

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Основан в 1833 г.
Издается в серии ИВУЗ с 1958 г.
Выходит 6 раз в год

1

2007

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – проф. **О.М. Соколов**

Заместители главного редактора:

проф. **А.Л. Невзоров**, проф. **Е.С. Романов**, проф. **С.И. Морозов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **Р.Е. Калитеевский**, акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**,
проф. **А.А. Камусин**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **В.С. Куров**, проф. **Н.В. Лившиц**,
проф. **Р.Н. Матвеева**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолевская**,
проф. **Е.Н. Наквасина**, доц. **О.А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **В.И. Онегин**,
проф. **А.В. Питухин**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**,
проф. **В.Г. Санаев**, проф. **В.И. Санев**, проф. **А.В. Селиховкин**, проф. **В.А. Суслов**,
проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **Ю.А. Ширнин**, проф. **А.И. Чернодубов**,
проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

Ответственный секретарь – заслуженный работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информации о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 1

Редакторы **Н.П. Бойкова**, **Л.С. Окулова**
Перевод **Н.Т. Подражанской**
Компьютерный набор **О.В. Деревцовой**, верстка **Е.Б. Красновой**

Сдан в набор 25.01.2007. Подписан в печать 25.03.2007. Заказ № 52
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 16,34. Усл. кр.-отт. 16,34.
Уч.-изд. л. 19,67. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел./факс: (818-2) 28–76–18, тел. 21–89–01
e-mail: forest@agtu.ru http://www.lesnoizhurnal.ru

Издательство Архангельского государственного технического университета
163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Н.А. Моисеев.* Проблемы лесного сектора экономики и его законодательного обеспечения..... 7
- В.Ф. Цветков.* К концепции упорядочения и совершенствования лесопользования на Европейском Севере России..... 19
- А.Н. Давыдычев, А.Ю. Кулагин.* Характеристика ювенильного периода в большом жизненном цикле ели сибирской в широколиственно-хвойных лесах Уфимского плато..... 27
- Е.В. Дороничева, А.А. Мартынюк.* Экспериментальное обоснование допустимого воздействия кислотных осадков на березовые экосистемы..... 34
- А.И. Горкин.* О нормативах потенциальной продуктивности сосновых древостоев по выходу живицы..... 42

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов.* Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава..... 45
- В.И. Посметьев, Е.В. Пухов.* Имитационное моделирование движения колесных и гусеничных машин на вырубках..... 52
- О.В. Мурашова, А.А. Митрофанов.* Исследование гидродинамических характеристик плоских сплотовых единиц на моделях и в натуральных условиях. 58

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

- А.С. Миляев.* Определение коэффициента постели при расчете конструкции кругового сечения в упругой среде..... 67
- Я.И. Соколовский, М.В. Дендюк, Б. П. Поберейко.* Моделирование деформационно-релаксационных процессов при сушке древесины..... 75
- А.А. Банников, Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин.* Повышение точности пиления древесины на ленточнопильных станках..... 83
- Н.В. Шешукова, Б.К. Михайлов.* Развитие методов прогнозирования деформативности древесины с учетом влажности..... 87

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Ф.Х. Хакимова.* Бисульфитная целлюлоза из смесей молодой тонкомерной древесины различных пород и балансовой ели..... 93
- Е.Н. Косарева, Н.И. Богданович.* Экотоксикологический контроль сточных вод посредством методов биотестирования на предприятиях ЦБП..... 100
- М.В. Емельянова, Д.Г. Чухчин, Е.В. Новожилов.* Перспективы использования липазы в целлюлозно-бумажном производстве..... 110
- Л.Н. Григорьев, О.А. Шанова, Т.А. Александрова.* Образование сероводорода при обжиге каустизационного шлама..... 118
- Е.В. Дьякова, В.И. Комаров, Е.С. Носкова.* Устойчивость к инициированию и росту трещин в структуре целлюлозно-бумажных материалов..... 125

