностей анатомического строения древесины, что будет предметом наших дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ермолин В.Н., Ковригин Г.С. Интенсификация пропитки древесины с различной влажностью // Защита древесины и целлюлозосодержащих материалов от биоповреждений. - Рига, 1989. - С. 192-195. [2]. Ермолин В.Н., Садырин А.Л., Деревянных Д.Н. Установка для исследования влияния переменного давления на проницаемость древесины // Проблемы химико-лесного комплекса. Научно-практическая конференция: Сб. тез. докл. (часть 2): - Красноярск: КГТА, 1996. - С. 52. [3]. Харук Е.В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. - Новосибирск: Наука, 1976. - 190 с.

Поступила 28 февраля 1997 г.

УДК 674.048

В.Н. ЕРМОЛИН, Д.Н. ДЕРЕВЯННЫХ

Сибирский государственный технологический университет

**ПРОПИТКА ДРЕВЕСИНЫ
ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ДАВЛЕНИИ**

Приведены результаты исследований процесса пропитки древесины с использованием переменного жидкостного давления. Выявлены и проанализированы особенности данного способа пропитки.

The results of investigating the process of wood impregnation based on alternating liquid pressure are presented. The distinctive features of the given method of impregnation are revealed and analyzed.

Низкая проницаемость ядровой и спелой древесины – одна из главных проблем в области пропитки. В настоящее время в литературе отсутствуют данные о способах, позволяющих повысить ее проницаемость. Исключение составляют только способы, основанные на предварительном разрушении древесины за счет наколов, насверловки отверстий, сжатия. Однако эти способы нельзя признать рациональными, так как они применимы ограниченно. Более перспективным, на наш взгляд, в решении этой проблемы является использование при пропитке переменного давления жидкости (см. рис. 1, с. 78).

Исследования, проведенные нами на полупромышленном и лабораторном оборудовании, показали, что глубину пропитки основных хвойных пород за счет использования переменного давления можно увеличить в 3–7 раз по сравнению со стандартной автоклавной технологией [2, 3]. Общие положения данного способа освещены в предыдущей статье (с. 77–80).

В данной статье изложено влияние особенностей анатомического строения древесины на процесс пропитки при переменном давлении.

В первую очередь следует отметить наиболее важную особенность – значительное увеличение скорости поглощения (соответственно глубины проникновения) при пропитке ядровой древесины при переменном давлении по сравнению с постоянным давлением (рис. 1). При этом величина постоянного давления $P_{ст} = P_0 + A$. Как известно, потенциалом переноса жидкости через пористую среду, согласно закону Дарси, является избыточное давление. При пропитке с переменным давлением средний уровень давления ниже, чем при постоянном, а интенсивность переноса выше. Как показывает анализ, используемые в данном способе пропитки низкочастотные воздей-

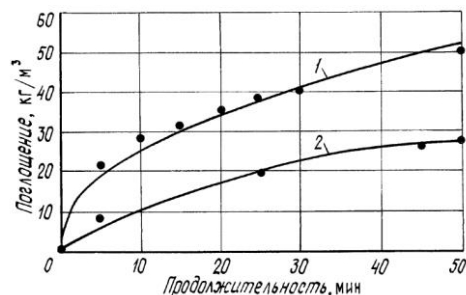


Рис. 1. Поглощение жидкости ядровой древесиной сосны при пропитке: 1 – переменное давление ($P_0 = 0,2$ МПа, $A = 0,3$ МПа, $\nu = 7$ Гц); 2 – постоянное давление ($P_{ст} = 0,5$ МПа)

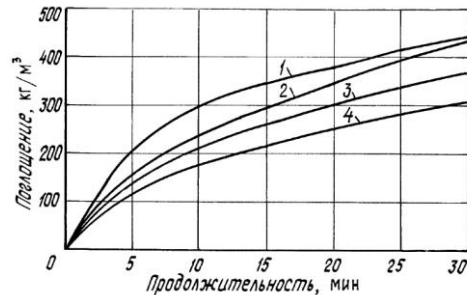


Рис. 2. Поглощение жидкости заболелью сосны (1, 2) и березы (3, 4) при пропитке: 1, 3 – постоянное давление ($P_{ст} = 0,7$ МПа); 2, 4 – переменное давление ($P_0 = 0,4$ МПа, $A = 0,3$ МПа, $\nu = 7$ Гц)

ствия малой интенсивности не могут привести к появлению дополнительных эффектов, которые наблюдаются, например, при воздействии ультразвука или электрогидравлического удара. Поэтому принципиально механизм переноса, по нашему мнению, измениться не может. Для проверки данного предположения были проведены опытные пропитки хорошо проницаемой заболони сосны и березы (рис. 2).

Результаты эксперимента показали, что процесс пропитки происходит практически одинаково как при постоянном (кривые 1, 3), так и при переменном (кривые 2, 4) давлении (при постоянном давлении пропитка идет даже несколько быстрее). Следовательно, при пропитке хорошо проницаемой древесины переменное давление не ускоряет процесс. Это дает основание предположить, что перенос жидкости в древесине при пропитке как с переменным, так и с постоянным давлением происходит по механизму фильтрации.

Увеличение интенсивности поглощения ядровой древесиной при переменном давлении может быть обусловлено изменениями в капиллярной структуре древесины, повышающими ее проницаемость. Обнаружить эти изменения с помощью микроскопических исследований достаточно сложно. Косвенным подтверждением этого предположения могут служить результаты исследований газопроницаемости древесины. Их проводили по следующей методике [1]. Из ядровой древесины сосны изготавливали образцы для определения газопроницаемости поперек волокон, стабилизировали влажность и определяли коэффициент их газопроницаемости K_r . После этого образцы зажимали в патрон, который помещали в пропиточную емкость, для исключения контакта боковой поверхности с пропиточной жидкостью. При переменном давлении ($A = 0,3$ МПа, $\nu = 7$ Гц) пропитку производили водой с температурой 20°C в течение 30 мин. Затем образцы выдерживали при комнатной температуре. При достижении ими первоначальной влажности вновь определяли K_r . Результаты исследований приведены в таблице.

**Газопроницаемость ядровой древесины сосны
до и после пропитки при переменном давлении**

Образец	Коэффициент газопроницаемости $K_r \cdot 10^{-n}$ при n					Среднее значение K_r
	6	7	8	9	∞	
До пропитки	$\frac{0}{0}$	$\frac{1,08...2,38}{15}$	$\frac{3,41...7,12}{25}$	$\frac{1,65...9,30}{25}$	$\frac{0}{35}$	$\frac{3,80 \cdot 10^{-8}}{100}$
После пропитки	$\frac{1,60...8,22}{35}$	$\frac{1,73...9,45}{40}$	$\frac{1,24...7,96}{15}$	$\frac{4,90...7,23}{10}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1,35 \cdot 10^{-6}}{100}$

Примечание. В числителе приведен диапазон значений коэффициента проницаемости, $\text{м}^2/(\text{МПа} \cdot \text{с})$; в знаменателе — процент образцов в данном интервале от общего числа.

Как видно из таблицы, газопроницаемость образцов после пропитки повысилась. Это говорит об изменениях в капиллярной проводящей системе древесины, что подтверждает выдвинутое нами предположение.

Другой особенностью пропитки древесины при переменном давлении является своеобразие кинетики поглощения жидкости. Так, например, при изучении ядра сосны, лиственницы и спелой древесины ели в начальный период воздействия наблюдается высокая интенсивность поглощения. Затем она быстро снижается и стабилизируется. Если прекратить воздействие и выдержать древесину некоторое время при постоянном давлении, то при возобновлении воздействия вновь наблюдается всплеск интенсивности поглощения с последующим снижением. Далее это повторяется, но с уменьшающейся величиной всплеска (рис. 3). Такой характер поглощения не согласуется с общими закономерностями фильтрации жидкостей через пористые среды и может быть обусловлен особенностями анатомического строения древесины. Подобные результаты были получены и другими исследователями [5, 7] при изучении гидропроводимости древесины вдоль волокон под действием избыточного давления. Установлено, что проводимость снижается с течением времени. Наиболее интенсивное, снижение, особенно при больших градиентах давления, наблюдается в начальный период. При изменении направления потока через образец на противоположное происходит

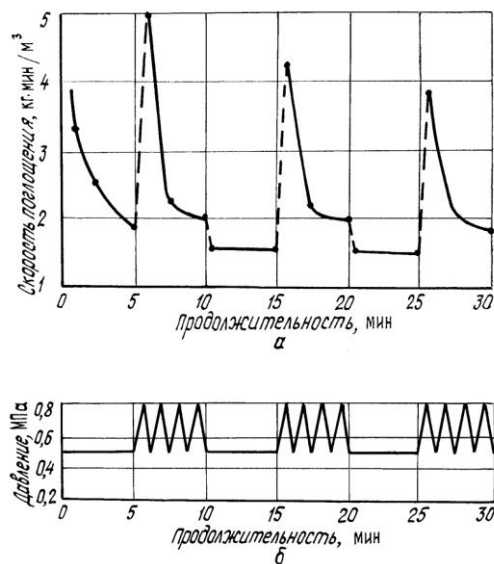


Рис. 3. Скорость поглощения жидкости (а) и изменение жидкостного давления (б) при пропитке с переменным давлением ядровой древесины сосны

резкое увеличение проводимости, а затем ее снижение. Анатомическими исследованиями было доказано, что подобное явление вызвано смещением торусов в окаймленных порах трахеид. В результате чего поры закрываются, что приведет к снижению проводимости. При изменении направления потока торус отходит от окаймления, постепенно смещаясь к противоположной стороне окаймления.

Полученные закономерности поглощения древесиной жидкости при пропитке с переменным давлением, по нашему мнению, также обусловлены смещением торусов в порах. Но в наших экспериментах перенос жидкости происходит поперек волокон в радиальном направлении. Поры на тангенциальных стенках трахеид, которые участвовали бы в этом переносе, отсутствуют [6]. Как показали исследования [4], перенос жидкости в данном случае идет по сердцевинным лучам. У использованных нами пород (сосна, ель, лиственница) лучи состоят из паренхимных клеток и лучевых трахеид. Основной перенос происходит по лучевым трахеидам, так как анатомически они к этому более приспособлены. Лучевые трахеиды сообщаются между собой и с вертикальными трахеидами, окаймленными порами. Исследования [8], проведенные на сосне обыкновенной (*Pinus silvestris*), показали, что мембраны окаймленных пор лучевых трахеид отличаются от мембран в порах вертикальных трахеид. У последних мембрана позволяет торусу смещаться.

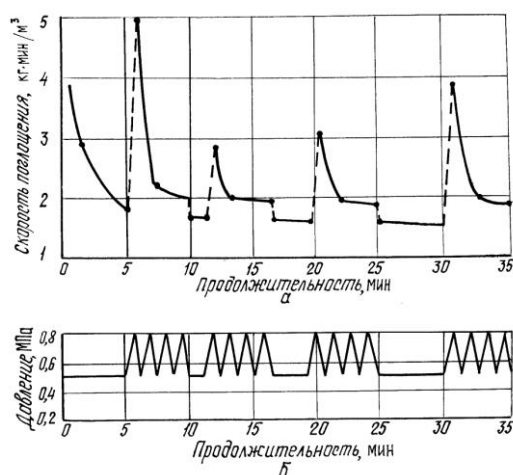


Рис. 4. Скорость поглощения жидкости (а) и изменение жидкостного давления (б) при пропитке ядровой древесины сосны с различной выдержкой между воздействиями переменного давления

это указывают результаты, полученные при пропитке с различной продолжительностью выдержки между воздействиями переменного давления (рис. 4). Время выдержки между циклами должно быть около 5 мин. При меньшей продолжительности всплеска поглощения либо вообще не наблюдается, либо он имеет малую величину.

В частности, это происходит при ядрообразовании [8], или, как было отмечено выше, под действием избыточного давления. У лучевых трахеид мембраны пор более жесткие и, как правило, они не допускают смещения торусов при ядрообразовании. Но переменное давление, используемое при пропитке, по всей вероятности, приводит к смещению этих торусов, что снижает интенсивность поглощения. После прекращения воздействия торусы возвращаются в центральное положение, что и обуславливает всплеск поглощения при повторных воздействиях. Причем смещение торусов происходит постепенно. На

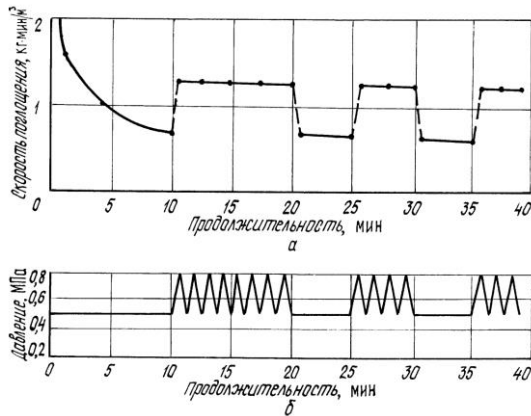


Рис. 5. Скорость поглощения жидкости (а) и изменение жидкостного давления (б) при пропитке с переменным давлением спелой древесины пихты

С высказанными предположениями о влиянии торуса хорошо согласуются результаты, полученные при пропитке с переменным давлением спелой древесины пихты. У нее, в отличие от вышеназванных пород, в сердцевинных лучах нет лучевых трахеид и соответственно окаймленных пор с торусами. Динамика поглощения древесины пихты приведена на рис. 5, из которого видно, что при воздействии давления интенсивность поглощения возрастает (это следовало ожидать), но быстрого ее снижения не происходит.

Это также подтверждает наши предположения. Кроме того, это свидетельствует о том, что при пропитке данной породы чередование переменного и постоянного давления не дает эффекта. Следовательно, структура режимов пропитки для разных пород должна быть различной.

Выводы

1. Переменное давление интенсифицирует пропитку ядровой древесины хвойных пород, не оказывая влияния на пропитку хорошо проницаемой заболони.
2. Интенсификация пропитки ядровой древесины при переменном давлении обусловлена тем, что в проводящей капиллярной системе происходят изменения, увеличивающие проницаемость.
3. Режимы пропитки древесины хвойных (сосна, ель, лиственница, кедр) пород, имеющей лучевые трахеиды, должны включать в себя чередование переменного и постоянного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. ГОСТ 16483.34–77. Древесина. Метод определения газопроницаемости. [2]. Деревянных Д.Н. Интенсификация автоклавной пропитки древесины хвойных пород переменным давлением: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Красноярск, 1997.- 18 с. [3]. Ермолин В.Н., Ковригин Г.С. Интенсификация пропитки древесины с различной влажностью // Защита древесины и целлюлозосодержащих материалов от биоповреждений: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Рига, 1989. - С. 192-195. [4]. Ермолин В.Н. Разработка модели древесины как объекта пропитки // Проблемы химико-лесного комплекса: Сб. науч. тр. - Т. 3. - Красноярск, 1993.- С. 55-60. [5]. Пятакин В.И., Полищук В.П., Крутоголов Л.Г. Влияние режима движения жидкости на проводимость свежесрубленной хвойной

древесины - Деп. рук. в ВИНПИЭИлеспром № 912 - лб, 1982. - 9 с. [6]. Перелыгин Л.Н. Строение древесины - М.: Гослесбумиздат, 1954.- 200 с. [7]. Huber Br., Werz W. Über die bedeutung des hoftupfelverschlusses für die axiale wasserleitfähigkeit von nadelholzern. - Planta, Bd. 51.- 1958. - S. 645-672. [8]. Fengel D. Ultrastruktural changes during aging of wood cells // Wood Science and Technology. - 1970. - Vol. 4. - P. 176-188.

Поступила 1 июня 1998 г.

УДК 674.023

Е.Б. РЮМИНА, С.А. КАБАКОВ

Архангельский государственный технический университет



Рюмина Елена Борисовна родилась в 1954 г., окончила в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета. Имеет 43 печатных труда в области деревянных конструкций.



Кабаков Сергей Александрович родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, академик Российской академии проблем качества. Имеет более 90 печатных трудов в области качества пиломатериалов.

ВЫХОД ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СОВОКУПНОСТИ НЕОБРАБОТАННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Приведены данные посортного выхода элементов деревянных конструкций SS и GS согласно BS 4978:1988 «Сорта пиломатериалов хвойных пород для строительных целей» из совокупности необработанных пиломатериалов, а также их распределение по длинам.

The data on the yield of elements of wooden constructions SS and GS according to BS 4978: 1988 «Grades of Softwood Sawn Timber for Construction Purposes» out of the collection of rough sawn timber is given as well as their breakdown according to lengths.

Лесопиление в России традиционно ориентировано на изготовление пилопродукции многофункционального назначения, подлежащей дообработке у потребителя. Однако на зарубежных рынках уже более четверти века большим спросом пользуются калиброванные пиломатериалы сечением по BS 4471:1987 («Размеры пиленых и калиброванных пиломатериалов»), рассортированные по прочностным показателям согласно Британскому стандарту BS 4978:1988 («Сорта хвойных пиломатериалов для строительных целей»), по сути – деревянные конструкционные элементы.

Цель работы – оценить возможность изготовления из отечественной древесины конструкционных элементов регламентируемых сортов и размеров по BS 4978:1988.

Для этого выполнено сравнение объемного выхода из совокупности необработанных пиломатериалов конструкционных элементов по BS 4978:1988 и пиломатериалов по ГОСТ 26002–83Э «Пиломатериалы хвойных пород северной сортiroвки, поставляемые на экспорт».

Объемный выход определяли по результатам опытных сортiroвок одной и той же партии необработанных пиломатериалов сечением 44×100 мм, которое наиболее часто используется для несущих строительных конструкций (количество – 760 шт., объем – $18,41 \text{ м}^3$).

По ГОСТ 26002–83Э пиломатериалы сортировали на бессортные, 4-й и 5-й сорта. Из пиломатериалов, не соответствующих требованиям этого стандарта, по ГОСТ 8486–86Е «Пиломатериалы внутреннего рынка» выделяли доски 0–4-го сортов и древесный брак.

По BS 4978:1988 пиломатериалы сортировали на два визуальных класса прочности (SS и GS), а также «отпад», из которых выделяли пиломатериалы 4-го и 5-го сортов по ГОСТ 26002–83Э.

Пиломатериалы из плотного транспортного пакета поштучно перекладывали на подстопное место, определяя при этом их длину с точностью до 0,1 м. Далее с учетом условной оторцовки оценивали сорт пиломатериалов по ГОСТ 26002–83Э и класс прочности конструкционных элементов по BS 4978:1988. При этом фиксировали порок, при котором конструкционные элементы не могли быть приняты классом прочности SS и переходили в GS.

При обработке результатов рассчитывали выход пиломатериалов каждого сорта по ГОСТ 26002–83Э. Для этого определяли объем неотторцованных пиломатериалов и их объем после условной оторцовки. Далее вычисляли общий выход пиломатериалов по ГОСТ 26002–83Э и объем попутной продукции и отрезков. Аналогично устанавливали выход конструкционных элементов по BS 4978:1988. Результаты опытных сортiroвок приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Объемный выход конструктивных элементов
из совокупности выпиленных пиломатериалов**

Доски	Общий объем	Выход элементов по BS 4978:1988		Отпад	Отрезки
		SS	GS		
Совокупность выпиленных пиломатериалов	18,4/100	7,76/42,2	5,01/27,2	2,8/15,2	2,84/15,4
Рассортированные по ГОСТ 26002–83Э:					
бессортные	1,94/10,5	1,54/79,4	0,38/19,6	–	0,02/1,0
4-й сорт	9,37/50,9	5,45/58,2	3,42/36,5	0,35/3,7	0,15/1,6
5-й сорт	3,47/18,8	0,77/22,2	1,21/34,9	1,27/36,6	0,22/6,3
Рассортированные по ГОСТ 8486–86Е:					
0–3-й сорт	0,05/0,3	–	–	0,05/100	–
4-й сорт	0,28/1,5	–	–	0,28/100	–
Древесный брак	0,85/4,6	–	–	0,85/100	–
Отрезки	2,45/13,4	–	–	–	2,45/100

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2–4, в числителе приведены данные в кубометрах, в знаменателе – в процентах.