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Е.С. Романов, И.В. Лаврова.* Многообразие форм ограничений доступности лесных ресурсов..... 141
- В.К. Резанов, В.В. Шихалев, А.В. Скурская.* Модель управления параметрами концентрационных процессов в лесном комплексе многолесного региона. 145

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Л.В. Щеголева.* Процесс лесопромышленного производства с использованием вторичных ресурсов биомассы дерева..... 152

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- Н.Н. Неволин, И.В. Евдокимов.* Тяжелые металлы и мышьяк в растительности сосняка черничного..... 157

ЮБИЛЕИ

- В.А. Суслов, В.С. Куров, П.В. Луканин, А.Н. Иванов, А.Л. Ашкалунин.* С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров 75 лет готовит инженеров для целлюлозно-бумажной промышленности России..... 159



CONTENTS

FORESTRY

<i>N.A. Moiseev.</i> Problems of Forest Sector and its Legislation Support.....	7
<i>V.F. Tsvetkov.</i> To Concept of Ordering and Perfection of Forest Management in European North of Russia.....	19
<i>A.N. Davydychev, A.Yu. Kulagin.</i> Characteristic of Juvenile Period in Long Life Cycle of Siberian Spruce in Deciduous-coniferous Forests of Ufa Plateau.....	27
<i>E.V. Doronicheva, A.A. Martynyuk.</i> Experimental Substantiation of Allowable Impact of Acid Fallouts on Birch Ecosystems.....	34
<i>A.I. Gorkin.</i> On Norms of Potential Productivity of Pine Stands Based on Sap Yield.....	42

WOODEXPLOITATION

<i>V.Ya. Kharitonov, S.V. Posypanov.</i> Experience of Introducing Transport Package instead of Drift Floating.....	45
<i>V.I. Posmetjev, E. V. Pukhov.</i> Motion Simulation of Wheeled and Tracked Machines on Clear-cut Areas.....	52
<i>O.V. Murashova, A.A. Mitrofanov.</i> Investigation of Hydrodynamic Characteristics of Flat Raft Sections on Models and in Natural Conditions.....	58

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>A.S. Milyaev.</i> Determination of Soil Reaction Coefficient when Calculating Structure of Circular Cross-section in Elastic Medium.....	67
<i>Ya.I. Sokolovsky, M.V. Dendyuk, B.P. Poberejko.</i> Simulation of Deformational-and-relaxation Processes in Wood Drying.....	75
<i>A.A. Bannikov, G.F. Prokofjev, I.I. Ivankin.</i> Accuracy Increase of Wood Sawing on Band Saws.....	83
<i>N.V. Sheshunova, B.K. Mikhajlov.</i> Development of Methods for Forecasting Wood Deformability Taking into Account Humidity.....	87

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>F.Kh. Khakimova.</i> Bisulfite Pulp from Mixtures of Thin Wood of Various Species and Spruce Pulpwood.....	93
<i>E.N. Kosareva, N. I. Bogdanovich.</i> Ecotoxicological Control of Sewage by Biotesting Methods at Pulp-and-paper Mills.....	100
<i>M.V. Emeljanova, D.G. Chuhchin, E.V. Novozhilov.</i> Prospects of Using Lipase in Pulp-and-paper Production.....	110
<i>L.N. Grigorjev, O.A. Shanova, T.A. Alexandrova.</i> Hydrogen Sulphide Formation in Process of Lime Sludge Burning.....	118
<i>E.V. Djakova, V.I. Komarov, E.S. Noskova.</i> Stability to Crack Initiating and Growth in Structure of Pulp-and-paper Materials.....	125

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- E.S. Romanov, I.V. Lavrova.* Variety of Limitation Forms for Accessibility to Forest Resources..... 141
- V.K. Rezanov, V.V. Shikhalev, A.V. Skurskaya.* Model of Concentration Processes Control in Forest Complex of Polyforest Region..... 145

COMPUTERIZATION OF TRAINING AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

- L.V. Shchegoleva.* Production Process with Use of Secondary Resources of Tree Biomass..... 152

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

- N.N. Nevolin, I.V. Evdokimov.* Heavy Metals and Arsenic in Bilberry Pine Forest Vegetation..... 157

JUBILEES

- V.A. Suslov, V. S. Kurov, P. V. Lukanin, A. N. Ivanov, A. L. Ashkalunin.* Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers Has Been Training Engineers for Russian Pulp-and-paper Industry for 75 Years..... 159



УДК 630*903

Н.А. Моисеев

Моисеев Николай Александрович родился в 1929 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую государственную лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАСХН, заведующий кафедрой экономики и организации лесного хозяйства и лесной промышленности Московского государственного университета леса. Имеет 400 печатных работ в области лесной экономики, лесоустройства, лесоуправления, государственной лесной политики и лесного законодательства.



ПРОБЛЕМЫ ЛЕСНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ И ЕГО ЗАКОНОДАТЕЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Изложены основные проблемы лесного сектора экономики и лесного законодательства России, главные направления их решения с учетом реалий и зарубежного опыта.

Ключевые слова: лесной сектор экономики, государственная система управления лесами, Лесной кодекс.

Россия по праву считается самой многолесной державой мира. На ее долю приходится 22,4 % лесного покрова планеты. Земли лесного фонда занимают 1 173 млн га или 69 % территории страны, из них покрыты лесом 776 млн га (45 %). Общий годичный средний прирост древесины составляет около 1 млрд м³ (994 млн м³), однако используется лишь 1/10 часть его. По душевому уровню производства и потребления основных продуктов леса Россия на порядок уступает не только промышленно развитым, но и ряду развивающихся стран. Так, в России потребление бумаги и картона на душу населения составляет 36 кг, тогда как в странах ЕЭС – 240, в Канаде – 280, в США – 328, в Финляндии – 256 кг. Естественно, возникает вопрос о причинах такого отставания и мерах по его ликвидации.

В комплексе причин главной является хроническое отставание глубокой переработки древесного сырья: так, в России из 1 тыс. м³ заготовленной древесины производится 38 т бумаги и картона, в США – 182, в Финляндии – 261 т, т. е. соответственно в 5 и 7 раз больше.

Если же детализировать общее положение лесных дел в стране, то для начала следует отметить пространственное размещение лесов, их ресурсного потенциала и его использования, а также динамику производства по комплексу лесных отраслей, начиная с 1991 года. В табл. 1

показано распределение лесов по федеральным округам и их использование в 1990 и 2005 гг. Для сравнительной характеристики выделены две группы федеральных округов. Первая – в составе Центрального, Южного, Приволжского и Уральского округов – представляет «эпицентр» внутреннего лесопотребления, располагаясь в малолесных и среднелесистых районах европейской части страны с развитым промышленным и аграрным секторами; вторая – в составе Северо-Западного, Сибирского и Дальневосточного – ориентирована в основном на внешних потребителей и располагается в самых многолесных регионах России.

На первую группу округов приходится 15,4 % территории страны, 68,5 % населения, 17,2 % лесопокрытой площади, но 29,9 % годовичного прироста древесины (297 млн м³), 27 % расчетной лесосеки (142 млн м³) и 29 % главного пользования. Ежегодно недоиспользуемый в этой группе регионов средний прирост составляет 265 млн м³, что, согласно данным официальной статистики, больше всего нынешнего объема заготовки в целом по стране. Остальные характеристики относятся к многолесным федеральным округам.

В составе лесной площади выделены относительно продуктивные леса, представляющие интерес для лесозаготовки, в том числе: бездревостоев лиственницы (Лц), расположенных в основном в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, и с продуктивными лесами Лц. Такое выделение оправдано тем, что древостои Лц до сих пор используются весьма слабо и могут стать объектом более интенсивной эксплуатации только в перспективе, когда будет обеспечена транспортная доступность и условия для ее переработки.

На долю продуктивных лесов без Лц приходится 142 млн га, или 18,3 % лесопокрытой площади, а с Лц – 229 млн га, или 29,5 % площади лесов России. Отсюда наглядно видно, что для промышленной эксплуатации сейчас представляют интерес только 1/5 площади лесов и не более 1/3 в перспективе. Разумеется, что и на остальной площади леса имеют важное социальное, природоохранное и культурное значение, не говоря уже о среде обитания и биоразнообразии.