Таблица 2

**Распределение по длинам выпиленных пиломатериалов,
поступивших на сортировку**

Фактическая длина, м	Объем пиломатериалов
3,75	0,099/0,54
4,00	1,936/10,51
4,30	0,530/2,88
4,60	0,344/1,87
4,90	0,431/2,34
5,20	2,013/10,94
5,50	0,871/4,73
5,80	0,995/5,41
6,10	10,682/58,03
6,40	0,507/2,75
Итого	18,408/100,00

В ходе исследований установлено распределение по длинам совокупности выпиленных пиломатериалов, поступивших на сортировку (табл. 2), и пиломатериалов, рассортированных по ГОСТ 26002–83Э (табл. 3), а также конструктивных элементов по BS 4978:1988 (табл. 4).

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Совокупность выпиленных пиломатериалов, предназначенных для сортировки, имеет следующее распределение по длинам: 58 % длиной 6,1 м,

Таблица 3

**Распределение по длинам пиломатериалов,
рассортированных по ГОСТ 26002–83Э**

Длина пиломатериалов, м	Бессортные	4-й сорт	5-й сорт	Для внутреннего рынка	Отпад
2,7	0,012/0,6	0,024/0,3	–	–	–
3,0	0,013/0,7	0,145/1,6	0,066/1,9	–	0,053/1,9
3,3	0,058/3,0	0,450/4,8	0,131/3,8	–	0,189/6,8
3,6	0,127/6,6	0,602/6,4	0,174/5,0	–	0,158/5,6
3,9	0,103/5,3	0,704/7,5	0,137/3,9	0,069/20,8	0,189/6,7
4,2	0,148/7,6	0,610/6,5	0,166/4,8	0,018/6,42	0,111/4,0
4,5	0,119/6,1	0,693/7,1	0,158/4,6	–	0,158/5,6
4,8	0,169/8,7	1,056/11,3	0,422/12,2	0,021/6,3	0,296/10,6
5,1	0,381/19,6	0,853/9,1	0,516/14,9	0,045/13,6	0,404/14,4
5,4	0,309/16,0	1,449/15,4	0,404/11,6	–	0,190/6,8
5,7	0,477/24,6	2,182/23,3	1,053/30,4	0,100/30,1	0,552/19,7
6,0	0,026/1,3	0,607/6,4	0,238/6,8	0,079/23,8	0,502/17,9
Итого	1,942	9,375	3,465	0,332	2,802

Таблица 4

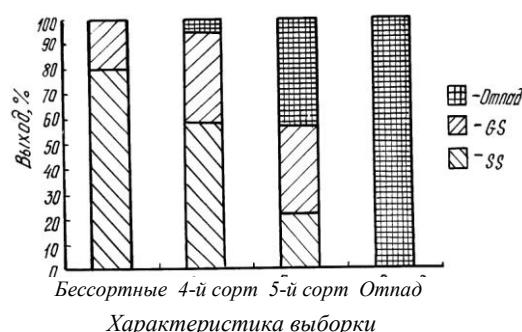
Распределение по длинам конструктивных элементов по BS 4678:1988

Длина элемента, м	Выход элементов из пиломатериалов по ГОСТ 26002–83Э					
	Бессортные		4-й сорт		5-й сорт	
	SS	GS*	SS	GS**	SS	GS***
2,7	0,012/0,8	–	0,083/1,5	0,012/0,4	0,095/12,3	–
3,0	0,013/0,8	–	0,092/1,7	0,079/2,3	0,026/3,4	0,039/3,2
3,3	0,058/3,7	–	0,319/5,9	0,012/3,4	0,730/9,4	0,030/2,5
3,6	0,127/8,2	0,048/12,5	0,491/9,0	0,221/6,5	0,111/14,4	0,095/7,9
3,9	0,069/4,4	0,017/4,4	0,309/5,7	0,343/10,0	0,051/6,6	0,086/7,1
4,2	0,166/10,8	0,040/10,4	0,425/7,8	0,277/8,1	0,092/11,9	0,074/6,1
4,5	0,040/2,6	0,042/10,9	0,356/6,5	0,198/5,8	0,059/7,6	0,060/5,1
4,8	0,190/12,4	0,890/23,4	0,655/12,0	0,275/8,0	0,063/8,2	0,190/15,7
5,1	0,224/14,6	0,048/12,5	0,314/5,8	0,404/11,8	–	0,090/7,4
5,4	0,238/15,5	0,100/26,0	0,832/15,2	0,428/12,5	0,024/3,1	0,119/9,8
5,7	0,376/24,4	–	1,229/22,6	0,853/24,9	0,100/12,9	0,426/35,2
6,0	0,026/1,7	–	0,343/6,3	0,211/6,1	0,079/10,2	–
Итого	1,539	0,384	5,448	3,418	0,773	1,209

* Из них элементы с обзолом составляют 0,020 м³, с сучками – 0,842 м³, с прочими пороками – 0,022 м³.

** Из них элементы с обзолом составляют 0,740 м³, с сучками – 2,547 м³, с прочими пороками – 0,131 м³.

*** Из них элементы с обзолом составляют 1,050 м³, с сучками – 0,128 м³, с прочими пороками – 0,031 м³.



Выход конструктивных элементов из досок по ГОСТ 26002–86Э

11 % длиной 5,2 и 4,0 м (далее примерно в равных долях следуют пиломатериалы других длин). Средняя длина неотторцованных пиломатериалов – 5,5 м. На основании этих данных могут быть получены распределения по длинам деревянных элементов конструкций с целью обеспечить выполнение конкретного контракта.

2. Совокупность выпиленных пиломатериалов, пред-

ставленная к сортировке в табл. 1, включала 11 % бессортных досок, 50 % досок 4-го сорта и 19 % досок 5-го сорта по ГОСТ 26002–83Э, 2 % досок по ГОСТ 8486–86Е, 18 % отрезков и древесного брака.

3. Для оценки объемного выхода конструктивных элементов выполнили расчет выхода групп SS и GS из пиломатериалов бессортных, 4-го и 5-го сортов по ГОСТ 26002–83Э (см. рисунок). Из всей совокупности выпиленных пиломатериалов может быть получено 79 % конструктивных элементов группы SS и 20 % группы GS. За счет дополнительной оторцовки около 1 % объема пиломатериалов переведено в отрезки.

Из пиломатериалов 4-го сорта по ГОСТ 26002–83Э можно выпилить до 58 % конструктивных элементов группы SS и до 37 % группы GS. Около 5 % составляют отпад и отрезки.

4. Из выделенных в категорию отпад при сортировке по BS 4988:1988 соответственно 2 и 7 % пиломатериалов из всей совокупности, поступившей на сортировку, составляют доски 4-го и 5-го сортов по ГОСТ 26002–83Э, которые могут быть включены в контракт покупателем при поставке ему строительных элементов.

Следует иметь в виду, что в данной работе предусматривался максимальный объемный выход деревянных конструктивных элементов по фактическим длинам с учетом минимальной оторцовки. Если в контракте потребуется поставка только элементов группы SS, то их выход можно увеличить за счет дополнительного поперечного раскроя элементов группы GS и досок категории отпад в среднем на 8,7 % из бессортных пиломатериалов, на 64 % из пиломатериалов 4-го сорта и на 49 % из пиломатериалов 5-го сорта. При этом объем отрезков из бессортных досок составит 6 %, из досок 4-го и 5-го сортов – по 10 %.

Поступила 10 октября 1997 г.

УДК 630*864:537.528

*Н.В. ИВАНОВА, В.Г. ГОРОХОВА, А.А. ШИШКО, Н.А. КОШИЛЕВ,
В.Г. ЧЕРНОВА, О.А. КОЛОМАКИНА, В.А. БАБКИН*

Иркутский институт органической химии СО РАН
Иркутский институт солнечно-земной физики СО РАН

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

Показана возможность вариации физических параметров электрогидравлического удара для обработки лигниновых продуктов с целью получить модифицированный гидролизный лигнин со свойствами, обеспечивающими более интенсивное использование этого многотоннажного продукта.

The variation possibility of physical characteristics of hydroelectric stroke is presented for processing lignin products to produce modified hydrolysis lignin with properties providing more intensive application of this multitonnage product.

Электрогидравлический эффект (ЭГ-эффект) – многофакторный физико-химический процесс, в котором участвуют ударные волны с гидростатическим давлением $10^2 \dots 10^3$ МПа, плазма с температурой до 10^4 К, импульсное электромагнитное поле, рентгеновское, световое и тепловое излучения и т. д. [1]. Как метод механохимического воздействия ЭГ-эффект нашел широкое применение в ряде промышленных производств [4].

Исследования, результаты которых приведены и обсуждаются в данной работе, выполнены с целью определить физические параметры ЭГ-эффекта для обработки лигниновых продуктов и возможность получения модифицированного гидролизного лигнина (ГЛ) со свойствами, обеспечивающими его более интенсивное использование.

Для этого было необходимо определить концентрацию лигнина в суспензии, при которой возможно протекание ЭГ-эффекта (рабочая концентрация); показать, что в водно-лигниновых суспензиях действительно имеет место ЭГ-эффект; подобрать условия, при которых эффективность преобразования электрической энергии в механическую при ЭГ-разряде в водно-лигниновых суспензиях максимальна; в выбранных условиях обработать суспензии ГЛ в воде, определить физико-химические характеристики продуктов для их возможного применения на практике.

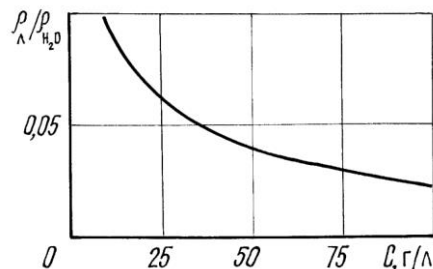


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления $\rho_{\text{л}}/\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ водно-лигнинных суспензий от концентрации гидролизованного лигнина C

При проведении исследований использовали ГЛ из-под сжез Зиминского гидролизного завода. Эксперименты проводили на специально созданной ЭГ-установке, отличающейся от традиционно применяемых наличием управляемого разрядника и диагностических устройств, а также обеспечивающей жесткий режим обработки при пониженных напряжениях ($U > 50$ кВ) [5].

Основные параметры разряда (напряжение на разрядной ячейке, импульсный ток) измеряли с помощью резистивного делителя напряжения и пояса Роговского. Давление, развиваемое в камере, регистрировали пьезо-керамическим датчиком, установленным на боковой стенке реактора. Удельное сопротивление рабочей жидкости предварительно определяли кондуктометрическим методом [6], используя стеклянную цилиндрическую ячейку (диаметр 28 ... 30 мм, длина 155 ... 160 мм) с медными или никелевыми электродами. Частота измерения 1 кГц.

Суспензию ГЛ в воде (концентрация 0 ... 100 г/л) помещали в реактор (разрядная ячейка) объемом 1,6 л и обрабатывали серией из 50–1000 высоковольтных разрядов. Суспензию разделяли после обработки на твердую и жидкую фазы с последующим анализом их состава.

На рис. 1 представлены результаты измерения удельного сопротивления образцов водно-лигнинной суспензии в зависимости от концентрации ГЛ, нормированные на удельное сопротивление использовавшейся в экспериментах технической воды при температуре 24 ... 25 °С ($\rho_{\text{H}_2\text{O}} \sim 1,5 \cdot 10^4$ ом·см). С увеличением концентрации лигнина в суспензии удельное сопротивление уменьшается. Рабочей концентрацией можно считать 25 ... 100 г/л.

Поиск режима работы основывался на изменении величины разрядного зазора в жидкости и оголенной длины потенциального электрода при постоянном зарядном напряжении. В качестве опорных использовали параметры электрического разряда в воде. При подаче на разрядную ячейку высокого напряжения через промежуток времени, необходимый для прорастания стримеров до заземленного электрода, в ней развивался сильноточный разряд. Быстрое выделение энергии возбуждало расходящуюся цилиндрическую волну. После окончания электрического разряда в ячейке возникали колебания давления вследствие наложения колебаний кавитационной полости, образовавшейся на месте разряда, и многократных отражений ударных и звуковых колебаний от стенки камеры.

На рис. 2 приведены типичные осциллограммы сигналов с датчика напряжения, пояса Роговского и пьезодатчика, полученные в воде и водно-лигнинной (10:1 или 100 г/л) суспензии.

Осциллограммы давления (рис. 2) свидетельствуют, что амплитуда импульсов давления и скорость его нарастания при разряде в воде превышает соответствующие величины при разряде в водно-лигнинных суспензиях.

На рис. 3 представлены зависимости эффективности преобразования энергии при разряде в водно-лигнинных системах с различной концентрацией лигнина и фиксированной длине разрядного промежутка. Для оценки снижения предпробойных потерь [1] были проведены эксперименты при различной длине оголенного участка l_0 потенциального электрода постоянного диаметра. В пределах точности эксперимента снижения потерь при уменьшении l_0 не обнаружено.

Увеличение концентрации лигнина приводит к росту (до 50 %) предпробойных потерь и, соответственно, к падению доли запасенной энергии, израсходованной во время сильноточной стадии, а также величины давления в разрядной ячейке.

На рис. 4 представлены зависимости эффективности преобразования энергии при разряде в водно-лигнинной (10:1 или 100 г/л) суспензии и различной длине разрядного промежутка l_p . Увеличение разрядной длины

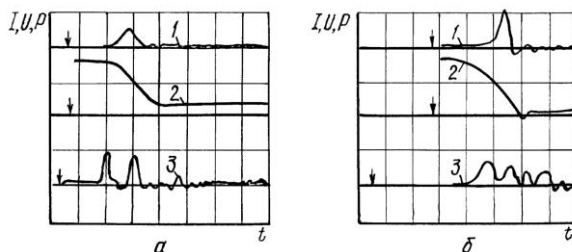


Рис. 2. Типичные осциллограммы тока I (3), напряжения U (2) и давления P (1), полученные при ЭГ-разряде в воде (а) и водно-лигнинной суспензии (б): 1 – $P = 50$ отн. ед./дел. (а), $P = 2$ отн. ед./дел. (б), $t = 20$ мкс/дел.; 2 – $U = 19$ кВ/дел., $t = 5$ мкс/дел.; 3 – $I = 20$ кА/дел., $t = 5$ мкс/дел.

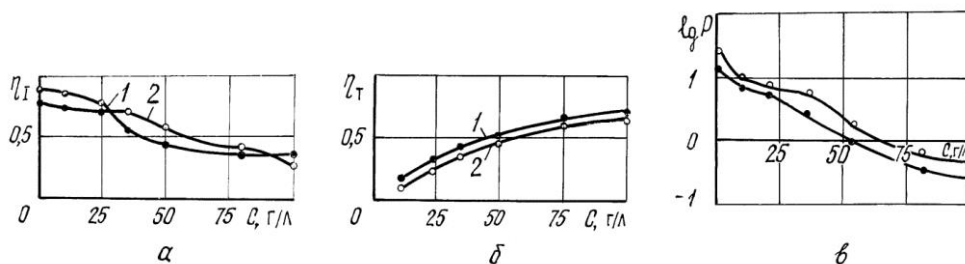


Рис. 3. Зависимости эффективности преобразования энергии η_I (а), предпробойных потерь η_T (б) и амплитуды импульса давления P в разрядной ячейке (в) от концентрации лигнина в суспензии: 1 – $l_0 \sim 7$ мм; 2 – $l_0 \sim 17$ мм (длина разрядного промежутка $l_p \sim 20$ мм)

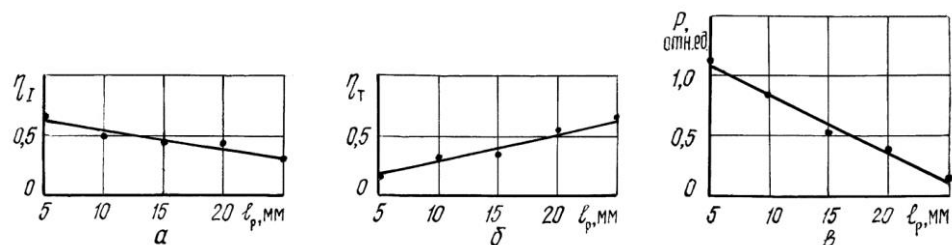


Рис. 4. Зависимость эффективности преобразования энергии η_I (а), предпробойных потерь η_T (б) и амплитуды импульса давления P (в) при разряде в водно-лигнинной суспензии от длины разрядного промежутка l_p

также приводит к росту η_T , падению η_I и P . При $l_p \sim 5 \dots 25$ мм экспериментальные зависимости могут быть удовлетворительно описаны как линейные.

Теоретические исследования позволили оптимизировать процесс обработки водных суспензий ГЛ с применением ЭГ-эффекта.

В работе [2] представлены физико-химические характеристики продуктов, получающихся в результате воздействия ЭГ-разрядов на водно-лигнинные суспензии. Сделан вывод, что обработка серий из 100 ЭГ-разрядов обеспечивает получение тонкоизмельченного твердого продукта (доля частиц с размером больше 0,5 мм уменьшается в 4–20 раз, а частиц с размером меньше 0,1 мм увеличивается в 2–3 раза). При этом происходит активизация ГЛ, его обеззоливание и освобождение от водорастворимых органических примесей.

Модифицированный ГЛ был использован для синтеза фенолформальдегидных смол, получения активированных углей с хорошими адсорбционными и прочностными свойствами [2] и в качестве наполнителя поливинилхлоридных композиций [3].

Наличие в жидкой фазе редуцирующих веществ (0,2 ... 0,3 %), фурфурола (0,01 %), а также элементный состав водного фильтрата (концентрация возможных элементов-ингибиторов роста бактерий соответствует нормам) позволяют использовать ее на стадии производства кормовых дрожжей гидролизных заводов.

Таким образом, ЭГ-обработка водно-лигнинных суспензий в приведенных выше условиях подтверждает перспективность применения этого способа [7], обеспечивает получение модифицированного ГЛ со свойствами, позволяющими использовать его во многих отраслях промышленности, что в какой-то мере сможет решить проблему утилизации гидролизного лигнина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Гулый Г.А., Малюшевский П.П. Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах. - Киев: Наукова думка, 1977. - 176 с.
- [2]. Иванова Н.В. Электрогидравлический эффект в гетеродисперсных систе-

мах гидролизного лигнина: Дис. ... канд. хим. наук. - Иркутск, 1995. - 115 с. [3]. Использование ГЛ в качестве наполнителя поливинилхлоридных композиций / О.Е. Бусыгин, А.В. Ржепка, А.К. Халиулин и др. // Тез. докл. науч. конференции «Технологические аспекты целлюлозно-бумажного производства». - Братск, 1991. - С. 61. [4]. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Под ред. Г.А. Гулого. - М.: Машиностроение, 1977. - 320 с. [5]. Пат. № 1810351. Способ обработки гидролизного лигнина / В.А. Бабкин, Д.Б. Поблинков, Н.А. Кошилев, А.А. Шишко, Н.В. Иванова, В.Г. Горохова, Л.Б. Демьянович // Бюл. изобрет. - 1993. - № 15. - С. 120. [6]. Худякова Т.А., Крешков А.П. Теория и практика кондуктометрического и хронокондуктометрического анализа. - М.: Химия, 1976. - 304 с. [7]. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. - М.; Л.: Машиностроение, 1986. - 250 с.

Поступила 30 июля 1996 г.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.017

В.И. КОМАРОВ

Архангельский государственный технический университет



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 160 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.

**МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Предложена гипотеза механизма деформирования и разрушения волокнистых целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки. Анализ зависимости $\sigma - \epsilon$ позволил выделить четыре области действия различных механизмов данного процесса. Предложены методики для количественной оценки наблюдаемых явлений.

The hypothesis has been suggested for the mechanism of deformation and destruction of fiber pulp-and-paper materials when tensile load is applied. The analysis of the dependence $\sigma - \epsilon$ has allowed to determine four areas of activity for different mechanisms of the given process. The models for quantitative assessment of the observed phenomena have been suggested.