На продуктивной площади лесов без Лц годичный прирост равен примерно 435 млн м³ и с Лц – 696 млн м³, или в 1,5 раза больше. Эти цифры характеризуют ресурсный потенциал лесов для промышленной эксплуатации в настоящее время и на перспективу. Расчетная лесосека как норматив непрерывного неистощительного пользования (НИПЛ) находится между названными выше показателями ресурсного потенциала и равна 526,5 млн м³. В 2005 г. этот норматив использовался лишь на 22 %. За годы перестройки объем главного пользования лесом упал с 303,8 млн м³ в 1990 г. до 115,8 млн м³ в 2005 г., или в 2,6 раза.

О динамике производства лесного сектора экономики можно судить по данным табл. 2. За 1990–2005 гг. вывозка леса сократилась в 3,5 раза, а производство основных видов лесопроductии так и не достигло исходного уровня. Наибольший спад произошел в производстве пиломатериалов

(в 2,8 раза). В целом по всему лесному сектору экономики объем ВВП в 2005 г. составил лишь 52 % от 1990 г. В целом ВВП лесного сектора России равен 15 млрд амер. долл., тогда как в сравнимых по ресурсному потенциалу странах он составляет: в Канаде – 97, в США – 268 млрд долл., или соответственно в 6,5 и в 18,0 раз больше. За последние 15 лет доля России в мировой торговле сократилась с 18 до 2 %, при этом лесоэкспорт носит сырьевой характер и представлен в основном круглым лесом и пиломатериалами. Доля лесного сектора в составе ВВП России равна лишь 1,2 %, тогда как в численности всех работающих – 7,0 %.

Изложенное наглядно показывает, что, обладая громадными лесными ресурсами, мы не достигли надлежащего положения ни на мировом уровне, ни в национальной экономике.

На использование ресурсного потенциала безусловно накладывают отпечаток полярное размещение лесов относительно потребителей основных видов лесопродукции, недостаток транспортной инфраструктуры для освоения этого потенциала и, как наиболее значимый фактор, нехватка производственных мощностей по глубокой переработке древесины. Все это приводит к сугубо экстенсивному использованию лесов, ориентированному в основном на заготовку пиловочника, преимущественно хвойного, как единственно рентабельного ресурса в отсутствие глубокой переработки. При таком характере лесозаготовки названный ресурс уже истощен в транспортно освоенных лесах, что сдерживает наращивание объемов лесозаготовок и лесопиления. Именно по этой причине данные производства все последние годы остаются практически на неизменном, весьма низком уровне и сдерживают развитие производства других видов лесопродукции, сырьем для которых является древесина.

На общем состоянии лесного сектора отразилась и непродуманная приватизация предприятий лесопромышленного комплекса (ЛПК), оказавшихся ныне на 97 % в частной собственности. Она привела к разрыву технологических (между отраслями) и экономических (между поставщиками и потребителями) связей, раздроблению крупных предприятий на мелкие, разобщенные между собою хозяйствующие субъекты, потере значимых рынков в дальнем и ближнем зарубежье. Положение этих субъектов усугубилось непрерывным ростом цен на энергоресурсы и транспортных тарифов, не говоря уже о налоговом прессе, что привело к ликвидации многих хозяйственных субъектов, особенно в отдаленных от внутренних и внешних потребителей районах. В такую «мертвую зону» попали районы «глубинки» на востоке Европейского Севера, в Сибири и на Дальнем Востоке. Когда-нибудь они станут объектом вторичного освоения, поскольку вся их инфраструктура уже потеряна.

За прошедшие годы так и не выявлены эффективные собственники, заинтересованные и способные модернизировать свои производства и тем более создать новые. В течение последних 15 лет не построено ни одного крупного предприятия в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП), что сдерживает развитие всего лесного сектора экономики. Нескончаемый

передел собственности, превратившийся в «лесные войны», не создает устойчивости для развития.

Основные фонды абсолютного большинства предприятий физически изношены от 60 до 80 % и морально устарели. В особенно критическом состоянии находится лесозаготовительная промышленность, которая в 2005 г. была убыточной в целом. Низка рентабельность и лесопильно-деревообрабатывающей промышленности (ЛПДП): за 2003–2005 гг. от 11 до 14 %. В целом же рентабельность по ЛПК все последние три года держится на уровне 8 %.

Относительно устойчивыми остаются только крупные лесные корпорации в виде вертикально-интегрированных структур (ВИС), представляющих кооперацию предприятий ЦБП, ЛПДП и лесозаготовительной промышленности. Но таких корпораций, сохранившихся от советских времен, немного. В их числе «Илим Палп», «Титан», Сыктывкарский ЛПК, представленные в Архангельской, Иркутской областях, Республике Коми. В абсолютном же большинстве субъектов РФ лесопользователи – это мелкие лесозаготовительные предприятия (до 50 тыс. м³), до 60 % убыточные. Такова же и основная масса арендаторов, которые не способны строить дороги, нести бремя затрат на лесное хозяйство и тем более организовать глубокую переработку.

За последние 15 лет многократно реформировалась и государственная система управления лесами, каждый раз снижая свой статус как полномочный представитель государства. Существовавшее до 1992 г. самостоятельное Министерство лесного хозяйства ныне сведено до Федерального агентства, лишенного по своим полномочиям не только законодательной инициативы и законотворчества, но и в последние два года утратившее даже функцию государственного контроля за лесами и действиями лесопользователей. Надзорная служба, которая должна осуществлять эти функции, так и не сформирована, что привело к беспрецедентному масштабу так называемых нелегальных, а по существу криминальных рубок, по сдержанным оценкам занимающих от 20 до 40 % общего объема оборота древесины, особенно в приграничных районах. Спад лесозаготовок естественно сказался и на объеме лесовосстановления и других лесохозяйственных мероприятий.

Обобщая изложенное, можно заключить, что лесной сектор экономики страны находится в затажном системном кризисе, неконкурентоспособен и не готов к вступлению России в ВТО.

Мерам по выходу из кризиса, подъему и созданию эффективного устойчивого развития лесного сектора посвящены многочисленные международные и всероссийские форумы и конференции. 11-13 сентября 2006 г. в Москве прошел Международный форум «Лес и человек», 11-15 октября в С.-Петербурге – совмещенный Международный форум по лесопромышленному комплексу и Всероссийский съезд лесоводов, центральными задачами которых стала выработка мер по выходу из кризиса, подъему лесной промышленности и лесного хозяйства.

К главным мерам, направленным на дальнейшее развитие лесного сектора, относятся:

- 1) форсирование процесса корпоратизации лесного сектора;
- 2) масштабный и целенаправленный переход к глубокой переработке древесины (не на словах, а на деле);
- 3) активизация роли государственной власти в формировании и координации лесного сектора экономики;
- 4) ликвидация перекосов в развитии и размещении лесного сектора;
- 5) восстановление научного потенциала лесного сектора экономики для организации прорыва в инновационном направлении;
- 6) упорядочение системы государственного управления лесами и его законодательного обеспечения.

Кратко поясним некоторые из выделенных приоритетов.

Корпоратизация лесного сектора экономики – главное направление повышения его конкурентоспособности. До заседания 25 ноября 2005 г. Правительство РФ вообще стояло в стороне от этого генерального направления, да и сейчас еще остается в роли стороннего наблюдателя, не принимая должных мер содействия его развитию. Какие бы кодексы не принимались, абсолютное большинство лесопользователей не соответствует требованиям к примерным арендаторам, руководствующимся лесной сертификацией. Все, чем закончится деятельность разрозненных мелких лесопользователей, это ускоренное и окончательное истощение пиловочного ресурса и закат как лесозаготовительной, так и лесопильно-деревообрабатывающей промышленности в транспортно освоенных лесах.