Механизм деформирования и разрушения любого материала, в том числе бумаги и картона, зависит в сильной степени от двух факторов: во-первых, от наличия и природы дефектов структуры, во-вторых, от вариации в структуре микронеоднородностей напряжений и их концентрации. В волокнистом капиллярно-пористом материале структурные микро- и макронеоднородности обусловлены наличием капилляров и пор различной геометрической конфигурации и высокой вариабельностью свойств отдельных волокон. Действуя на неоднородный материал, макрооднородное поле напряжений становится микронеоднородным и вызывает перенапряжения в

слабых местах и концентрацию напряжений у дефекта структуры. В последние годы выполнено большое число работ по исследованию вопроса, являются ли вязкоупругие свойства бумаги результатом явлений, происходящих внутри волокон или между ними. Эти явления тесно взаимосвязаны, поэтому интерпретация экспериментальных данных затруднена. По мнению автора, в существующих теориях прочности целлюлозно-бумажных материалов уделяется недостаточное внимание роли высокой дисперсности целлюлозных волокон и различных свойств отдельных фракций, отличающихся длиной волокна.

Более высокий уровень оценки свойств целлюлозы, бумаги и картона и разработки технологий материалов с заданными свойствами может быть достигнут при привлечении методов механики разрушения [3].

Анализ зависимости напряжение – деформация при статическом нагружении позволяет выделить четыре области действия различных механизмов деформирования и разрушения целлюлозно-бумажных материалов (рис.1).

В области I, ограниченной на кривой точкой 1, происходит деформирование волокон и межволоконных связей. Предел упругости σ_1 и упругая деформация ε_1 испытываемых образцов варьируются, что объясняется неоднородностью материала в плоскости листа (рис. 2). Различия в величинах предела упругости и упругой деформации слоёв 1–4 приводят к коле-

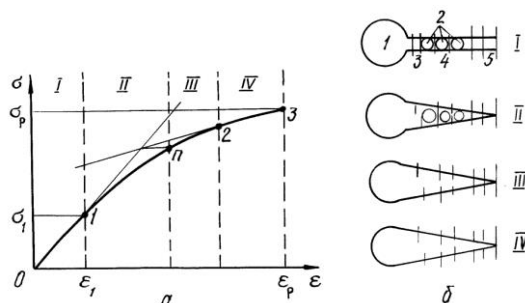
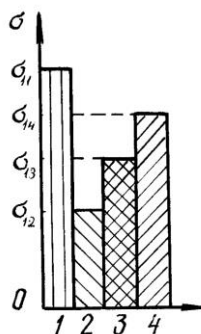


Рис. 1. Схема деформационных состояний целлюлозно-бумажных материалов при растяжении: а – зависимость $\sigma - \varepsilon$; б – стадии раскрытия трещины; I – деформирование волокон и межволоконных связей; II – извлечение концов неразорванных волокон; III – отрыв волокон при их деформировании без разрушения и слияние микрокапилляров; IV – разрыв волокон и адгезионное отслаивание волокон перед разрывом; 1 – капилляр с максимальным диаметром; 2 – микрокапилляр; 3 – волокна с $l \ll l_k$; 4 – $l < l_k$;

5 – $l > l_k$

Рис. 2. Зависимость предела упругости σ от структуры слоя в плоскости листа (1–4 – номер слоя; $\sigma_{11} - \sigma_{14}$ – соответствующий слою предел упругости)



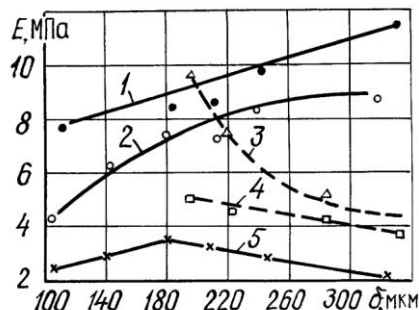


Рис. 3. Влияние толщины материала, обусловленной массой 1 м^2 , на модуль упругости, определенный динамическим и статическим методами: 1 — $\varepsilon \approx 0,03$; 2 — $\varepsilon \approx 0,1$; 3 — $\varepsilon \approx 0,2 \dots 0,3 \%$; 4, 5 — стрела прогиба образца составляет до 8 % от испытываемой длины, а угол изгиба не превышает 7°

баниям пороговых значений σ_1 и ε_1 у образца, а значит, и к колебаниям величины начального модуля упругости. Отсюда следует, что у образца, состоящего только из слоя 1, начальный модуль упругости будет гораздо выше, чем у образца, состоящего только из слоя 2.

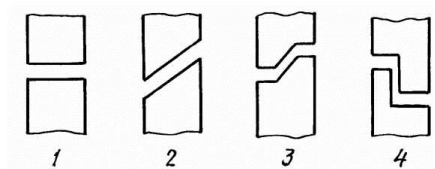
Данное положение подтверждено [4, 5] экспериментально (рис. 3).

От точки 1 до точки 2 (см. рис. 1) зависимость имеет криволинейный характер, причем крутизна кривой на отрезке 1 — II (область II) выше, чем на отрезке II — 2 (область III). Постоянное снижение текущего модуля упругости на этой кривой обусловлено поведением различных по длине фракций волокон. При этом в II области отклонение от прямолинейной зависимости вызвано извлечением концов неразорванных волокон с $l < l_k$ (l — длина волокна, l_k — критическая длина волокна) из стенок трещин, образующихся у капилляров с достаточно большим диаметром. Переход от точки 1 к точке II сопровождается увеличением длины участвующих в этом процессе волокон, снижением межволоконных сил связи и текущего модуля упругости E_t . При этом раскрытие начинающейся образовываться трещины сдерживается «проросшими» через неё волокнами с $l > l_k$, т.е. появляется трещина типа «крейзы», а микрокапилляры увеличиваются в объеме.

В III области с увеличением напряжения деформирование волокон с длиной, приближающейся к критической (с $l \rightarrow l_k$), приводит к отрыву концов волокон от края трещины уже с более значительным разрушением межволоконных сил связи. Концы волокон извлекаются с преодолением сил трения. Микрокапилляры сливаются, и под действием сдвиговых, касательных напряжений и крейзования происходит возникновение пластических деформаций.

В IV области начинается рост трещины, приводящий к разрушению образца. Под действием значительных напряжений, возникающих в направлении роста трещины, происходит адгезионное отслаивание волокон (разрушение межволоконных сил связи) у вершины трещины с последующим разрушением волокна. У целлюлозно-бумажных материалов рост трещины может осуществляться двумя основными способами — отрывом или сколом. В некоторых случаях разрыв представляет собой сочетание местных отрывов и сколов (рис. 4) [7].

Рис. 4. Элементарные типы разрушения хрупкого материала при испытании на растяжение: 1, 2 – соответственно отрыв и скалывание в плоскости максимальных сдвиговых напряжений; 3 – отрыв и скалывание; 4 – отрыв и скалывание в направлении растяжения



Таким образом, упругие свойства зависят от предыстории материала: природы волокна; способа варки; фундаментальных свойств волокна; режимов технологических процессов; соотношения начальных модулей упругости волокон, выполняющих роль матрицы и армирующего элемента; наличия макронеоднородной структуры в плоскости листа, обусловленной процессом формования на сетке БДМ. Начальный модуль упругости E_1 является интегральной характеристикой I области деформирования [10].

Замедленно упругая деформация, т.е. проявление вязкоупругих свойств во II и III областях кривой зависимости σ – ϵ , обусловлена следующим: во-первых, величиной критической длины волокна l_k ; во-вторых, относительным содержанием фракций волокон с $l < l_k$ и $l > l_k$; в-третьих, относительным вкладом в возникающую пластическую деформацию механизмов сдвиговой вынужденной эластичности (СВЭ) и крейзования. Разработанные методики позволяют получить характеристики для оценки данных областей деформирования. Критическую длину волокна определяют по уравнению [6,12]

$$l_k / d_b = \sigma_{p0} (1,54 / \rho_1) / 2 F_{св} (1,54 / \rho_2), \quad (1)$$

где d_b – ширина волокна;

σ_{p0} – разрушающее напряжение материала при испытании на растяжение и нулевом расстоянии между зажимами разрывной машины;

1,54 – плотность стенки целлюлозного волокна;

ρ_1 и ρ_2 – кажущаяся плотность материала;

$F_{св}$ – адгезионная способность волокна, определяемая по методу Иванова.

Знание фракционного состава волокна по длине позволяет оценить относительное содержание фракций с заданной длиной.

Количественная оценка вкладов крейзования и сдвиговой вынужденной эластичности в механизм пластической составляющей деформации важна для интерпретации процессов деформации и разрушения. Исходным уравнением предлагаемой методики является следующее соотношение [2, 11]:

$$(\Delta V/V) / (\Delta L/L) = 1 - 2\nu, \quad (2)$$

где ΔV – объемная деформация;

V – исходный объем деформируемой части образца;

ΔL – продольная деформация;

L – исходная длина рабочей части образца;

ν – коэффициент Пуассона.

Известно, что левая часть уравнения (2) определяет вклад крейзования в пластическую деформацию образца. Если левая часть равна 1, то единственным механизмом является крейзование ($\nu = 0$), если она равна 0, то вся пластическая деформация обусловлена сдвиговой вынужденной эластичностью ($\nu = 0,5$). При промежуточных значениях ν левая часть уравнения (2) выражает относительную долю крейзования в пластической деформации. Таким образом, это уравнение позволяет однозначно дифференцировать вклады крейзования и СВЭ при условии известного ν . Коэффициент Пуассона может быть рассчитан по уравнению

$$\sigma_1^2 / \sigma_2^2 = [(1 - \nu) / (1 - 2\nu)]^2, \quad (3)$$

где σ_1 и σ_2 – разрушающее напряжение соответственно при плосконапряженном и плоскодеформированном состояниях.

Развивающиеся при приложении нагрузки деформации во II и III областях на кривой напряжение – деформация могут иметь и релаксационный характер. Дополнительную информацию о механизме деформирования может дать расчет времени релаксации напряжения по уравнению типичного тела [9]:

$$\sigma_{(\varepsilon)} = E_2 \varepsilon + \nu n (E_1 - E_2) \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{\nu n}} \right), \quad (4)$$

где $\sigma_{(\varepsilon)}$ – напряжение;

E_2 – модуль упругости в области предразрушения;

ν – скорость приложения нагрузки;

n – время релаксации напряжения;

ε – относительная деформация;

E_1 – начальный модуль упругости.

Четвертая область деформирования материала характеризуется трещиностойкостью, т.е. устойчивостью к инициированию и росту трещин, случайно образующихся или специально нанесённых дефектов и надрезов. Одним из основных энергетических критериев, характеризующих рост трещины, является J -интеграл [1, 8].

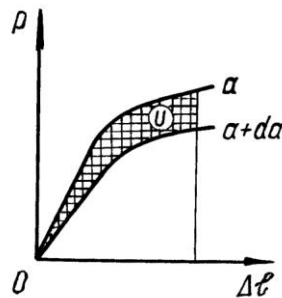


Рис. 5. Зависимость усилия – удлинение ($P - \Delta l$) для образцов с различной длиной трещин

J -интеграл можно найти, используя экспериментально полученные кривые усилие – удлинение ($P - \Delta l$) для образцов, в которых создаются трещины длиной a и $a + da$ (рис. 5):

$$J_I = \frac{U}{(a + da) - a}, \quad (5)$$

где U – энергия, необходимая для роста трещины на длину da .

Экспериментально можно построить зависимость $J - \Delta l$. В случае линейно-упругой деформации эта зависимость выражается уравнением параболы. При возникновении у вершины трещины пластической зоны зависимость приобретает линейный характер (рис. 6), что дает возможность легко определять величину характеристики трещиностойкости J_{IC} соответственно точке 1.

Сведения о трещиностойкости материала полезны для практики: в случае низкой трещиностойкости необходимо проводить эффективное сортирование целлюлозы или бумажной массы и увеличивать относительное содержание в структуре материала длинноволокнистого полуфабриката или длинноволокнистой фракции в целях нивелирования воздействия типичных дефектов; поддерживать параметры процесса размола для заданного изменения критической длины волокна; модернизировать бумаго-делательную машину с целью уменьшить колебания характеристик упругости, вязкоупругости и прочности; при излишней трещиностойкости целесообразно использовать материал для производства менее дорогостоящих полуфабрикатов; снижать массу 1 м^2 материала.

Учет теоретических представлений о микромеханических явлениях, происходящих при деформировании и разрушении материала, применение предложенных методик как для оценки качества полуфабрикатов и материала, так и для эффективного регулирования технологических процессов маскоподготовки и производства на бумагоделательной машине позволяют с большей вероятностью прогнозировать производство материалов с заданными свойствами.

Для иллюстрации вышеизложенного было проведено исследование влияния степени делигнификации сульфатной небелёной целлюлозы на характеристики деформативности, трещиностойкости и прочности (см. табл.). Эксперимент на образцах с массой 1 м^2 , равной 40 г, и степенью помола 45 °ШР показал, что снижение критической длины волокна уменьшает вклад в пластическую деформацию механизма крейзования и трещиностойкость материала, что влечет за собой уменьшение характеристик статической P и динамической A_p прочности.

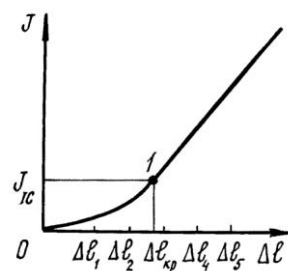


Рис. 6. Изменение J -интеграла в зависимости от удлинения Δl образца в процессе испытаний

Характеристики	Значение характеристик при различной степени делигнификации целлюлозы, ед. Каппа		
	43,9	32,4	67,2
E_1 , МПа	5870	6310	6380
ν	0,29	0,24	0,22
СВЭ, %	42	52	60
K^* , %	58	48	40
l_k , мм	1,24	1,18	0,67
J_{IC} , мДж/м	1,86	1,29	0,70
P , Н	64,4	59,6	51,3
A_p , мДж	102	85	74

* K – крейзование.

В то же время увеличение вклада в механизм пластической деформации крейзования позволяет предположить об образовании, например в слоях 2 и 3 (см. рис. 2), большего количества трещин типа крейзы, что снижает величину начального модуля упругости.

Таким образом, предложенная гипотеза с известным приближением дает качественное представление о механизме деформирования и разрушения волокнистого целлюлозно-бумажного материала, а разработанные методики позволяют количественно оценить происходящие явления на различных ступенях деформирования с целью целенаправленного технологического воздействия для достижения заданного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Броек Д. Основы механики разрушения - М.: Высш. шк., 1980. - 368 с. [2]. Козлов Г.В., Белоусов В.Н., Микитаев А.К. Оценка вкладов механизмов пластической деформации в ударную прочность полимеров // Докл. АН СССР. - 1984. - № 2. - С.338-342. [3]. Комаров В.И. Вязкоупругость целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. - 1997.- № 6. - С. 25-44. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Комаров В.И. Жесткость при изгибе целлюлозно-бумажных материалов. Анализ методов измерения и влияния технологических факторов // Лесн. журн.- 1994. - № 3.- С. 112-142.- (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Комаров В.И. К вопросу измерения модуля упругости бумаги // Химическая переработка древесины.- Л.:РИО ЛТА, 1972.- Тр. № 152. С.62-66. [6]. Комаров В.И. «Критическая» длина волокна – фактор, определяющий деформативность и прочность целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. - 1993. - № 4. - С. 79-83.- (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Комаров В.И. Применение статистической теории прочности при испытании целлюлозных материалов // Бум. пром-сть.- 1987 - № 3- С. 13-14. [8]. Комаров В.И. J -интеграл – характеристика структуры целлюлозно-бумажных материалов // Целлюлоза, бумага, картон.- 1997. - № 5-6.- С.26-29. [9]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Определение времени релаксации напряжения в целлюлозно-бумажных материалах из статических кривых σ – ϵ при деформировании и нагружении с постоянной скоростью // Лесн. журн. - 1993. - № 5-6. - С.130-133.- (Изв. высш. учеб. заведений). [10]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Программное обеспечение лабораторного комплекса для оценки механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растя-

гивающей нагрузки // Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе: Материалы Междунар. науч.-техн. конф., 27-28 окт. 1997 г. - Минск: РИО БелГТУ, 1997. - С.257-259. [11]. Комаров В.И., Казаков Я.В. Расчет коэффициента Пуассона при испытании на растяжение целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. - 1993. - №5-6. - С.133-136.- (Изв. высш. учеб. заведений). [12]. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композитных материалов // М.: Мир, 1982. - 232 с.

Поступила 23 марта 1999 г.

УДК 577.472

О.В. БОГДАНЧИКОВА, К.Г. БОГОЛИЦЫН, В.А. ФОКИНА

Архангельский государственный технический университет

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической и коллоидной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии при АГТУ, член-корреспондент РИА и РАИН. Имеет более 200 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.



ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА

Дан анализ временной зависимости концентрации веществ, определяемых в воде р. Северная Двина; разработана модель, основанная на биологических, химических и физических процессах, протекающих в дельте реки; показана возможность прогноза изменения концентрации минеральных веществ на основании сведений о расходе и температуре воды.

The analysis of the time dependence for agents concentration found in water of the Northern Dvina is presented. The model has been developed based on biological, chemical and physical processes taking place in the river delta. Predictability of changing the mineral agents concentration is demonstrated based on the river flow and water temperature.

Изучение гидрохимического режима дельты р. Северная Двина имеет большое значение в связи с тем, что она используется в качестве источника питьевого водоснабжения не только г. Архангельска, но и многих населенных пунктов, в которых отсутствуют станции централизованной водоподготовки. Химический состав воды р. Северная Двина в сопоставлении с нормируемыми показателями ГОСТ 2761–84 приведен в (табл. 1).*

В результате обработки статистических данных по химическому составу воды устья р. Северная Двина за период с 1988 по 1996 гг. удалось выявить три группы показателей, изменение которых в р. Северная Двина в течение года подчиняется одной общей, установленной нами, закономерности: минеральные вещества (гидрокарбонаты, натрий,

Таблица 1

Химический состав воды р. Северная Двина (водозабор г. Архангельска, по данным 1988 – 1996 гг.)

Показатель	Численные значения показателя		
	Максимальное	Минимальное	Нормируемое
Цветность, град	232	55	200
Взвешенные вещества, мг/л	96,6	0,2	–
рН	8,0	6,9	6,5 – 8,5
Кислород, мг/л	13,99	3,06	≥ 4
Углекислый газ, мг/л	15,4	2,9	–
Минерализация, мг/л	408,4	62,7	–
Жесткость, мг-экв/л	5,9	0,7	–
Гидрокарбонаты, мг/л	175,7	30,7	–
Натрий, мг/л	24,2	1,4	–
Калий, мг/л	3,1	1,0	–
Магний, мг/л	16,8	1,5	–
Кальций, мг/л	63,9	12,0	–
Хлор, мг/л	21,1	2,7	–
Сульфаты, мг/л	96,8	9,6	–
Кремний, мг/л	4,1	0,7	–
Фосфаты, мг/л	2,0	0,0	–
Азот, мг/л:			–
нитритный	0,083	0,001	–
нитратный	0,32	0,00	–
аммонийный	2,01	0,01	–
Железо, мг/л	0,97	0,01	ПДК = 0,05
Хром общий, мг/л	0,006	0,001	–
БПК ₅ , мг О ₂ /л	5,9	0,79	ПДК ≤ 3
Окисляемость бихроматная, мг О ₂ /л	66,1	23,8	> 15
Лигносульфонаты, мг/л	10,7	1,9	1,0
Нефтепродукты, мг/л	0,09	0,04	0,05
Формальдегид, мг/л	0,07	0,03	0,05

* Здесь и далее использованы данные, предоставленные Северным центром мониторинга загрязнения окружающей среды Севгидромета г. Архангельска.