Поэтому, не дожидаясь такого финала, на государственном уровне следует принять меры по стимулированию кооперации мелкого, среднего и крупного бизнеса, каждый из которых займет свою нишу в соответствующих формах объединений в процессе корпоратизации лесного сектора.

В нынешних условиях устойчивыми остаются названные выше крупные лесные корпорации, представленные лишь в некоторых субъектах РФ. Но и в них производственные мощности недостаточны, чтобы использовать ресурсный потенциал мелкотоварной и низкокачественной древесины, а также отходов, не говоря уже о макулатуре.

Ядром для таких корпораций могут быть только предприятия по глубокой переработке перечисленных видов сырья. Поэтому озвученный Правительством аншлаг о Федеральной целевой программе по глубокой переработке является главным и пока единственным выходом из тупика, в который все больше заходит ЛПК. Но нынешнее мировоззрение руководителей экономического блока в Правительстве не дает предпосылок для составления и реализации полноценной программы. Все, чем ограничивается это руководство, – обещание лишь на субсидии под отдельные виды инфраструктуры и даже не на лесные дороги (как следовало из слов Г. Грефа в г. Сыктывкаре). А это обещание не является и полумерой, оно не реализует обозначенную Правительством надежду на выход из тупика.

Что могло бы стать не полумерой? Это, безусловно, только государственные инвестиции на строительство ЦБК, хотя бы в виде долевого участия. При Б.Н. Ельцине допускалось участие государства в федеральных программах не менее 20 %; а ныне для начала – перелома положения дел на этом самом ответственном участке – потребуется больше. Тогда вкупе с государством рискнут принять участие и представители частного сектора, да и зарубежные партнеры постараются не упустить свою долю. Об источниках государственных субсидий говорить здесь вряд ли стоит. Мы ежегодно теряем немало даже на стабилизационном фонде за счет его обесценивания. Но есть и другие не используемые должным образом источники, включая пенсионный фонд, средства Сбербанка и даже коммерческих банков, которые пока федеральной властью не привлечены к стратегическим направлениям развития национальной экономики. Тут был бы полезен опыт Китая, а раньше Финляндии, правительства которых сумели объединить всех партнеров на стратегических направлениях.

Вся беда нынешнего положения дел не только в лесном, но и в других секторах экономики – это недопустимая для переходного периода весьма пассивная роль федеральной исполнительной власти, которая так и не сумела обеспечить должное регулирование рыночной экономики, далекой от цивилизованных форм, организовать партнерство государства, бизнеса и общества и стать координатором их действий на ключевых направлениях.

В лесном секторе, который из-за непродуманных реформ отброшен к 30-м гг. XX столетия, роль федеральной власти для подъема его на данном этапе исключительно велика и ответственна. О каком инвестиционном климате и приоритете внутреннего рынка можно говорить, если из-за низкой платежеспособности абсолютного большинства населения он свернут до недопустимого минимума. И разве стихийно может подняться платежеспособность, если оплата труда наемной рабочей силы, по данным ряда источников, по доле в ВВП в 2-3 раза ниже, чем в промышленно развитых странах. При этом роль Правительства как арбитра и участника трудовых соглашений между работодателями и наемной рабочей силой сведена до незначимого уровня. Примечательно высказывание президента Союза лесопромышленников и лесозэкспортеров М. В. Тацюна (Лесн. газета. – 2006. – 12 сент.), что у нас пока нет внутреннего рынка для доступного большинства населения деревянного домостроения. Все, чем мы здесь занимались, до сих пор относится только к дорогому, элитному домостроению.

Поэтому развязка узла всех проблем должна начинаться именно с такого ключевого звена – корректировки уровня оплаты труда по отношению к ВВП, начиная с установления почасового стандарта оплаты труда, обязательного для всех хозяйствующих субъектов, как это уже озвучил председатель Совета Федерации С.М. Миронов.

Есть смысл напомнить, что 9/10 лесов страны, находящихся в многолесных регионах, ориентированы в основном на внешних потребителей, сотрудничество с которыми никак не обойдется без организующего и координирующего участия федеральной власти. Либерализм во внешней торгов-

ле и привел к такому широкому, в том числе теневому, потоку торговли круглым лесом, что вынужден был вмешаться даже Президент России В.В. Путин. Между тем международное сотрудничество в области лесного сектора давно можно было бы отрегулировать через двухсторонние межгосударственные соглашения (как это активно делается с участием Президента в области энергетических ресурсов). Непременным условием их реализации является строительство с участием зарубежных партнеров предприятий по глубокой переработке на территории России, а не соседних государств (как в примере с Китаем и Финляндией), которые перерабатывают наш круглый лес и нас же упрекают в зависимости российских поставщиков от их экстремальных ситуаций (как было в Финляндии в связи с забастовкой работников на ЦБК). В развитие этих межгосударственных соглашений можно было бы разработать совместные на двухсторонней основе долгосрочные программы с обоснованием точек приложения капитала во взаимных интересах. Но таких инициатив наше Правительство не проявляет.

Отечественные либеральные реформаторы лишь на словах призывают к стратегическому планированию, ограничиваясь в основном краткосрочным. По этой причине в России до сих пор нет ни стратегической лесной политики, ни основанной на ней долгосрочной программы ни на федеральном уровне, ни в тех крупных федеральных округах, где с помощью федеральной власти и глав администрации субъектов РФ должны формироваться полноценные региональные рынки.

В принятом новом Лесном кодексе с федеральной власти снята ответственность за стратегию развития лесного сектора экономики и разработки федеральных программ, что лишь усугубит положение лесных дел в стране. Ведь в перспективе именно федеральная власть должна помочь исправить перекосы в развитии и размещении лесного сектора. Декларативно, на словах, приоритет отдается интенсивному пути развития, но предлагаемые меры относятся, наоборот, к экстенсивному. Казалось бы, прежде чем предлагать осваивать безлюдные резервные леса, как это следует из названия ФЦП, предложенной Правительством, надо бы вернуться к эпицентру внутреннего лесопотребления, освоению здесь неиспользуемых резервов древесного сырья, создавая стимулы для переработки более доступными средствами, используя даже существующие корпорации, которые могли бы через создание дочерних предприятий организовать переработку низкокачественной древесины на картон, санитарную и другие виды бумаг, которые мы ввозим из-за рубежа, ежегодно тратя до 2 млрд долл.

В соответствии с Федеральным законом № 199 от 31.12.2005 г. и новым Лесным кодексом, ответственность федерального центра за управление лесами и развитие лесного сектора по существу целиком переложена на губернаторов. Но надо полагать, что компетентные в лесных делах главы субъектов РФ отдают себе отчет, что свалившиеся на их плечи все лесные проблемы своими только силами они не решат. Имеется в виду восстановление, а вернее, заново создание лесного машиностроения, строительство транзитных лесных магистралей, а тем более конкурентоспособных круп-

ных ЦБК, громадные инвестиции на которые не имеют административных границ, восстановление напрочь разрушенной отраслевой науки ЛПК, которая любому губернатору не по карману, а без нее ни о каких инновациях и конкурентоспособности лесного сектора экономики говорить не приходится.

В последних вариантах кодекса проскальзывает ограничение планирования лесными планами в рамках субъекта РФ. При подходе же от общего к частному стратегическое планирование выстраивается в виде системы планов или программ, начиная с государственной лесной политики, долгосрочных программ по всему комплексу лесных отраслей на федеральном уровне, по крупным экономическим регионам или федеральным округам и только потом на уровне отдельных субъектов РФ. И только в рамках такой системы можно рассматривать лесохозяйственные планы, как и планы других лесных отраслей по тем или иным территориальным единицам и хозяйствующим субъектам. Предметом федеральной программы, а в ее рамках по федеральным округам должны быть проблемы, решение которых каждому отдельному субъекту не по силам. К числу таких проблем и относятся названные выше.