Продолжение табл. 1

Показатель	Численные значения показателя		
	Максимальное	Минимальное	Нормируемое*
Метанол, мг/л	0,75	0,00	0,1
Алюминий, мг/л	0,940	0,005	0,04
Общее количество микроорганизмов (бактерий) ОКМ (ОКБ), ед./л	$4,5 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$	(1...10) · 10 ¹ – чистый; (1...10) · 10 ² – умеренно загрязненный; (1...10) · 10 ³ – загрязненный; (1...10) · 10 ⁴ – грязный; > 10 ⁵ – очень грязный
Индекс клостридий (показатель отсутствия кислорода), ед./л	$25 \cdot 10^3$	537	≤ 500
Индекс бактерий группы кишечной палочки (БГКП), ед./л	$1,1 \cdot 10^3$	—	≤ 100
Индекс кишечной палочки (E coli), ед./л	$34,0 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	1000

калий, магний, кальций, хлор, сульфат) и интегральные показатели (общая минерализация, жесткость); загрязняющие вещества неорганического происхождения (сумма азота, нитратный азот, фосфаты, кремний, общий фосфор, общее железо) и биогенные элементы; растворенный кислород, имеющий собственный закон изменения во времени. На рис. 1 представлена статистическая модель изменения содержания натрия, кальция и гидрокарбонатов.

Задача настоящей работы – проанализировать временные зависимости концентрации веществ минеральной (первой) группы и разработать модели, основанные на знаниях о биологических, химических и физических процессах, протекающих в воде дельты р. Северная Двина.

Как известно, основным определяющим фактором гид-

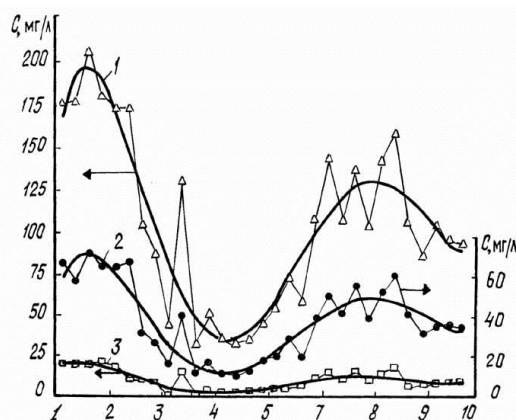


Рис. 1. Изменение содержания в воде устья р. Северная Двина (створ железнодорожного моста) в 1990 – 1995 гг. гидрокарбонатов (1), кальция (2) и натрия (3) (здесь и далее, на рис. 2 – 4, цифры на горизонтальной оси обозначают порядковый номер месяца в году)

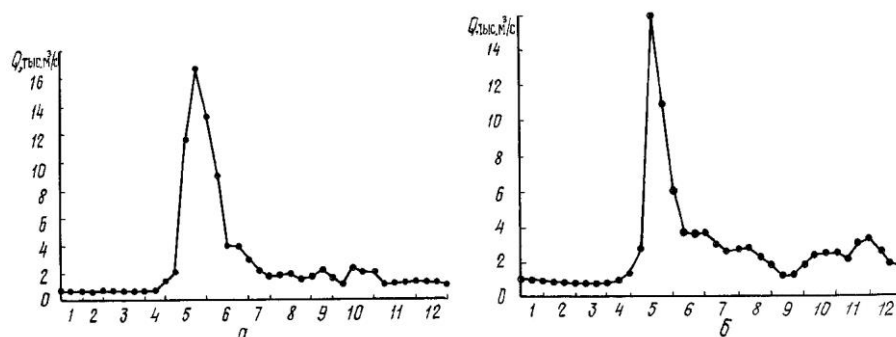


Рис. 2. Изменение расхода р. Северная Двина в месте водозабора г. Архангельска (створ железнодорожного моста): а – 1988 г.; б – 1996 г.

рологического режима дельты р. Северная Двина является речной сток. Максимальный водопоток наблюдается в период весеннего половодья (до 80 % общего стока), небольшое его увеличение отмечается в осенний период (рис. 2).

Не менее важным климатическим фактором при рассмотрении химических процессов в природном водоеме является температура воды. Динамика ее изменения в весенне-летне-осенний период приведена на рис. 3.

Анализ изменения указанных факторов в течение года и их влияние на характер изменения компонентного состава воды свидетельствует, что учет только одного из них не позволяет с достаточной степенью надежности оценивать процессы, происходящие в природном водоеме. Так, достаточно сопоставить рис. 1–3, чтобы сделать вывод, что минимум концентрации в мае–июне вызван увеличением расхода реки в период весеннего половодья, а последующее увеличение концентрации связано с влиянием температуры, так как ее повышение приводит к росту растворимости веществ первой группы.

Предлагаемое нами линейное дифференциальное уравнение дает достаточно хорошее описание изменения концентрации веществ первой группы в течение года:

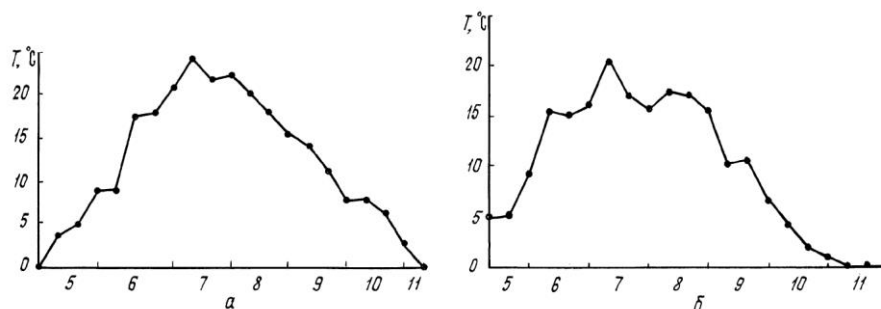


Рис. 3. Изменение температуры воды р. Северная Двина в месте водозабора г. Архангельска (створ железнодорожного моста): а – 1988 г.; б – 1996 г.

$$\frac{dC}{dt} = -k_1(C - C_0)G(t) + k_2T(t), \quad (1)$$

где C – концентрация вещества, мг/л;
 C_0 – константа, характеризующая уровень грунтового питания реки, мг/л;
 $G(t)$ – кусочно-линейная функция, моделирующая влияние расхода реки на концентрацию, м³/с;
 $T(t)$ – кусочно-линейная функция, моделирующая влияние температуры на концентрацию, °С;
 k_1 и k_2 – константы, характеризующие степень зависимости концентрации рассматриваемого вещества от расхода реки и температуры

$$k_1 = \left[\frac{\text{с}}{\text{л} \cdot \text{сут} \cdot \text{м}^3} \right], \quad k_2 = \left[\frac{\text{мг}}{\text{л} \cdot \text{сут} \cdot ^\circ\text{С}} \right].$$

Обстоятельство, что Северная Двина – река с ярко выраженным пиком половодья весной, позволяет моделировать расход с помощью кусочно-линейной функции (описывающей отдельно передний и задний фронты «импульса», изображающего всплеск расхода в период весеннего половодья). Для описания влияния температуры воды в течение года также можно использовать этот подход.

При решении уравнения (1) для всех компонентов первой группы хорошие результаты получены при значении коэффициента $k_1 = 0,2$ (т.е. все они в одинаковой степени зависят от расхода реки), однако каждый из них обладает собственным температурным коэффициентом k_2 . Значения k_2 и C_0 для данных 1990–1995 гг. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Константы уравнения (1)

Загрязняющий компонент	k_2	C_0
Кальций	$1,5 \pm 0,2$	10,0
Калий	$0,025 \pm 0,005$	1,0
Магний	$0,35 \pm 0,03$	1,5
Натрий	$4,5 \pm 0,2$	2,0
Гидрокарбонаты	$4,2 \pm 0,3$	30,0
Хлориды	$0,35 \pm 0,03$	1,5
Сульфаты	$2,0 \pm 0,2$	12,0
Минерализация	$8,0 \pm 0,5$	70,0
Жесткость	$0,11 \pm 0,05$	0,7

Например, для общей минерализации уравнение (1) имеет следующий вид:

$$\frac{dC}{dt} = -0,2 (C - 70) G(t) + 8 T(t), \quad (2)$$

$$\text{где } G(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } 2 \leq t < 3,5, \\ 26,5 t - 91,75 & \text{при } 3,5 \leq t < 4,3, \\ -16,83 t + 94,58 & \text{при } 4,3 \leq t < 5,5, \\ 2 & \text{при } 5,5 \leq t < 10; \end{cases}$$

$$T(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } 2 \leq t < 4, \\ 8t - 32 & \text{при } 4 \leq t < 6,5, \\ -6,67t + 63,33 & \text{при } 6,5 \leq t < 9,5, \\ 0 & \text{при } t \geq 9,5; \end{cases}$$

t – время.

При сравнении интегральной кривой, полученной для общей минерализации по уравнению (2), и статистической модели (рис. 4) видно, что они достаточно удовлетворительно совпадают.

Корректность предлагаемого подхода была проверена при обработке экспериментальных данных изменения концентрации веществ первой группы в 1988 и 1996 гг. (табл. 3, 4). Погрешность определения расчетных значений не превышала 20 %.

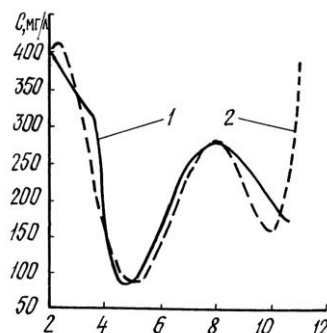


Рис. 4. Изменение минерализации воды р. Северная Двина: 1 – интегральная кривая, полученная по уравнению (2); 2 – статистическая модель (данные 1990 – 1995 гг.)

Таблица 3

Сравнение данных, полученных экспериментально (числитель) в 1988 г. и при решении дифференциального уравнения (1) (знаменатель)

Показатель	Численные значения показателя в течение года							δ, %
	3	4	4	6	8	9	10	
Температура, °С	0,0	0,0	3,9	8,9	20	14,1	7,2	–
Расход, м³/с	685	476	11 600	9 000	1 850	2 110	2 290	–
Минерализация, мг/л	<u>465,5</u>	<u>475,5</u>	<u>110,2</u>	<u>87,7</u>	<u>293,0</u>	<u>276,4</u>	<u>269,5</u>	13,6
	465,5	418,7	111,9	97,0	168,2	225,1	295,7	

Продолжение табл. 3

Показатель	Численные значения показателя в течение года							δ, %
	3	4	4	6	8	9	10	
Жесткость, мг-экв/л	<u>5,0</u>	<u>5,0</u>	<u>1,2</u>	<u>1,0</u>	<u>3,5</u>	<u>3,2</u>	<u>3,1</u>	12,3
	5,0	4,5	2,3	1,2	1,0	2,0	2,8	
Гидрокарбонаты, мг/л	<u>216,6</u>	<u>209,9</u>	<u>47,6</u>	<u>39,0</u>	<u>129,4</u>	<u>126,9</u>	<u>130,6</u>	12,4
	216,6	194,5	97,3	50,0	43,6	81,3	110,6	
Калий, мг/л	<u>3</u>	<u>2,8</u>	<u>1,7</u>	<u>1,0</u>	<u>1,7</u>	<u>1,4</u>	<u>1,3</u>	14,5
	3	2,8	31,1	1,2	1,1	1,3	1,5	
Магний, мг/л	<u>18,2</u>	<u>17,8</u>	<u>4,9</u>	<u>3,4</u>	<u>13,6</u>	<u>11,0</u>	<u>10,3</u>	22,3
	18,2	16,2	7,5	3,3	2,7	5,8	8,23	
Кальций, мг/л	<u>70,5</u>	<u>70,1</u>	<u>16,8</u>	<u>14,0</u>	<u>48,3</u>	<u>46,4</u>	<u>46,4</u>	12,4
	70,5	63,3	16,6	14,7	28,3	38,7	52,1	
Сульфаты, мг/л	<u>114,9</u>	<u>110,0</u>	<u>31,1</u>	<u>19,0</u>	<u>70,2</u>	<u>68,2</u>	<u>62,1</u>	16,8
	114,9	102,7	49,1	22,9	18,9	36,6	50,5	

Примечание. Цифры в головке табл. 3, 4 обозначают порядковый номер месяца в году, когда отбирали пробы.

Таблица 4

Сравнение данных, полученных экспериментально (числитель) в 1996 г. и при решении дифференциального уравнения (1) (знаменатель)

Показатель	Численные значения показателя в течение года							δ, %
	3	5	6	8	9	10	12	
Температура, °С	0,0	0,0	15,3	17,2	10,5	20,0	0,0	—
Расход, м ³ /с	852	2780	3710	2750	1170	2430	2550	—
Минерализация, мг/л	<u>389,4</u>	<u>336,0</u>	<u>143,0</u>	<u>167,2</u>	<u>236,3</u>	<u>215,0</u>	<u>182,3</u>	10,8
	389,5	322,8	149,1	131,6	173,9	240,3	197,1	
Жесткость, мг-экв/л	<u>4,8</u>	<u>3,8</u>	<u>1,7</u>	<u>2,0</u>	<u>2,8</u>	<u>2,5</u>	<u>2,2</u>	13,5
	4,8	4,0	1,8	1,7	2,4	3,4	2,7	
Гидрокарбонаты, мг/л	<u>176,7</u>	<u>161,3</u>	<u>65,6</u>	<u>80,4</u>	<u>108,9</u>	<u>111,3</u>	<u>78,6</u>	19,8
	176,7	146,3	67,4	38,7	70,8	119,7	103,1	
Калий, мг/л	<u>1,7</u>	<u>2,1</u>	<u>1,7</u>	<u>1,2</u>	<u>1,9</u>	<u>1,1</u>	<u>1,5</u>	17,9
	1,7	1,6	1,4	1,2	1,4	1,6	1,4	
Магний, мг/л	<u>16,4</u>	<u>13,4</u>	<u>6,6</u>	<u>7,1</u>	<u>9,9</u>	<u>8,9</u>	<u>9,6</u>	14,2
	16,4	13,3	6,7	4,7	6,8	10,0	7,9	
Кальций, мг/л	<u>69,6</u>	<u>54,6</u>	<u>23,2</u>	<u>27,8</u>	<u>38,9</u>	<u>36,3</u>	<u>28,8</u>	17,9
	69,6	55,4	17,2	24,5	33,7	48,2	39,1	
Сульфаты, мг/л	<u>95,4</u>	<u>73,3</u>	<u>36,6</u>	<u>37,6</u>	<u>53,1</u>	<u>42,4</u>	<u>48,2</u>	14,8
	95,4	78,0	32,7	29,5	41,6	60,6	48,3	

Итак, предложенный подход и использование уравнения (1) позволяют адекватно описывать процесс изменения концентрации веществ первой группы в течение года; дают возможность прогнозировать поведение этих веществ на основании знаний о расходе реки и температуре; позволяют вводить в уравнение (1) функцию, характеризующую поступление веществ в результате техногенного воздействия.

Поступила 6 октября 1998 г.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.512:62-68

В.И. МОСЯГИН, И.Н. ТАРАСОВА, А.Р. БЕЗПАЛЬКО

С.-Петербургская лесотехническая академия
Сибирский государственный технологический университет



Мосягин Владимир Ильич родился в 1939 г., окончил в 1963 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой бухгалтерского учета и анализа хозяйственной деятельности С.-Петербургской лесотехнической академии, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы, действительный член Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Имеет более 150 печатных работ в области экономики планирования и учета вторичных ресурсов и природоохранной деятельности.

ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

Проанализирована действующая система плановых показателей использования ВЭР. Показаны ее недостатки, не позволяющие отразить в полной мере процесс формирования ресурсов энергии, получаемой за счет утилизации ВЭР и используемой потребителем. Предложена система показателей использования энергии по стадиям энергетического потока.

The operating system of planned indices for utilization of secondary energy resources is analyzed. Its weakness is shown, which fails to reflect the process of forming energy resources, produced as a result of utilization of secondary energy resources and used by a consumer. The system of indices is suggested for energy use according to the stages of energy circuit.

В действующих условиях хозяйствования на ряде предприятий лесного комплекса вообще нет плана использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). Другие предприятия, наоборот, разрабатывают такой план по достаточно широкому кругу показателей, в частности выход ВЭР, выработка и коэффициент выработки энергии за счет ВЭР, использование ВЭР, экономия топлива за счет утилизации ВЭР, коэффициент утилизации ВЭР, экономический эффект от использования ВЭР.

Количество ВЭР, образующихся в производственном процессе на данном технологическом агрегате, принято характеризовать как выход ВЭР, а количество энергии, полученное при их использовании в утилизационных установках, определяется как выработка энергии за счет ВЭР. При этом под плановой выработкой понимается такое количество энергии, которое предполагается получить за счет ВЭР при осуществлении плана развития производства с учетом ввода новых, модернизации действующих и вывода устаревших утилизационных установок.

Коэффициент выработки энергии за счет ВЭР представляет собой отношение планируемой выработки к возможной. Он может определяться для отдельного агрегата, цеха и предприятия в целом по каждому виду ВЭР.

Экономия топлива за счет утилизации ВЭР – это количество первичного топлива, которое экономится в результате утилизации вторичных ресурсов. Отношение планируемой экономии топлива к возможной характеризуется коэффициентом утилизации ВЭР. Этот показатель определяется как по каждому виду ВЭР, так и суммарно для всех их видов. Экономический эффект от использования ВЭР представляет собой экономию топлива за минусом затрат, связанных с реализацией мероприятий по утилизации.

Анализируя приведенные показатели вряд ли можно согласиться с тем, что один и тот же термин «выход ВЭР» характеризует как удельную, так и абсолютную величину их образования. В практике утвердилось применение его как термина, характеризующего удельный объем образования какого-либо продукта (выход дрожжей, фурфурола, этилового спирта из 1 т абс. сухой древесины, пиломатериалов из 1 м³ пиловочника и т. д.). Поэтому термин «выход ВЭР» более правильно применять только для характеристики удельных объемов образования вторичных энергоресурсов, а для характеристики количества образующихся ВЭР за какой-либо период времени – термин «объем образования ВЭР».

На количество и качество ВЭР, образующихся в результате каких-либо технологических процессов, значительно влияют технологические параметры последних. Различные нарушения технологии могут существенно повлиять на параметры ВЭР, изменить количество энергии, полученной за счет ВЭР и используемой потребителем. Это важное обстоятельство не учитывается в действующей практике, и, как результат, показатель «выход ВЭР» не имеет дифференциации по условиям образования ВЭР.

В области планирования под использованием ВЭР обычно понимают потребленное количество теплоты, холода и электроэнергии, выработанных за счет ВЭР в утилизационных установках. Сюда также относят коли-

чество топлива или теплоты, полученных непосредственно как вторичные энергоресурсы. По нашему мнению, это неудачное применение термина «использование ВЭР». Процессы непосредственного использования ВЭР в утилизационных установках и потребление выработанной за счет ВЭР энергии различны по целевому назначению. Потребители энергии используют не ВЭР, а энергию, полученную за счет их утилизации. Поэтому использованием ВЭР правильнее считать количество энергии этих ресурсов, которое направляется в утилизационную установку.

В отдельных случаях (если не требуются преобразования энергоносителя) трудно разграничить процессы использования ВЭР (вследствие совмещения этих процессов во времени и пространстве). Однако это разграничение необходимо. Так, если ВЭР поступают для энергоснабжения другого агрегата или установки (например вторичный пар многокорпусных установок по выпарке последрождевой бражки для использования в колоннах предварительного укрепления фурфурола в качестве греющего агента), то количество энергии используемых ВЭР (с момента вовлечения их в деятельность) отличается от используемого потребителем на величину потерь при транспортировке вторичного энергоресурса от источника образования до потребителя.

Как уже отмечалось, свойства вторичных энергоресурсов непосредственно формируются на стадии их образования. На стадии подготовки к использованию могут происходить изменения энергоносителя и энергетического потенциала ВЭР, соответствующие принятым направлениям. Так, потери энергоносителя либо уменьшение его энергетического потенциала ведут к изменению количества ВЭР, поступающих в следующую стадию. Процессы подготовки ВЭР к использованию могут привести к изменению свойств энергоносителя (например уменьшение влажности гидролизного лигнина после его подсушки и, как следствие, повышение теплоты сгорания 1 т лигнина).

На стадии использования тех ВЭР, которые требуют изменения вида энергоносителя в утилизационных установках, происходят преобразования вида энергоносителя (например выработка пара, горячей воды, электроэнергии в утилизационных установках). Степень использования ВЭР, на наш взгляд, целесообразно определить по поступлению энергоносителя ВЭР в установку.

Последняя стадия энергетического потока ВЭР определяет количество энергии, полученной за счет их утилизации и используемой потребителем, что существенно влияет на величину экономии высвобождаемого первичного топлива.

В заключение приводим разработанную в Лесотехнической академии под руководством В.И. Мосягина систему показателей использования энергии при утилизации ВЭР по стадиям энергетического потока.

Стадия образования ВЭР: выход ВЭР, объем их образования. Первый показатель характеризует их количество в единицу времени, второй – за весь планируемый период.

Стадия подготовки ВЭР к использованию: подготовленные ВЭР к использованию, в том числе без преобразования и с преобразованием энергоносителя. Это планируемые ВЭР, реально направленные на энергетические нужды.

Стадия использования ВЭР: получаемая энергия за счет использования ВЭР, определяющая количество энергии, которое планируется получить при утилизации ВЭР.

Стадия использования энергии, полученной за счет утилизации ВЭР: используемая энергия, характеризующая планируемое количество энергии, получаемой за счет утилизации ВЭР, использование которой потребителем экономически целесообразно.

Поступила 18 февраля 1997 г.

УДК 658.1:711

В.Я. КРУПЧАК

ОАО «Архангельский ЦБК»

ПРОБЛЕМЫ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ РОЛИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

До последнего времени экономическая теория рассматривала предприятие преимущественно как систему для преобразования ресурсов в продукцию в соответствии с общественным спросом. Сегодня складывается новый подход: осознается институциональная роль предприятия. Это означает, что предприятие рассматривается как субъект концентрации и воспроизводства ресурсов, формирования будущих потребностей и тенденций [2]. Диверсифицируется понятие эффективности предприятия. Появляется необходимость принимать в расчет не только традиционные составляющие – технологическую и экономическую эффективность, но и институциональную как степень реализации предприятием своей определенной роли в обществе.

Возможно, институциональный подход к предприятию высвечивает специфику российской модели предпринимательства. Дело в том, что классическая микроэкономика понимает предприятие как простейший микроорганизм, способный реагировать лишь на внешние раздражители (чаще всего цены, сбыт продукции). Между тем в российской практике в течение десятилетий складывался институциональный подход: предприятие – это целый

мир, который по сложности не уступает миру макроэкономическому*. Предприятие не только выпускает продукцию в соответствии с заданной целевой функцией, но и воспроизводит систему социальных, духовных, психологических отношений между членами коллектива. Оно формирует «модели поведения» персонала на самом предприятии и в значительной степени вне его. Кроме того, предприятия определяют многие базовые характеристики государственного устройства, поскольку обеспечивают общественное воспроизводство [3].

В принципе воспроизводство в литературе трактуется двояко: во-первых, как единство процессов производства, распределения, обмена и потребления материальных и духовных благ; во-вторых – как кругооборот и оборот фондов. Более прогрессивным, на наш взгляд, является точка зрения, согласно которой воспроизводственный процесс рассматривается как взаимосвязь производства, распределения, обмена и потребления, составляющих единое движение. Поскольку оба уровня воспроизводства включают социальные процессы, предприятие как важнейший элемент воспроизводственного процесса выполняет институциональную роль.

Особая роль предприятий в общественной жизни стала осознаваться после разрушения административно-командной системы управления. На ряде предприятий после смены собственника оказались нарушенными традиционные отношения между персоналом и администрацией. Эгоистичность управленцев стала обретать эпидемический характер. По данным Института стратегического анализа и развития предпринимательства (1996 г.), из трех вариантов целей руководителей (стабильное функционирование предприятия, развитие предприятия, развитие трудового коллектива) первую цель признают 46,2 % директоров, вторую 49,4 %, третью только 2,8 % [2].

Общественно-воспроизводственная роль предприятий достаточно эксплицитна в моногородах. Город Новодвинск, где Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат является градообразующим предприятием, за годы реформ в России, как, впрочем, и многие другие подобные поселения, в полной мере ощутил значимость своей институциональной роли в воспроизводственном процессе городской жизни.

В первые годы реформ (1992-1996 гг.) промышленное производство и другие отрасли экономики города пережили серьезный экономический и финансовый кризис. Годовое производство электроэнергии снизилось на 10,2 %, фанеры – в 2,6 раза, целлюлозы товарной – на 15 %, бумаги – в 2,4

* См., например: На пути к социальному партнерству. Развитие социально-трудовых отношений в современной России: от односторонне-командного управления к трехстороннему сотрудничеству/ Под ред. Л.А. Гордона. - М., 1993; Ахиезер А.С. Научно-техническая революция и некоторые социальные проблемы производства и управления. – М., 1974; Григас Р. Социальная организация предприятия и ее функции. – Вильнюс, 1998 и др.

раза, картона – на 16 % и т. д. Практически разрушенным оказался строительный комплекс. Годовой объем конструкций и изделий сборного железобетона сократился от 96 до 7 тыс.м³ в год, т. е. в 12,9 раза. Столь резкий спад производства сразу отразился на жизненной среде города. Практически остановилось строительство жилья, резко снизились объемы ремонта внутридомовых сетей водоснабжения и отопления, канализации, наружных инженерных коммуникаций. Практически остановилось внутригородское автомобильное движение и т. п.

Спад производства сопровождался исключительно высоким уровнем безработицы. На конец 1996 г. в Новодвинске численность неработающего населения, зарегистрированного в службе занятости, в сравнении с 1992 г. выросла в 6 раз и составила 2755 человек. Хотя Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат в течение ряда лет искусственно поддерживал сверхвысокую численность персонала, избежать массовой безработицы в городе не удалось из-за развала строительного комплекса, закрытия лесозавода, остановки мебельной фабрики.

Спад производства, массовая безработица и другие причины спровоцировали социальные проблемы в городе. Опрос горожан по репрезентативной выборке показал, что среди семейных проблем основной является низкий денежный доход или его отсутствие. Эту проблему отметили 70 % респондентов. В последующие годы бедность не была преодолена, напротив, стала прогрессировать. Если в июне 1994 г. доля населения, которому денег было недостаточно даже на покупку продуктов питания, и тех, кому денег хватало только на еду, составляла 48,6 %, то в мае 1998 г. – 70,4 % [1]. При этом следует учесть, что средняя заработная плата в г. Новодвинске была выше среднеобластной.

Вторая по значимости проблема – отсутствие нормальных жилищных условий. Каждая четвертая семья в городе нуждается в расширении жилплощади или благоустройстве. Эта проблема особенно обострилась в последнее десятилетие, поскольку жилищное строительство практически остановилось.

За годы реформ обострились и другие проблемы: экологическая, рост преступности, управляемость городом, низкий уровень нравственности и др. [1].

Смена собственника на градообразующем предприятии не изменила установку населения. Третья часть горожан уверена, что судьбу города предопределяет комбинат. Традиционное влияние градообразующего предприятия на жизнь города прочно закреплено в общественном сознании, что отражало реальное положение. Моногорода в Советском Союзе были по сути селитебными зонами крупных предприятий. На балансе таких предприятий, как Норильский металлургический и Магнитогорский металлургический комбинаты, находились не только жилье, магазины, столовые и т. д., но и хлебозаводы, городской транспорт. Все городское хозяйство в подобных случаях создавалось на средства предприятия или профильного мини-

стерства и эксплуатировалось соответствующими подразделениями предприятий. Поселки и моногорода являлись инфраструктурой предприятий.

Смена формы власти, неудачи реформ, обнищание населения, безработица, с одной стороны, породили недоверие и скептицизм по отношению к городским властям, что характерно для всей России; с другой – усилили установку населения на патерналистскую роль в городе градообразующего предприятия.

Реформы в обществе высветили особую, институциональную функцию градообразующих предприятий. Неблагоприятная конъюнктура рынка, спад производства, в целом неустойчивая работа градообразующего предприятия ставят под угрозу социальную безопасность горожан.

Для решения проблем монопрофильных городов в Государственной Думе рассматривается проект закона «О муниципальном образовании на основе промышленного градообразующего предприятия», который предполагалось принять в 1998 г. Этот закон ориентирован на поэтапное решение проблем монопрофильных городов, одной из которых является регулирование взаимоотношений промышленного градообразующего предприятия с органами местного самоуправления. В этом проявляется сущность документа, затрагивающего основу социальной жизни горожан и направленного на ее воспроизводство.

Вместе с тем действующая власть в регионах не совсем заинтересована в принятии данного закона, поскольку область, республика лишатся права монопольного распределения части собираемых налогов, которые пойдут на нужды монопрофильного города.

Хотя государственный интерес в стабилизации социальной обстановки в монопрофильных городах налицо, в проект закона (ст. 1, 2) вносятся определенные ограничения на возможность отнесения городов к муниципальным образованиям на основе промышленного градообразующего предприятия. Так, для отнесения г. Новодвинска к числу подобных поселений требуется соблюдение следующих условий: на промышленном градообразующем предприятии ОАО «Архангельский ЦБК» должно быть занято не менее 30 % от общего числа трудоспособного населения города; на своем балансе предприятие должно иметь объекты инженерной, транспортной, социальной инфраструктуры, обслуживающие не менее 30 % населения города; налоги градообразующего предприятия должны составлять не менее 50 % доходной части бюджета муниципального образования; город не должен иметь связи городским транспортом с другими местностями, где жители Новодвинска могут трудоустроиться.

Проект закона содержит социальные гарантии и компенсации градообразующему предприятию (ст. 9). Реализация этих гарантий способствовала бы решению актуальных проблем города. Поэтому города с градообразующим предприятием заинтересованы в скорейшем принятии данного закона. Встает вопрос, выгодно ли это градообразующему предприятию? Ведь речь идет о содержании объектов социально-бытовой инфраструктуры, ко-

торая в условиях рыночной экономики тяжелым бременем легла на плечи коллективов реформируемых предприятий.

На наш взгляд, институциональная роль предприятий, тем более градообразующих, не только сохраняется, но повышается. И вот почему.

Во-первых, на Архангельском ЦБК занято около 10 тыс. человек. Это означает, что почти в каждой городской семье есть работник градообразующего предприятия. Жизнедеятельность его и жизнь города неразрывно связаны тем, что одни и те же люди выполняют роли работника предприятия и городского жителя.

Во-вторых, город и его структуры обеспечивают питание, воспитание, обучение, лечение, проживание, досуг всех работников комбината. Это означает, что город формирует и поддерживает на надлежащем уровне способность работников к труду – т. е. качество рабочей силы.

В-третьих, будущее градообразующего предприятия связано с молодым поколением. Уйти от участия в воспитании, обучении, социализации личности своего будущего работника комбинат не может, это по меньшей мере недальновидно. Каких школьников, учащихся профтехучилища, студентов техникума мы готовим сегодня, таким персоналом будем располагать завтра.

В-четвертых, значительную часть города составляют пенсионеры – бывшие работники комбината, его ветераны. Именно старшее поколение закладывает в молодых людях основы нравственности, формирует бесценные для работника качества – самостоятельность, трудолюбие, ответственность, активность. Сохранение уважительного, ценностного отношения ветеранов к предприятию – неперемнное условие достойной смены поколений работников. Помощь ветеранам – материальная, психологическая, социальная – означает создание атмосферы доверия к руководству комбината, а взаимно – формирование атмосферы высокой нравственности, что достаточно важно для любого трудового коллектива.

Институциональная роль предприятий диктует необходимость тесного сотрудничества с городской властью. На это указывают сами горожане. До 40 % респондентов полагают, что при условии объединения усилий мэрии и руководителей комбината, других предприятий города можно успешно решать назревшие социальные проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Дрегалo А.А., Ульяновский В.И. Проблемы социальной безопасности городов с экологически вредным градообразующим предприятием // Экология Северной Двины. - Архангельск, 1999. [2]. Путь в XXI век. Стратегические проблемы и перспективы российской экономики. - М., 1999. [3]. Структура общественного воспроизводства. - М., 1983.

Поступила 6 сентября 1999 г.

МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК 630*232

И. Н. ПАВЛОВ

Сибирский государственный технологический университет



Павлов Игорь Николаевич родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 20 печатных работ в области лесных культур, экологии.

АКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ»

В целях максимального приближения обучения к реальным производственным условиям предложен ряд деловых игр по основным видам лесокультурных работ.

To make teaching more realistic in terms of production a set of business games is proposed for the main types of forest culture activities.

Создание лесных культур – длительный и многоэтапный процесс. Ошибки на какой-либо стадии производства и выращивания (неправильный выбор главной породы, способа обработки почвы и т. п.) могут привести к снижению возможной продуктивности, устойчивости и даже гибели культур. Квалификация специалиста по выращиванию лесных культур, во всяком случае на первом этапе, определяется качеством его обучения в высшем учебном заведении. Лучшие результаты достигаются тогда, когда обучение максимально приближено к реальным производственным условиям.

Для закрепления полученных знаний по искусственному лесовосстановлению, развития способности их комплексного использования, активизации творческих способностей обучаемых, а также приближения процесса обучения к производственной деятельности целесообразно проводить дело-

вые игры по основным видам лесокультурных работ (проектирование, инвентаризация, перевод в покрытые лесом земли).

Группу студентов, участвующих в деловой игре, разбивают по следующему принципу. Три или более человек (но обязательно нечетное число) составляют арбитраж. Среди оставшихся выбирают главного лесничего, инженера по лесному хозяйству, лесничего, помощника лесничего, мастеров. При проведении деловых игр по оценке качества культур формируется комиссия лесничества.

Участники деловой игры составляют проект лесных культур на основании обследования лесокультурной площади и данных, предоставляемых преподавателем или членами арбитража. Обследование осуществляется по крупномасштабным аэрофотоснимкам (1:500) и специально составленным планам (1: 100). Использование планов такого масштаба позволяет с высокой степенью достоверности моделировать весь процесс создания лесных культур в учебных целях (рис. 1). Исследуя участки лесокультурного фонда (например вырубку), игровая команда получает информацию о захламленности участка, числе пней, их диаметрах и распределении по площади, количестве, высоте и размещении подроста (высоту подроста устанавливают по диаметру условного знака, 1:100) и т. д. Описание лесорастительного района, почвы, живого напочвенного покрова с указанием его мощности, заселенности почвы вредными насекомыми и другие данные, которые можно нанести на план, предоставляют члены арбитража или преподаватель. На основе аэрофотоснимков отводится участок и составляется план на бланке проекта лесных культур в масштабе 1:10 000 с привязкой к постоянным ориентирам.

Необходимость создания лесных культур (сплошные, частичные) или иного способа лесовосстановления устанавливают после сравнения данных о количестве жизнеспособного подроста с данными, приведенными

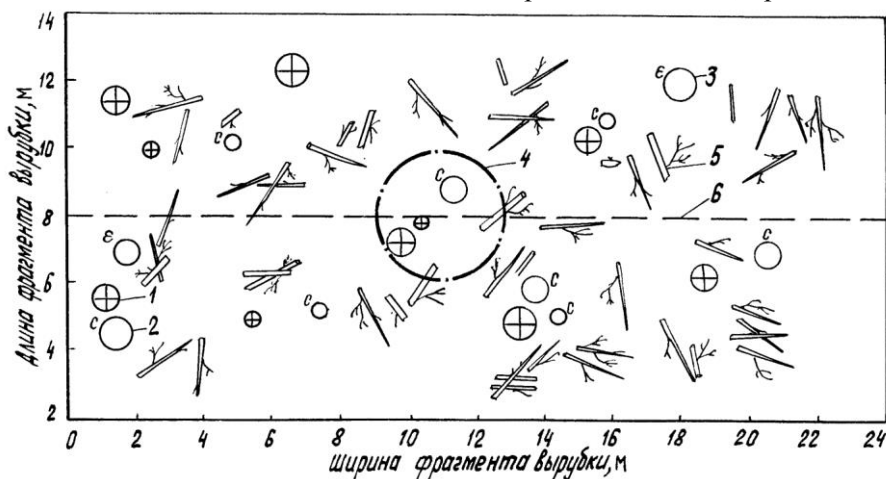


Рис. 1. План вырубki (фрагмент): 1 – пень; 2, 3 – подрост (сосна обыкновенная, ель); 4 – пробная площадка; 5 – порубочные остатки; 6 – ходовая линия

в региональных шкалах естественного возобновления. По результатам описания лесокультурной площади выбирают метод, способ закладки и тип культур, число и кратность уходов по годам. На плане отмечают все виды работ, которые реально выполняют на производстве (установка столбов, закладка временных пробных площадок, напашка борозд и т. д.). Выполненную работу и заполненную документацию оценивают арбитраж совместно с преподавателем. Представитель команды должен аргументированно защитить предлагаемый проект. При отсутствии единства игровая команда имеет право разделиться и отстаивать свои проекты. По окончании занятия студенты распределяют роли на следующую деловую игру с учетом соответствия занимаемой должности в первой игре.

Инвентаризация, перевод лесных культур в покрытые лесом земли и в категорию хозяйственно ценных древесных насаждений являются важными лесокультурными мероприятиями, при проведении которых требуются не только знания, но и опыт. При выполнении работ необходимо не только обследовать лесные культуры, но и заполнить нужную документацию. Для инвентаризации используется план участка из предыдущей игры с нанесенными посадочными (посевными) местами. Предварительно члены арбитража совместно с преподавателем убирают часть посадочных мест (моделируют гибель саженцев) адекватно выбранной технологии создания и выращивания. По желанию участников деловой игры возможна техническая приемка. Результаты инвентаризации лесных культур рассматриваются, как правило, на производственно-техническом совещании. Деловая игра завершается аналогичным совещанием на уровне лесхоза (анализируется качество лесных культур, приживаемость сравнивается с нормативной и т. д.).

Деловая игра по переводу лесных культур в покрытые лесом земли проводится также на основе плана участка лесных культур, выполненного в масштабе 1:100 или 1:200 (рис.2). Для большей заинтересованности

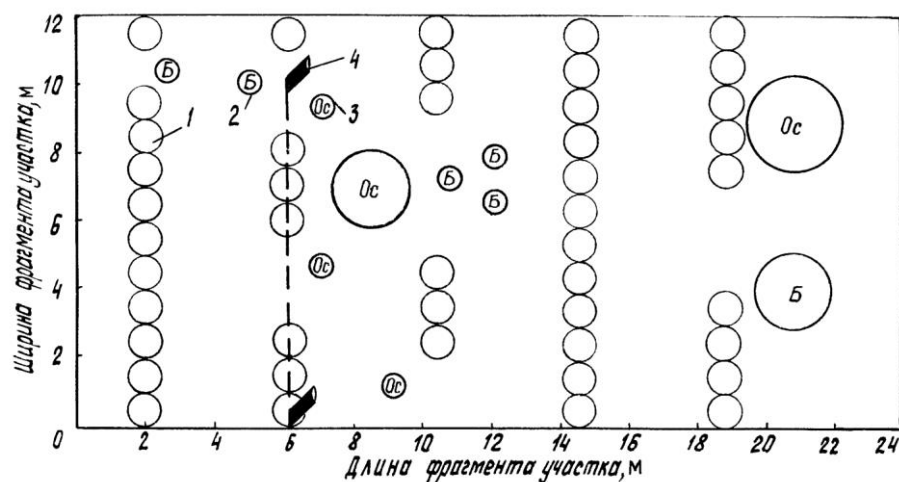


Рис. 2. Фрагмент участка лесных культур сосны обыкновенной: 1 – жизнеспособное растение сосны обыкновенной; 2, 3 – естественное возобновление березы повислой и осины; 4 – учетная площадка

студентов представленный план должен отражать состояние культур в соответствии с разработанным проектом при проведении первой деловой игры. Всю необходимую информацию (ширина междурядий, количество и высота культивируемых жизнеспособных деревьев, высота деревьев и кустарников нежелательных пород, их размещение) игровая команда получает, анализируя план участка лесных культур. Высоту деревьев и кустарников устанавливают по диаметру условного знака, выполненного в масштабе. Качество лесных культур оценивают согласно действующим нормативным документам. Деловая игра заканчивается общим анализом лесокультурной деятельности. С отчетом выступает комиссия лесничества. При этом особое внимание необходимо уделить тому, насколько успешно выбрана технология создания лесных культур. При низком качестве культур обязательны предложения по ее изменению.

Предлагаемый здесь комплекс деловых игр апробирован при преподавании курса «Лесные культуры» в Красноярской государственной технологической академии и Институте повышения квалификации руководящих работников лесного хозяйства Сибири и Дальнего Востока (г. Дивногорск).

Поступила 17 ноября 1995 г.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 674.093:658

А.Д. ГОЛЯКОВ, И.С. БЕКРЯШЕВА, Е.В. РУДАКОВ

Архангельский государственный технический университет



Голяков Александр Дмитриевич родился в 1939 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных трудов в области механической технологии древесины и изучения показателей механических свойств пилопродукции.

**К ВОПРОСУ УТОЧНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ
ОБРЕЗНЫХ СТАНКОВ**

Приведены поправочные коэффициенты фактического выхода полуфабрикатов пиломатериалов при рамной распиловке бревен хвойных пород.

The correction factors for the actual output of semifinished items of sawn timber are given for frame sawing of coniferous logs.

Производительность обрезных станков, работающих в лесопильных потоках, как правило, недоиспользуется*. Для повышения коэффициентов загрузки станков необходимо технологические схемы участков обрезки привести в соответствие с применяемым бревнопильным оборудованием и производственной мощностью лесопильных цехов, а также повысить точность технологических расчетов при проектировании.

Мы исследовали экспериментальные зависимости, которые позволяют поднять точность проектных расчетов участков обрезки досок.

Условия эксперимента: рамная распиловка бревен хвойных пород диаметрами 14...36 см по оптимальным брусоразвальным поставам группами один-два четных диаметра на постав. Деловыми считали горбыли,

* Голяков А.Д., Данилова Г.Н. Исследование загрузки обрезных станков // Лесн. журн. – 1995. - № 2 – 3. – С. 200 – 202. – (Изв. высш. учеб. заведений).

минующие люки для отходов, расположенные непосредственно за рамами. Горбыли должны иметь участки толщиной более 16 мм и длиной не менее 1 м.

В результате варьирования диаметров, формы бревен, а также различных производственных условий фактический выход полуфабрикатов (тонких досок и деловых горбылей) из бревнопильных станков отличается от планируемого как по числу, так и по размерам. Вместо части тонких досок могут получаться горбыли, а вместо деловых горбылей – «горбыльные срезки». Горбыльные срезки обычно удаляются из потока полуфабрикатов и на участок обрезки не поступают. Деловые горбыли в зависимости от технологической схемы лесопильных потоков могут проходить через участок обрезки или обрабатываться параллельным полупотоком.

Поскольку между участками распиловки бревен и обрезки полуфабрикатов всегда есть место для накопления и выравнивания потока последних, то расчеты участков обрезки необходимо проводить по вероятному среднему выходу.

Коэффициент штучного выхода полуфабрикатов

$$K_i = \frac{Z_{\text{ф.ср}}}{Z_{\text{н}}},$$

где $Z_{\text{н}}$ и $Z_{\text{ф.ср}}$ – соответственно число полуфабрикатов по поставу (номинальное) и среднее фактически выпиливается из бревна, шт.

По нашим наблюдениям коэффициент выхода тонких досок практически не зависит от номинального диаметра распиливаемых бревен и в расчетах при распиловке бревен одного четного диаметра одним поставом может быть принят равным 0,72...0,82, при распиловке двух четных диаметров одним поставом – 0,60 ... 0,68.

Экспериментальная зависимость коэффициента выхода деловых горбылей $K_{\text{г}}$ от диаметра распиливаемых бревен d представлена на рис. 1. Наибольшее значение $K_{\text{г}} = 0,65$ наблюдается при распиловке бревен диаметрами 24...30 см.

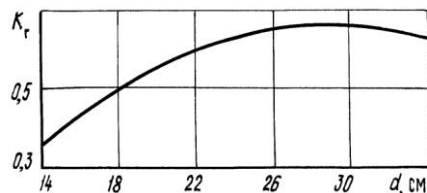


Рис. 1. Зависимость относительного штучного выхода горбылей от диаметра распиливаемых бревен

На рис. 2 представлена связь между расчетной длиной полуфабрикатов, перемещающихся в потоке после участка распиловки (без торцовки) и попадающих на участок обрезки, и диаметром распиливаемых бревен. Зависимость средней длины полуфабрикатов $l_{\text{ф.ср}}$ от длины распиливаемого бревна l отражает коэффициент K_l :

$$K_l = \frac{l_{\text{ф.ср}}}{l}.$$

Продолжительность вспомогательных операций $t_{\text{в}}$, неперекрываемая продолжительностью обрезки (оценка и базирование полуфабриката,

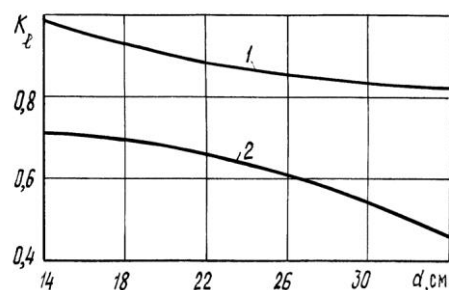


Рис. 2. Изменение относительной длины полуфабрикатов при рапиловке одним поставом бревен двух четных диаметров: 1 – доски, 2 – горбыли

поднастройка постава пил), зависит от множества объективных и субъективных факторов. На основании результатов наблюдений можно сделать следующие ориентировочные выводы.

1) При выполнении вспомогательных операций вручную среднее значение t_b лежит в пределах 1,9 ... 4,7 с, увеличиваясь с ростом диаметра распиливаемого сырья в соответствии с увеличением единичной и общей массы полуфабрикатов, поступающих на участок; при пропуске горбылей и тонких обрезных досок через обрезной станок транзитом продолжительность вспомогательных операций соизмерима с t_b для необрезных досок; обрезных досок может поступать на участок обрезки 4 ... 16 % от общего числа тонких досок (выпиливаются из зоны пласти бруса на рамах второго ряда).

2) При выполнении вспомогательных операций с помощью механизмов (устройство поштучной выдачи, центрирующий манипулятор для обрезных станков с симметричным раздвижением пил) t_b ограничивается быстродействием механизмов и разрешающей способностью оператора и находится в тех же пределах, что и при ручном базировании.

УДК 674.05

Г.А. ШЕПЕЛЬ, И.Л. ФЛЕЙШМАН, А.А. ШУМИЛОВ

Архангельский государственный технический университет



Шепель Георгий Александрович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Ленинградское высшее инженерное морское училище, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент Академии электротехнических наук Российской Федерации. Имеет более 100 печатных трудов в области электротехнологии и электрификации.

Шумилов Александр Анатольевич родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области теоретической электротехники и электроснабжения промышленных предприятий.



ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СМЕРЗАНИЯ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ

Рассмотрены вопросы конструирования, расчета и исследования рабочих параметров индукционной установки для предотвращения смерзания каменного угля в бункере системы топливоподачи электростанций.

The questions of designing, calculating and investigating the working conditions of the induction plant have been analysed with the aim of preventing coal freezing in the fuel supply system of power stations.

Одной из серьезных проблем, возникающих в зимнее время при работе систем топливоподачи угольных электростанций, является смерзание каменного угля в бункерах и при его транспортировке.

На ТЭЦ-1 Архангельского целлюлозно-бумажного комбината (АЦБК) такое узкое место – бункера лотковых питателей, выполняющие функцию подпитки топливного тракта.

Обзор существующих способов борьбы со смерзанием сыпучих материалов в бункерах показал целесообразность их низкотемпературного индукционного нагрева. Детальный анализ физико-технических основ этого процесса выявил возможность создания установки электрофизического действия, в которой сочетается индукционный нагрев ферромагнитной стали и электродинамическое воздействие. Основным элементом такой установки служит плоский индуктор, конструирование, расчет и исследование параметров которого рассмотрено в настоящей работе.

Мощность индуктора, необходимая для оттаивания угля, включает следующее:

1) мощность, расходуемая на нагрев и плавление льда, который покрывает стенки бункера:

$$P_{\text{л}} = \frac{[C_{\text{л}}(t_2 - t_1) + A]m_{\text{л}}}{\tau},$$

где $C_{\text{л}}$ – удельная теплоемкость льда;

A – удельная теплота плавления льда;

$m_{\text{л}}$ – масса намерзшего льда;

t_1 – начальная температура окружающей среды (принята $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$);

t_2 – конечная температура нагрева ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$);

τ – время нагрева, $\tau = 300\text{ с}$;

2) мощность, расходуемая на нагрев от t_1 до t_2 стального листа массой $m_{\text{ст}}$,

$$P_{\text{ст}} = \frac{C_{\text{ст}}(t_2 - t_1)m_{\text{ст}}}{\tau},$$

где $C_{\text{ст}}$ – удельная теплоемкость стали;

3) конвективные потери с поверхности листа

$$P_{\text{конв}} = \alpha_{\text{конв}}(t_2 - t_1),$$

где α – коэффициент теплопередачи конвекцией, для рассматриваемого случая

$$\alpha_{\text{конв}} = 0,328(t_2 - t_1);$$

4) потери излучением

$$P_{\text{изл}} = C_1 \left[\left(\frac{t_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_1}{100} \right)^4 \right],$$

где C_1 – коэффициент лучеиспускания стали;

5) тепловые потери за счет теплопроводности воздуха, смерзшегося угля и металлоконструкции учитывает коэффициент неучтенных потерь $K_{\text{н.п.}} = 2,0$ [1].

Таким образом, общие тепловые потери составят

$$P_{\text{т.п}} = K_{\text{н.п.}}(P_{\text{конв}} + P_{\text{изл}});$$

Мощность индуктора, необходимая для оттаивания угля,

$$P_{02} = P_{\text{ст}} + P_{\text{л}} + P_{\text{т.п.}}$$

Для принятых условий получим $P_{02} = 7,1868\text{ кВт}$.

Тепловой КПД

$$\eta_{\text{т}} = \frac{P_{\text{ст}} + P_{\text{л}}}{P_{02}},$$

что составит 90,5 %.

Размеры индуктора, расположенного в межреберном окне бункера $((0,65 \times 0,65)\text{ м}^2)$, определены по методикам работ [1, 2]. Из конструктивных соображений его наружный диаметр $d_{\text{н}}$ принят равным 0,6 м, внутренний $d_{\text{в}} - 0,1\text{ м}$.

Скорректированная удельная поверхностная мощность с учетом того, что индуктор не полностью перекрывает межреберное окно, $P_{02}^1 = 11,05\text{ кВт/м}^2$.

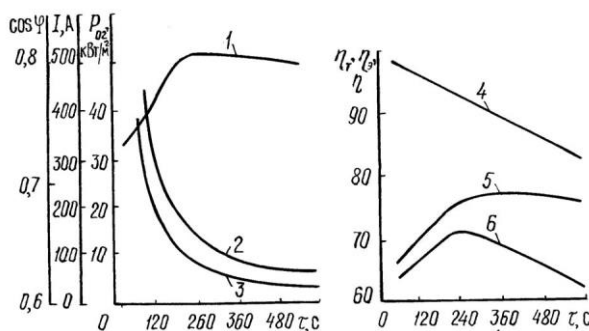
Далее были определены активная мощность в загрузке, глубина проникновения электромагнитной волны в стенку бункера, напряженность магнитного поля на ее поверхности и в индукторе, реактивная мощность в индукторе, загрузке и зазоре, активная и реактивная мощность системы индук-

тор – заготовка. Электрический КПД равен 76,9 %, коэффициент мощности – 0,805, ток в индукторе – 67,1 А, число витков индуктора – 73. При проходящем по магнитопроводу магнитном потоке $\Phi = 2,702 \cdot 10^3$ Вб и магнитной индукции $B = 0,8$ Тл сечение магнитопровода составило $3,377 \cdot 10^{-3}$ м². При 2-х пакетах магнитопровода сечение пакета имеет прямоугольную форму со сторонами $d_n = 2$ см, $b_n = 10$ см, длина пакета принята равной ширине кольца индуктора.

Автоматизированный расчет основных параметров индукционной катушки был проведен по разработанной программе на ПЭВМ. С учетом параметров работы бункера, его загрузки и климатических условий за исходные данные для решения задачи были приняты напряжение на индукционной катушке и время, необходимое для оттаивания угля. Напряжение на катушке принимали 73, 110 и 220 В, что соответствует трем, двум и одной катушке, включенным в фазу. Продолжительность нагрева задавали $\tau = 60 \dots 510$ с при шаге 30 с.

В соответствии с этими данными было проведено 48 расчетов. Изменение основных характеристик индуктора во времени отражено на рисунке.

Анализ приведенных графиков и результатов расчета показывает, что $\cos \varphi$ вначале быстро возрастает от 0,72 до 0,80 при $\tau = 240$ с и затем практически не изменяется. Мощность P_{02}^1 и ток I к концу временного интервала снижаются соответственно примерно до 10 кВт/м² и 50 А. Тепловой КПД монотонно уменьшается с увеличением τ , электрический КПД возрастает до 77 % за 300 с, далее остается практически неизменным. Общий КПД установки имеет максимум (70 %) при $\tau \approx 180$ с. Для напряжения на индукторе 110 и 220 В зависимости аналогичны.



Изменение коэффициента мощности $\cos \varphi$ (1), удельной поверхностной мощности P_{02} (2), тока индуктора I (3), теплового η_t (4), электрического η_e (5) и полного η (6) КПД в зависимости от времени τ (напряжение на индукторе 73 В)

Полученные результаты позволили выбрать такую силу тока, которая обеспечит таяние льда в конкретных условиях. С помощью найденных данных определены основные параметры индукторов для режима, соответствующего максимальному КПД установки ($\tau = 200$ с):

Напряжение, В	73	110	220
Ток, А	100	65	33
Число витков	62	93	187

Индукционная нагревательная установка это комплект из 9 индукторов. Каждый индуктор представляет собой две параллельно соединенные плоские катушки общим сечением $2 \times 24 \text{ мм}^2$. Катушки изготовлены из провода марки ПБД сечением $2 \times 12 \text{ мм}^2$. Индукторы снабжены двумя пакетами магнитопроводов, собранных из листов электротехнической стали Э330.

Электроснабжение установки осуществляли от цеховой электрической сети $3 \times 380 \text{ В}$. Максимальная токовая нагрузка была принята 150 А. При включении в фазу трех индукторов и соединении фаз по схеме «звезда» напряжение на одном индукторе составляло 75 В. Полная расчетная максимальная мощность установки – 150 кВА, активная мощность – 36 кВт. Для компенсации реактивной мощности выбрана комплектная конденсаторная батарея КБН-0,38-100-5043.

Установка смонтирована на бункере 1-Б лотковых питателей топливно-транспортного цеха ТЭЦ-1 АЦБК. Она прошла натурные и эксплуатационные испытания и показала себя надежно работающей в различных технологических режимах и климатических условиях.

В тяжелых режимах эксплуатации (10 мин в течение каждого часа при температуре окружающего воздуха -37°C) потребляемая за сутки электроэнергия составила около 200 кВт·ч. В результате замены тяжелого ручного труда достигается существенная экономия по фонду заработной платы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали.- М.: Энергоатомиздат, 1988. - 198 с. [2]. Шепель Г.А. Определение параметров процесса индукционного нагрева ферромагнитных сталей // Лесн. журн. - 1993. -№ 4. - С.112 - 119. - (Изв. высш. учеб. заведений).

УДК 630*867.5

В.П. ОРЛОВ, Ю.Л. ЮРЬЕВ

Уральская государственная лесотехническая академия



Орлов Владимир Петрович родился в 1937 г., окончил в 1959 г. Уральский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии Уральской государственной лесотехнической академии. Область научных интересов – термохимическая переработка древесины, включая сушку и пиролиз.

Юрьев Юрий Леонидович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой химической технологии древесины Уральской государственной лесотехнической академии. Область научных интересов – термохимическая переработка древесины, производство древесного угля и активных древесных углей.



К ВОПРОСУ О СЖИГАНИИ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ ПРИ ПИРОЛИЗЕ ДРЕВЕСИНЫ

Составлена компьютерная программа расчета и контроля процесса сжигания парогазовой смеси при термохимической переработке древесины.

The computer programme is drawn up for calculating and monitoring the process of burning steam-and-gas mixture at thermochemical wood processing.

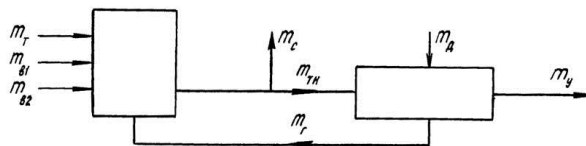
Термохимическая переработка древесины и ее отходов непосредственно на местах заготовки или механической обработки не может быть решена без оценки вариантов утилизации парогазовой смеси (ПГС), образующейся в процессе пиролиза.

Имеются три варианта утилизации:

- конденсация ПГС для выделения жидких продуктов пиролиза и сжигание неконденсируемых газов в топке (традиционная схема);
- сжигание ПГС без предварительной конденсации паров;
- сжигание ПГС совместно с традиционным топливом (мазут, природный газ и т. д.).

Во всех вариантах тепло от сжигания ПГС направляется для покрытия теплового дефицита сушки и пиролиза древесины.

Основными вопросами, требующими решения при реализации этих вариантов, являются следующие: оценка теплотворной способности ПГС; равновесный состав топочных газов от сжигания ПГС; характер теплового баланса при сжигании ПГС; объемы сброса теплоносителя (в случае из-



Расчетная схема утилизации ПГС (m_d , m_{th} , m_y , m_r , m_{b1} , m_{b2} , m_c , m_r – соответственно количество исходной древесины, подводимого в реторту теплоносителя, древесного угля, ПГС, воздуха на сжигание ПГС и штатного топлива, сбрасываемого теплоносителя, топлива)

бытка тепла от сжигания ПГС) или дополнительный расход топлива на подсветку (в случае дефицита тепла в топке).

Расчет производили на 1 кг исходной древесины ($m_d = 1$ кг), влажность которой изменялась в пределах 5 ... 20 %. Температура пиролиза (600 °С) и температура в топке (не ниже 800 °С) приняты из опыта работы Ашинского пиролизно-химического завода, состав теплоносителя и газов пиролиза древесины для первого цикла расчета – по литературным данным. Теплотворная способность паров органических веществ, содержащихся в ПГС, составляла 15 000 кДж/кг и была рассчитана из элементного состава (летучие вещества, кислоты, растворимая и отстойная смолы).

Программа расчета на языке Turbo-Pascal включала несколько этапов. Сначала составляли материальный баланс реторты. Количество теплоносителя, подаваемого в реторту, принимали из расчета 700 кДж на 1 кг абс. сухой древесины. Теплоемкость теплоносителя назначали как постоянную величину исходя из его состава. После уточнения состава газов пиролиза рассчитывали их теплотворную способность и характеристики процесса горения в топке, в частности температуру. Если она была ниже минимально необходимой, подключался второй блок программы, где с учетом полученной температуры горения ПГС определялся расход дополнительного топлива для подсветки. По требованию материального баланса определяли количество сбрасываемого теплоносителя m_c . Оставшееся количество теплоносителя сравнивали с нормой его расхода исходя из прихода тепла в реторту. Если эта разность превышала 10 ... 15 % от общего количества теплоносителя, весь цикл расчета повторялся до тех пор, пока не достигался равновесный состав газов на входе в реторту.

В результате расчетов получено следующее.

1. Вследствие низкой теплотворной способности ПГС (не выше 4 000 кДж/кг) температура в топке не превышала 450 ... 590 °С, причем содержание горючих компонентов в ПГС составляло не более 15 %. Сжигание ПГС с такой температурой горения возможно только при подсветке дополнительным топливом или применении специальных катализаторов.

2. При расходе дополнительного топлива (мазута М-40), равном 0,074 кг/кг абс. сухой древесины, в топке обеспечивалось устойчивое горение ПГС.

3. Общее количество топочных газов при сжигании ПГС составляло 5,43 кг, количество сбрасываемого теплоносителя по материальному балансу – 4,60 кг, по тепловому балансу – 4,66 кг. Таким образом, тепловой баланс реторты закрыт.

4. После 10 итераций состав топочного газа уже не изменялся. Равновесный состав, %: N_2 – 69,07; CO_2 – 20,27; H_2O – 10,03; O_2 – 0,51.

Наличие равновесного состава говорит о том, что накопления водяных паров не происходит, а равновесное содержание кислорода в теплоносителе ниже нормы (менее 2 %).

Приведенные результаты свидетельствуют о перспективности дожига образующейся при пиролизе ПГС даже в выносной топке, хотя с энергетической точки зрения это далеко не самый лучший вариант. При этом решаются экологические проблемы, связанные с выбросом большого количества вредных веществ в атмосферу. К тому же сбрасываемый на стадии пиролиза излишек теплоносителя, несмотря на его повышенное влагосодержание, может быть использован для подсушки древесины.

УДК 536.253:66.041

А.Н. ОРЕХОВ, Э.Н. САБУРОВ

Архангельский государственный технический университет



Орехов Алексей Николаевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных трудов в области исследования аэродинамики и конвективного теплообмена в циклонных нагревательных устройствах.



Сабуров Эдуард Николаевич родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, проректор по научной работе Архангельского государственного технического университета, академик Российской и Международной инженерных академий, Российской академии естественных наук, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 300 публикаций в области аэродинамики и конвективного теплообмена в сильно закрученных потоках, их использования для интенсификации процессов тепломассообмена в различных технологических аппаратах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ НА БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА ЦИКЛОННЫХ КАМЕР С ТОРЦЕВЫМ ВЫВОДОМ ГАЗОВ

Получены уравнения, позволяющие рассчитывать локальные и средние значения коэффициентов теплоотдачи на боковой поверхности рабочего объема циклонной камеры с торцевым выводом газов.

The equations have been generated, allowing to calculate local and mean values of release coefficients of the lateral face of the displacement volume of vortex chamber with end gas emission.

Циклонно-вихревые камеры нашли широкое промышленное применение (в том числе и на предприятиях химико-лесного комплекса) в качестве современных нагревательных и топочных устройств, сепараторов-теплоутилизаторов, энерготехнологических установок, теплообменных и газогорелочных устройств и т.д. [2, 5]. Определяется это, прежде всего, их высокими технико-экономическими характеристиками, конструктивной простотой, а также высокой интенсивностью конвективного тепло-массообмена на боковой поверхности рабочего объема – в основной зоне организации рабочих процессов. Последний фактор определяет актуальность работ, посвященных экспериментальным и теоретическим исследованиям теплоотдачи на боковой поверхности рабочего объема циклонных камер [2, 3, 5–9].

В обобщенном виде схема течения у боковой поверхности циклонной камеры, предложенная Э.Н. Сабуровым и нашедшая применение в ряде работ [2–5], изображена на рис. 1. Течение представлено в виде струйного потока, распространяющегося около криволинейной стенки с постоянным радиусом продольной кривизны R . Координата x направлена вдоль поверхности камеры по траектории движения потока, а y – нормально к ней. Начало координат совмещено со срезом входного шлица. Расчетному предшествует нерасчетный входной участок длиной $x_{вх}$. На этом участке в основном сосредоточено влияние на течение особенностей распределения скорости потока в шлице и взаимодействия

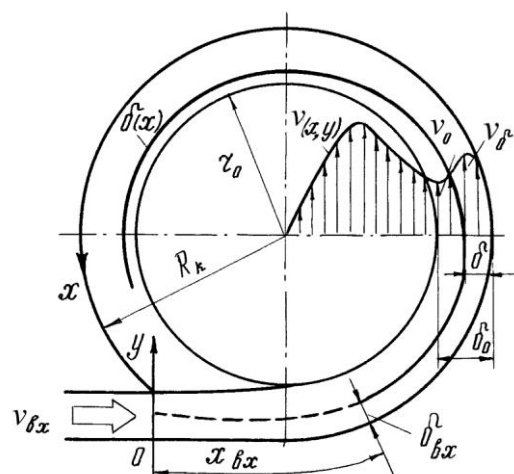


Рис. 1. Схема распространения струи у боковой поверхности циклонной камеры

входящей в камеру струи с уже вращающимися в ней газами.

В работе [1] установлено, что в пристенном пограничном слое на боковой поверхности циклонной камеры распределение полной скорости потока v может быть аппроксимировано формулой

$$\frac{v}{v_{\delta}} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^{1/4}, \quad (1)$$

где v_{δ} – полная скорость потока на границе пристенного пограничного слоя;

δ – толщина пристенного пограничного слоя.

Установлено также, что коэффициент сопротивления трения на боковой поверхности рабочего объема циклонной камеры $c_f = 2\tau_w / \rho v_\delta^2$ (τ_w – касательное напряжение трения на боковой поверхности камеры, ρ – плотность потока) зависит от параметра $m_0 = v_0 / v_{\text{вх}}$ (v_0 – полная скорость на границе осесимметричного ядра потока, $v_{\text{вх}}$ – среднерасходная скорость потока во входных шлицах), являющегося аналогом известного параметра спутности или относительной скорости спутного потока, относительной площади входа потока в камеру $\bar{f}_{\text{вх}} = 4f_{\text{вх}} / \pi D_k^2$ (D_k – диаметр камеры) и числа Рейнольдса $\text{Re}_\delta = v_\delta \delta / \nu$ (ν – кинематическая вязкость потока):

при $m_0 \leq 1$

$$c_f = 0,018 \text{Re}_\delta^{-2/15} m_0^{-0,304} ; \quad (2)$$

при $m_0 > 1$

$$c_f = 0,021 \text{Re}_\delta^{-2/15} m_0^{-1,91} . \quad (3)$$

В работе [1] получены также зависимости для определения $\bar{v}_\delta$ и $\bar{\delta}$, которые могут быть использованы для расчета теплоотдачи на боковой поверхности циклонных камер с торцевым выводом газов.

Рассмотрим общий случай теплообмена с начальным необогреваемым участком. Безразмерная длина необогреваемого участка в пределах расчетной зоны течения $\bar{x} = x_{\text{н.у}} / r_0$, где r_0 – радиус ядра потока. Как и раньше [3, 4], полагаем физические характеристики среды и ее температуру на границе пристенного пограничного слоя постоянными. Поскольку скорость потока умеренная, тепловыделением за счет трения пренебрегаем. При принятых предположениях интегральное соотношение энергии может быть записано следующим образом:

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_T} \nu (T_w - T) dy = \frac{q_w}{\rho c_p} , \quad (4)$$

где δ_T – толщина теплового пограничного слоя;

T_w – температура поверхности теплообмена (боковой поверхности камеры);

T – температура среды;

q_w – плотность теплового потока на стенке;

ρ, c_p – плотность и теплоемкость среды при постоянном давлении.

Предположим, что профиль избыточной температуры $\vartheta = T - T_w$ по аналогии с профилем скорости (1) в пределах расчетного участка описывается уравнением

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_\delta} = \left(\frac{y}{\delta_T} \right)^{1/4} , \quad (5)$$

где $\vartheta_\delta = T_\delta - T_w$ – избыточная температура среды на границе теплового пограничного слоя.

Распределения касательного напряжения трения и плотности теплового потока в турбулентном пограничном слое определяем по общепринятым формулам [9], которые после соответствующих преобразований и подстановки степенных распределений (1) и (5) дадут уравнение

$$\frac{q}{\tau} = \frac{c_p}{Pr_{TB}} \frac{\vartheta_\delta}{v_\delta} \left(\frac{\delta_T}{\delta} \right)^{-1/4}, \quad (6)$$

где Pr_{TB} – турбулентное число Прандтля.

Считаем, что в пределах тонкого, по сравнению с радиусом кривизны поверхности теплоотдачи, пограничного слоя $q \approx q_w$, $\tau \approx \tau_w$. Перейдя на безразмерные переменные, запишем уравнение (6) следующим образом:

$$St = \frac{c_f}{2 Pr_{TB}} \left(\frac{\delta_T}{\delta} \right)^{-1/4}, \quad (7)$$

где St – число Стантона, $St = q_w / (\rho c_p \vartheta_\delta v_\delta)$.

Подставим в уравнение (4) выражения для скорости (1), температуры (5) и, используя связь (7), проделаем указанные в нем операции:

$$\frac{15d\tilde{\delta}}{16d\bar{x}} + \frac{\tilde{\delta}}{Re_\delta} \frac{dRe_\delta}{d\bar{x}} = \frac{4}{7} c_f \frac{1}{Pr_{TB} \bar{\delta}}, \quad (8)$$

где $\tilde{\delta} = (\delta_T / \delta)^{8/7}$, $\bar{x} = x / r_0$ – безразмерная продольная координата.

Для решения (8) воспользуемся полученными в работе [1] формулами для безразмерной толщины пристенного пограничного слоя, $\bar{\delta} = \delta / r_0$, коэффициента сопротивления трения c_f и относительной скорости на границе пристенного пограничного слоя $\bar{v}_\delta = v_\delta / v_0$. После подстановки их в (8) и выполнения необходимых преобразований получим линейные дифференциальные уравнения:

при $m_0 \leq 1$

$$\begin{aligned} & \frac{15d\tilde{\delta}}{16d\bar{x}} + \left(0,965 - \frac{0,83}{\bar{R}} \right) \frac{\tilde{\delta}}{\bar{x}} = \\ & = 0,26m_0^{-0,126} \bar{R}^{-0,172} \bar{f}_{BK}^{-0,0081} \bar{x}^{-(0,923-0,5/\bar{R})} Pr_{TB}^{-1} Re_0^{-0,078}, \end{aligned} \quad (9)$$

при $m_0 > 1$

$$\begin{aligned} & \frac{15d\tilde{\delta}}{16d\bar{x}} + \left(0,89 - \frac{0,76}{\bar{R}} \right) \frac{\tilde{\delta}}{\bar{x}} = \\ & = 0,226m_0^{-1,113} \bar{R}^{-0,152} \bar{f}_{BK}^{-0,014} \bar{x}^{-(0,843-0,454/\bar{R})} Pr_{TB}^{-1} Re_0^{-0,0735}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\bar{R} = R / r_0$ – радиус кривизны траектории движения потока;

Re_0 – число Рейнольдса, $Re_0 = v_0 r_0 / \nu$.

Решаем (9) и (10) относительно $\tilde{\delta}$:

при $m_0 \leq 1$

$$\tilde{\delta} = 0,277 m_0^{-0,126} \bar{R}^{-0,172} (1,106 - 0,385 / \bar{R})^{-1} \bar{f}_{\text{вх}}^{-0,0081} \times \\ \times \bar{x}^{(0,077+0,5/\bar{R})} \left[1 - \left(\frac{x_{\text{н.у}}}{x} \right)^{(1,106-0,385/\bar{R})} \right] \text{Pr}_{\text{ТБ}}^{-1} \text{Re}_0^{-0,078}, \quad (11)$$

при $m_0 > 1$

$$\tilde{\delta} = 0,241 m_0^{-1,113} \bar{R}^{-0,152} (1,11 - 0,36 / \bar{R})^{-1} \bar{f}_{\text{вх}}^{-0,014} \times \\ \times \bar{x}^{(0,16+0,45/\bar{R})} \left[1 - \left(\frac{x_{\text{н.у}}}{x} \right)^{(1,11-0,36/\bar{R})} \right] \text{Pr}_{\text{ТБ}}^{-1} \text{Re}_0^{-0,0735}. \quad (12)$$

Локальное число Нуссельта представим в виде

$$\text{Nu}_0 = \text{St Pr Re}_0 \bar{v}_\delta, \quad (13)$$

где Nu_0 – местное число Нуссельта, $\text{Nu}_0 = \alpha r_0 / \lambda$;

α – локальный коэффициент теплоотдачи на поверхности стенки;

λ – коэффициент теплопроводности;

Pr – число Прандтля.

Используя найденные значения $\tilde{\delta}$, уравнения (7) и (13), а также формулу для $\bar{v}_\delta$ [1], получим расчетные зависимости для определения локального коэффициента теплоотдачи по траектории движения потока:

при $m_0 \leq 1$

$$\text{Nu}_0 = 0,0232 (1,106 - 0,385 / \bar{R})^{1/16} \bar{R}^{-0,3} m_0^{-0,551} \bar{f}_{\text{вх}}^{0,094} \bar{x}^{(0,037-0,335/\bar{R})} \times \\ \times \left[1 - \left(\frac{x_{\text{н.у}}}{x} \right)^{(1,106-0,385/\bar{R})} \right]^{-1/16} \text{Pr Pr}_{\text{ТБ}}^{-0,94} \text{Re}_0^{0,892}, \quad (14)$$

при $m_0 > 1$

$$\text{Nu}_0 = 0,0345 (1,11 - 0,36 / \bar{R})^{1/16} \bar{R}^{-0,385} m_0^{-1,906} \bar{f}_{\text{вх}}^{0,167} \bar{x}^{(0,0345-0,338/\bar{R})} \times \\ \times \left[1 - \left(\frac{x_{\text{н.у}}}{x} \right)^{(1,11-0,36/\bar{R})} \right]^{-1/16} \text{Pr Pr}_{\text{ТБ}}^{-0,94} \text{Re}_0^{0,887*}. \quad (15)$$

Для того, чтобы уравнения (14) и (15) наилучшим образом описывали экспериментальные данные, скорректируем их, домножив на поправочные коэффициенты k и $k_{\text{вых}}$, учитывающие неучтенные при решении аэродинамической задачи [1] влияния параметров $\bar{L}_\kappa$ ($\bar{L}_\kappa$ – относительная длина циклонной камеры, $\bar{L}_\kappa = L_\kappa / D_\kappa$), $\bar{f}_{\text{вх}}$ и $\bar{d}_{\text{вых}}$ ($\bar{d}_{\text{вых}}$ – относительный диаметр выходного отверстия камеры, $\bar{d}_{\text{вых}} = d_{\text{вых}} / D_\kappa$) на

*В выводе уравнений (14) и (15) принимала участие инж. Т.Г. Загоскина.

особенности формирования потока в шлицах и на нерасчетном входном участке:

$$k = 1,08 + 4,29 \bar{f}_{\text{BX}} - 0,23 \bar{L}_{\text{K}}; \quad (16)$$

$$k_{\text{ВЫХ}} = -1,85 |\bar{d}_{\text{ВЫХ}} - 0,43|^{1,28} + 1,02. \quad (17)$$

Величина поправочных коэффициентов k и $k_{\text{ВЫХ}}$ для большинства имеющих практическое значение вариантов соотношений геометрических параметров циклонных камер составляет 0,88...1,15 и лишь при крайних из рассмотренных значений $\bar{d}_{\text{ВЫХ}} = 0,7$, $\bar{f}_{\text{BX}} = 0,0202$ и $0,1014$ превышает указанные пределы, достигая, соответственно, 0,82; 0,79 и 1,23.

Переходя к критериям $\text{Nu} = \alpha D_{\text{K}} / \lambda$, $\text{Re}_{\text{BX}} = v_{\text{BX}} D_{\text{K}} / \nu$ и принимая $\bar{x} = x / h_{\text{ВХ}}$, $\bar{R} \approx 1 / r_0$ ($\bar{r} = r_0 / R_{\text{K}}$), для воздуха $\text{Pr} = 0,7$ и $\text{Pr}_{\text{ТБ}} = 0,95$, уравнения (14) и (15) можно представить:

при $m_0 \leq 1$

$$\begin{aligned} \text{Nu} = & 0,0184(1,106 - 0,385\bar{r}_0)^{1/16} \bar{r}^{-0,192} m_0^{0,341} \bar{f}_{\text{BX}}^{0,094} k k_{\text{ВЫХ}} \times \\ & \times (2\bar{x}\bar{h}_{\text{ВХ}} / \bar{r}_0)^{(0,037-0,335\bar{r}_0)} \left[1 - \left(\frac{x_{\text{н.у}}}{x} \right)^{(1,106-0,385\bar{r}_0)} \right]^{-1/16} \text{Re}_{\text{BX}}^{0,892}; \end{aligned} \quad (18)$$

при $m_0 > 1$

$$\begin{aligned} \text{Nu} = & 0,0274(1,11 - 0,36\bar{r}_0)^{1/16} \bar{r}^{0,272} m_0^{-1,019} \bar{f}_{\text{BX}}^{0,167} k k_{\text{ВЫХ}} \times \\ & \times (2\bar{x}\bar{h}_{\text{ВХ}} / \bar{r}_0)^{(0,0345-0,335\bar{r}_0)} \left[1 - \left(\frac{x_{\text{н.у}}}{x} \right)^{(1,11-0,36\bar{r}_0)} \right]^{-1/16} \text{Re}_{\text{BX}}^{0,887}. \end{aligned} \quad (19)$$

Аналогичным образом можно получить уравнение для расчета локальных коэффициентов теплоотдачи, заменив в диапазоне $\bar{f}_{\text{BX}} = (1,42...10,14) \cdot 10^{-2}$ два уравнения для c_f одним

$$c_f = (0,025 - 0,123 \bar{f}_{\text{BX}}) \text{Re}_{\delta}^{-2/15} \quad (20)$$

и воспользовавшись формулами для $\bar{\delta}$ и $\bar{v}_{\delta}$ из работы [1]:

$$\begin{aligned} \text{Nu} = & 0,0287(1 - 4,92\bar{f}_{\text{BX}})^{0,94} \bar{f}_{\text{BX}}^{0,346} \bar{h}_{\text{ВХ}}^{-0,561} k k_{\text{ВЫХ}} \bar{x}^{-0,264} \times \\ & \times \left[1 - \left(\frac{x_{\text{н.у}}}{x} \right)^{0,785} \right]^{-1/16} \text{Re}_{\text{BX}}^{0,879}, \end{aligned} \quad (21)$$

где

$$k = 0,5 + 9,5 \bar{f}_{\text{BX}} - 0,16 \bar{L}_{\text{K}}. \quad (22)$$

Коэффициент k имеет примерно такую же величину, что и поправка (16).

Из уравнений (18), (19) можно получить расчетные зависимости для определения среднего коэффициента теплоотдачи на полной длине спиральной траектории движения струи $\bar{X} = X / h_{\text{BX}}$:

при $m_0 \leq 1$

$$\overline{\text{Nu}} = kk_{\text{ВЫХ}} k_{\Gamma 1} \bar{X}^{k_1} \text{Re}_{\text{BX}}^{0,892}, \quad (23)$$

где $k_{\Gamma 1} = 0,0191(1,106 - 0,385\bar{r}_0)^{-15/16} \bar{r}_0^{0,192} m_0^{0,341} \bar{f}_{\text{BX}}^{0,094} (2\bar{h}_{\text{BX}} / \bar{r}_0)^{k_1}$;

$$k_1 = 0,037 - 0,335 \bar{r}_0;$$

при $m_0 > 1$

$$\overline{\text{Nu}} = kk_{\text{ВЫХ}} k_{\Gamma 2} \bar{X}^{k_2} \text{Re}_{\text{BX}}^{0,887}, \quad (24)$$

где $k_{\Gamma 2} = 0,0294(1,11 - 0,36\bar{r}_0)^{-15/16} \bar{r}_0^{0,272} m_0^{-1,019} \bar{f}_{\text{BX}}^{0,167} (2\bar{h}_{\text{BX}} / \bar{r}_0)^{k_2}$;

$$k_2 = 0,0345 - 0,335 \bar{r}_0;$$

Аналогичным образом из уравнения (21) для расчета среднего числа Нуссельта получена зависимость

$$\overline{\text{Nu}} = kk_{\text{ВЫХ}} k_{\Gamma 3} \bar{X}^{k_3} \text{Re}_{\text{BX}}^{0,879}, \quad (25)$$

где $k_{\Gamma 3} = 0,039(1 - 4,92\bar{f}_{\text{BX}})^{0,94} \bar{f}_{\text{BX}}^{0,346} \bar{h}_{\text{BX}}^{-0,561}$;

$$k_3 = -0,264.$$

Для вычисления полной длины траектории движения струи в уравнениях (23)–(25) можно использовать зависимость

$$\bar{X} = 0,413 \bar{f}_{\text{BX}}^{-1,135} \left[1 + 4,685 \bar{f}_{\text{BX}}^{0,154} (\bar{L}_{\text{к}} - \bar{z}_{\text{BX}}) \right], \quad (26)$$

где $\bar{z}_{\text{BX}}$ – относительное расстояние между осью входных шлицев и ближайшему к ним выходному торцу циклонной камеры, $\bar{z}_{\text{BX}} = z_{\text{BX}} / D_{\text{к}}$.

На рис. 2 выполнено сопоставление уравнений (23)–(25) с опытными данными [5]. (В табл. 1 приведены значения геометрических параметров циклонных камер, на которых выполнены экспериментальные исследования, и обозначения опытных точек, соответствующих рис. 2, 4).

Из рис. 2 видно, что в рассмотренных диапазонах изменения режимных и геометрических параметров циклонных камер наблюдается вполне удовлетворительное совпадение расчетных зависимостей с экспериментальными данными. Отклонение для большинства точек не превышает $\pm 12 \dots 14 \%$. Исключение, как и для поправочных коэффициентов (16), (17), составляют данные, относящиеся к крайним значениям геометрических параметров исследованных вариантов циклонных камер, а также опыты при малых значениях $\text{Re}_{\text{BX}} < 5 \cdot 10^4$.

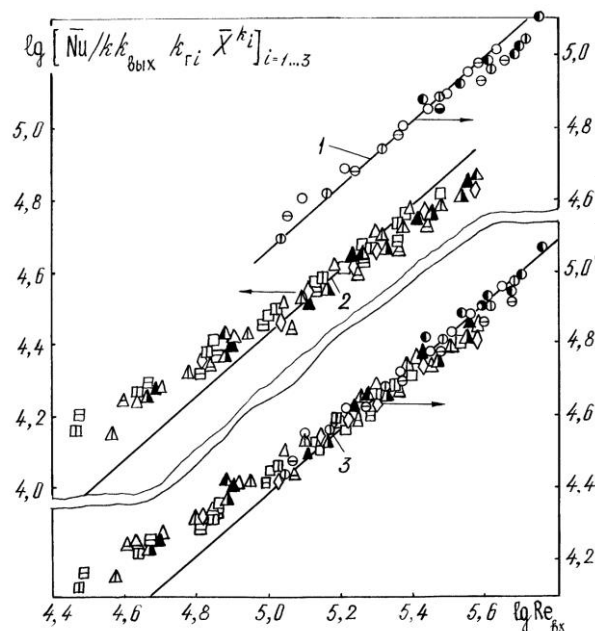


Рис. 2. Сопоставление расчетных зависимостей с опытными данными: 1 – уравнение (23); 2 – (24); 3 – (25) (Здесь и на рис. 4 опытные точки соответствуют обозначениям табл. 1.)

Таблица 1
Геометрические характеристики циклонной
камеры и обозначения соответствующих им
опытных данных

Вариант	$\bar{f}_{\text{вх}} \cdot 10^2$	$\bar{h}_{\text{вх}} \cdot 10^2$	$\bar{d}_{\text{вых}}$	$\bar{L}_k$	Обозначение
1	2,02	3,98	0,4	1,65	○
2	2,02	3,98	0,4	1,25	○
3	2,02	3,98	0,4	0,80	○
4	4,04	7,96	0,4	1,65	○
5	6,30	12,44	0,3	1,65	△
6	6,30	12,44	0,4	1,65	△
7	6,30	12,44	0,6	1,65	△
8	6,30	12,44	0,7	1,65	△
9	6,30	12,44	0,4	1,25	△
10	6,30	12,44	0,4	0,80	△
11	8,20	16,17	0,4	1,65	◇
12	10,14	19,95	0,4	1,65	□
13	10,14	19,95	0,4	1,25	□
14	10,14	19,95	0,4	0,80	□

В уравнениях (18), (23) выражение $(1,106 - 0,385 \bar{r}_0)^{1/16} \bar{r}_0^{0,192} \times (2 / \bar{r}_0)^{(0,037 - 0,335 \bar{r}_0)}$ в интервале изменения $\bar{r}_0 = 0,747 \dots 0,830$, имевших место в опытах при $m_0 \leq 1$ ($\bar{f}_{\text{BX}} = 0,0404$ и $0,0202$) с точностью $\pm 0,8 \%$, можно заменить постоянным множителем $0,763$. Приняв согласно [1] $m_0 = 4,768 \bar{f}_{\text{BX}}^{0,509}$ и из конструктивных особенностей экспериментальной установки $\bar{h}_{\text{BX}} = 1,97 \bar{f}_{\text{BX}}$, выражение $m_0^{0,341} \bar{f}_{\text{BX}}^{0,094} \bar{h}_{\text{BX}}^{(0,037 - 0,335 \bar{r}_0)} = 1,414 \times (1,97 \bar{f}_{\text{BX}})^{(0,305 - 0,335 \bar{r}_0)}$ в интервале $\bar{f}_{\text{BX}} = (2,02 \dots 4,04) \cdot 10^{-2}$ с точностью $\pm 2,6 \%$ можно заменить числом $1,265$. В указанных диапазонах изменения геометрических характеристик циклонной камеры коэффициент $k = 0,88 \pm 0,097$. С учетом отмеченного выше и при отсутствии необогреваемого участка уравнения (18), (19), (21) для расчета локальных коэффициентов теплоотдачи и (23) – (25) для средних примут следующий вид:

$$\text{Nu} = A k_{\text{ВЫХ}} \bar{x}^{k_i} \text{Re}_{\text{ВХ}}^n, \quad (27)$$

$$\overline{\text{Nu}} = \frac{A}{k_i + 1} k_{\text{ВЫХ}} \bar{X}^{k_i} \text{Re}_{\text{ВХ}}^n, \quad (28)$$

где A , k_i и n – постоянные, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметров, входящих в уравнения (27) и (28)

m_0	$\text{Re}_{\text{ВХ}} \cdot 10^{-5}$	A	k_i	n
≤ 1	1,00...6,3	0,0157	k_1	0,892
> 1	0,25...6,3	0,0166	k_2	0,887
0,62...1,33	0,25...6,3	0,0198	k_3	0,879

Таблица 3

Значения параметров, входящих в скорректированное по опытным данным уравнение (28)

m_0	$\text{Re}_{\text{ВХ}} \cdot 10^{-5}$	A	k_i	n
≤ 1	1,00...6,3	0,0479	k_1	0,80
> 1	1,10...6,3	0,1324	k_2	0,72
»	0,25...1,1	0,7579	k_2	0,57
0,62...1,33	1,10...6,3	0,1133	k_3	0,74
»	0,25...1,1	0,8177	k_3	0,57

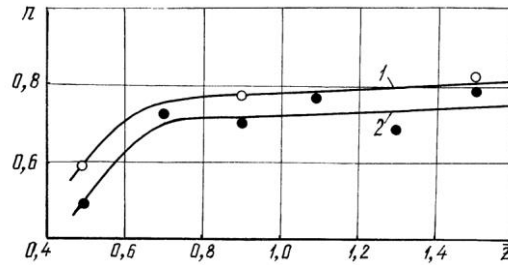


Рис. 3. Влияние параметра m_0 и координаты $\bar{z}$ на показатель степени n в уравнении (28) при различных значениях m_0 : 1 – $m_0 \leq 1$ (светлые точки); 2 – $m_0 > 1$ (темные точки)

На рис. 3 приведены результаты обобщения опытных данных, отражающих влияние на показатель степени n параметра m_0 и продольной координаты $\bar{z} = z / D_k$ в зависимости $Nu(Re_{\text{вх}}^n)$. Показатель степени n определяли методом наименьших квадратов. Видно, что на расчетном участке движения струйного потока n зависит от относительной входной площади камеры или параметра m_0 и удаленности рассматриваемого сечения от входных шлицев. С учетом данного обстоятельства и влияния неавтономности течения на теплоотдачу [5] уравнению (28) можно придать вид, еще более приближенный к экспериментальным данным за счет коррекции по ним показателя n . В этом случае численные значения коэффициентов A , k_i , n , диапазон чисел Рейнольдса, в котором справедливо скорректированное уравнение (28), в зависимости от относительной скорости спутного потока следует выбирать из табл. 3.

На рис. 4 выполнено сопоставление уравнения (28) без коррекции (сплошные линии) и с коррекцией (штриховые) показателя n с опытными данными [5]. Получено вполне удовлетворительное совпадение расчетных и

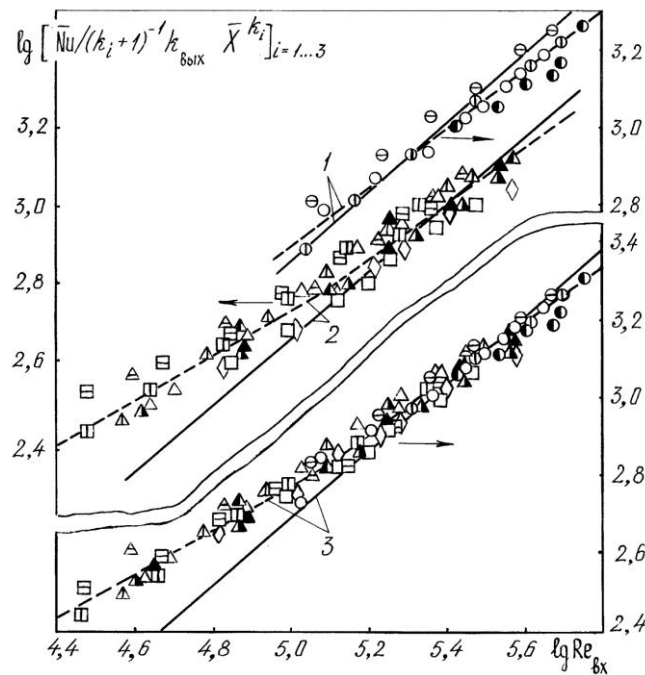


Рис. 4. Сопоставление расчетной зависимости (28) с опытными данными при различных значениях m_0 : 1 – $m_0 \leq 1$; 2 – $m_0 > 1$; 3 – $m_0 = 0,62 \dots 1,33$

экспериментальных данных. Необходимо отметить, что значения средних коэффициентов теплоотдачи, вычисленных по уравнению (28) и по ранее полученному для этой же задачи при другом способе определения n и формуле для c_f , приведенной в работе [5], близки.

Выводы

1. На основе струйной модели течения проанализированы особенности теплоотдачи на боковой поверхности циклонных камер с торцевым выводом газов.

2. Получены расчетные уравнения для локальных и средних чисел Нуссельта. Сопоставление их с опытными данными показало вполне удовлетворительное совпадение.

3. Уравнения могут быть рекомендованы для инженерных расчетов теплоотдачи на боковой поверхности рабочего объема циклонных камер с торцевым выводом газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Сабуров Э.Н., Загоскина Т.Г. Исследование потока в периферийной области циклонных камер // Лесн. журн. - 1994. - № 5-6. - С. 171-182. - (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Сабуров Э.Н., Карпов С.В. Циклонные устройства в деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве / Под ред. Э.Н. Сабурова. -М.: Экология, 1993. - 368 с. [3]. Сабуров Э.Н., Леухин Ю.Л. Аэродинамика и теплообмен закрученного потока в цилиндрической камере // Инж.-физ. журнал. - 1985. - Т.48, № 3. - С. 369 - 375. [4]. Сабуров Э.Н., Орехов А.Н. Исследование теплоотдачи в циклонных камерах большой относительной длины // Лесн. журн. - 1994. - № 2. - С. 124 - 135. - (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Сабуров Э.Н. Циклонные нагревательные устройства с интенсифицированным конвективным теплообменом. - Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1995. - 341 с. [6]. Стерлигов В.В. Исследование на модели конвективного теплообмена в секционных печах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Новокузнецк, 1972. - 20 с. [7]. Сухович Е.П. Аэродинамика и конвективный теплообмен в вихревой камере: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Рига, 1970. - 25 с. [8]. Тонконогий А.В., Вышенский В.В. Исследование конвективного теплообмена на моделях циклонных камер // Пробл. теплоэнергетики и прикладной теплофизики. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1964. - Вып.1. - С.189-205. [9]. Устименко Б.П. Процессы турбулентного переноса во вращающихся течениях. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. - 228 с.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630*79.004.8(049.3)

К.Л. МИХАЙЛОВ, Е.С. РОМАНОВ, А.В. ПЛАСТИНИН
Архангельский государственный технический университет

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ
ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА**

Одним из направлений повышения конкурентоспособности производства в рыночной экономике является сокращение отходов производства, не используемых для получения товарной продукции. Многообразие технологий переработки древесины в лесном комплексе предопределило появление значительного количества производственных отходов, которые используются пока в крайне ограниченных масштабах.

Проблеме утилизации вторичных ресурсов (ВР) лесного комплекса посвящена вышедшая в свет монография д-ра экон. наук В.И. Мосягина «Вторичные ресурсы лесного комплекса»^{*}.

Книга начинается со всестороннего рассмотрения проблемы утилизации ВР в научно-техническом, экономическом и средоохранном аспектах. Автор рассматривает проблему утилизации как сложную и комплексную: подразделяет ВР на вторичные материальные ресурсы (ВМР) и вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) в зависимости от направления использования; классифицирует ВМР по отраслям лесного комплекса и видам производств, видам ВМР, месту (источнику) образования в технологическом процессе, агрегатному состоянию, объему образования, месту использования, степени использования, сферам воздействия на окружающую среду; ВЭР – по видам энергии, содержанию энергетического потенциала, способам удовлетворения потребности в энергии; приводит сведения об основных характеристиках ВР, методах определения и основных направлениях их использования.

Подход автора к стоимостной оценке ВР и продуктов их переработки основан на полезности (потребительной стоимости) ВР и возможности использования их в качестве заменителей первичных ресурсов; рассматриваются вторичные ресурсы, поддающиеся утилизации на основе существующих технологий. За основу стоимостной оценки ВЭР принимается заготовительная стоимость используемого на предприятии традиционного топлива, с учетом расходов по его доставке, хранению и подаче в производство. Стоимость ВЭР отражает их теплотворную способность, коэффициент полезного действия теплоиспользующего агрегата, ущерб, причиняемый природной среде при сжигании. Использование приведенной в книге методики стоимостной оценки ВЭР позво-

^{*} Мосягин В. И. Вторичные ресурсы лесного комплекса. - СПб: СПб ЛТА, 1998. - 231 с.

ляет более квалифицированно подойти к расчету эффективности мероприятий по переводу теплоагрегатов с дорогостоящего и зачастую дефицитного традиционного топлива на более доступные отходы лесного комплекса. В оценке ВМР учитываются цена традиционного (заменяемого) ресурса, параметры потребительского свойства традиционного ресурса, интерес производителей и потребителей через коэффициент учета величины экономии в цене. Обоснование цены на ВР предполагает изучение состояния рынка данных ресурсов, условия поставки ВР, оценку их потребительских свойств. Предлагаемый в монографии подход, по нашему мнению, достаточно обоснован и соответствует принципам рыночного ценообразования. Использование приводимых автором методов стоимостной оценки ВР позволяет повысить интерес к утилизации ВР со стороны бизнеса.

Стоимостная оценка ВР дает возможность рассчитывать экономическую эффективность их использования. В основу таких расчетов положены общие принципы измерения экономической эффективности производства. Автор обоснованы критерий и система показателей экономической эффективности использования ВР, отражены коммерческий и бюджетный аспекты такой оценки; приведена система показателей экономической и социальной эффективности.

В книге проанализированы действующие системы плановых показателей ВМР и ВЭР. Выявлены их недостатки, не позволяющие в полной мере отразить процессы использования ВМР и формирования ресурсов энергии, получаемой за счет утилизации ВЭР. Предложена новая система плановых показателей, характеризующая использование ВЭР по стадиям энергетического потока; рассмотрены вопросы учета ВМР и природоохранных затрат.

Предложенный путь решения проблем утилизации ВР является плодом научных изысканий, одновременно четко ориентированных на практическое применение. Подход автора к ВР как к неиспользуемым производственным ресурсам, источнику дополнительных доходов позволяет повысить конкурентоспособность основных товаров и производителей, лесного комплекса в целом, территориальных образований, на которых ведется хозяйственная деятельность.

Автор не исключает возможности углубления выбранной темы. Так, крайне важно изучить региональный аспект проблемы утилизации ВР, исходя из опыта в разных районах страны, наличия и степени использования ВР; продолжить работу по оценке бюджетного аспекта утилизации. Книга издана до принятия в июне 1998 г. Закона РФ «Об отходах производства и потребления», а это – направление для освещения правовых аспектов утилизации ВР.

Главное достоинство новой книги В.И. Мосягина заключается в системном подходе к рассмотрению проблемы утилизации вторичных ресурсов лесного комплекса, методиках и рекомендациях по ее решению. С этой точки зрения рецензируемая монография актуальна и, надеемся, будет благожелательно принята общественностью.

ЮБИЛЕИ

УДК 06.091.5

ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ МОСЯГИН

14 июня 1999 г. исполнилось 60 лет Владимиру Ильичу Мосягину, профессору С.-Петербургской лесотехнической академии, доктору экономических наук, действительному члену Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, члену-корреспонденту Международной академии наук высшей школы.

Окончив в 1963 г. инженерно-экономический факультет Ленинградской лесотехнической академии, В.И. Мосягин работал в институте «Гипробиосинтез», а в 1965 г. был приглашен в аспирантуру Лесотехнической академии. С этим вузом связана практически вся его научная и педагогическая деятельность; здесь он прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой.

В.И. Мосягин – видный ученый в области экономических исследований лесного комплекса, вторичных ресурсов и природоохранной деятельности; он положил начало научным разработкам проблемы планирования, учета и анализа экологических затрат. Профессору В.И. Мосягину принадлежит большая заслуга в области изучения эколого-экономической эффективности комплексного использования сырья и утилизации производственных отходов. Им опубликовано более 130 печатных работ, в том числе пять монографий, восемь учебников и учебных пособий объемом 160 печ. л. Ряд научных трудов изданы за рубежом или переведены на иностранные языки. Им подготовлено 12 кандидатов наук.

В.И. Мосягин сыграл ведущую роль в организации кафедры бухгалтерского учета и анализа хозяйственной деятельности, которую возглавлял 12 лет. Он является членом ряда диссертационных советов, экспертом Минэкономики РФ, председателем Проблемного совета по экологии. Коллеги и ученики отмечают его блестящее педагогическое мастерство, эрудицию, широкий научный кругозор. Активная научная, педагогическая и общественная деятельность снискали В.И. Мосягину заслуженный авторитет и признание среди ученых, студентов и преподавателей.

Поздравляем Владимира Ильича с юбилеем, желаем ему доброго здоровья, оптимизма, дальнейших творческих успехов на благо Родины.

**З.А. Дикая, А.И. Кораблев,
Л.Т. Маевская, В.С. Соминский, С.В. Воронин**

С.-Петербургская лесотехническая академия
С.-Петербургский государственный
технологический университет
растительных полимеров
С.-Петербургский государственный университет