XXI столетие называют веком инноваций. Призыв к инновационной экономике звучит из уст политиков. Но о каких инновациях в лесном секторе экономики может идти речь, если отраслевая наука ЛПК по существу разрушена ее акционированием и приватизацией. Теперь остатки отраслевой науки сохраняются лишь в лесных вузах страны. Но эта ее часть может проявить себя при государственной поддержке и исключении тех недуманных реформ, которые уже прошли по отраслевой науке ЛПК.

В последнем варианте проекта нового Лесного кодекса по-прежнему сохраняется заявительный порядок, отсутствие ясности со структурой государственного управления лесами, сведение аренды к аукциону, отсутствие экономического механизма управления лесами, отсылочный характер многих статей принципиального значения, а по ряду из них подмена лесного законодательства земельным.

Наиболее опасной новацией является замена существовавшего во все времена разрешительного порядка пользования лесом заявительным, что лишь расширит и без того беспрецедентный масштаб лесонарушений. Тем более, что это сопровождается ослаблением всех уровней государственного управления лесами. Чего стоит только упразднение функций лесной охраны для местных органов управления лесами и отсутствие государственного контроля за ними уже на протяжении двух лет. Надзорная служба до сих пор не сформирована, да и сама по себе она никогда не будет равноценна той, которую пробуют заменить.

При передаче управления федеральными лесами субъектам РФ было бы целесообразно главам администраций сохранить за местными органами управления лесами функции государственного контроля, а за надзорной службой – лишь надзор за качеством исполнения ими этих функций.

Следует вернуться и к экономическому механизму управления лесами. Во-первых, пока нет ясности, как будет финансироваться лесное хозяйство, независимо от того, кто его ведет. Решение этого вопроса через субвенции будет постоянно давать «сбой», что наглядно видно на примере финансирования средств по предупреждению и тушению лесных пожаров и лесовосстановлению. Из федерального центра невозможно предугадать и планировать средства по этим и другим мероприятиям, которые зависят от комбинации многих факторов и которые полнее учесть можно только на региональном и местном уровнях. Речь о субвенциях может идти только по отношению к инвестициям, если федеральный центр имеет политическую волю и финансовую возможность направлять эти средства на осуществление тех или иных мероприятий, например на сооружение инфраструктурных объектов (противопожарное обустройство лесов, приобретение более эффективного оборудования по обнаружению и борьбе с лесными пожарами, строительство лесных дорог, участие в организации переработки как «самого узкого места» в лесном секторе и т. п.). Но что касается текущего финансирования лесного хозяйства, то тут ничего нового не надо придумывать, а использовать известные по другим странам цивилизованные формы платежей за лесные ресурсы на основе рентного подхода и рациональное их распределение по финансовым потокам. При этом в составе платежей, как мы и другие авторы не раз писали, должны быть две части, одна из которых в виде минимальной платы будет обеспечивать воспроизводство используемых ресурсов и оставаться у территориальных органов управления лесами (и у арендаторов, когда на них возложено лесное хозяйство), а другая – в виде дифференциального дохода идти в бюджет и распределяться между разными его уровнями по законодательному соглашению. Это обеспечит баланс экономических интересов всех субъектов лесных отношений и станет способствовать полноте и рациональности использования лесных ресурсов.

Нельзя ограничиваться и одной только формой аренды, которую предписывают составители нового Лесного кодекса. В Канаде, опыт которой используется в России, применяется несколько десятков форм лесопользования в зависимости от характера договорных отношений между государством и бизнесом и конкретных условий в каждом отдельном случае. Члены экспертной группы в Госдуме предлагали различные формы аренды, в том числе кратко- и долгосрочные, первые из которых могли бы решаться через аукционы, а вторые по конкурсу на основе инвестиционных соглашений. После встречи с Президентом в Сыктывкаре составители кодекса согласились на вторую форму, но не предложили стимулов для ее реализации.

Наконец, следует упомянуть и о подмене составителями нового кодекса лесных отношений земельными, что не просто обесценивает значение лесного законодательства, но и подготавливает базу для масштабного разгосударствления лесов, в том числе приватизации, что и было в начальных вариантах главным замыслом составителей. Эта подмена совершается на основе замены объекта лесных отношений, которым по существующему ко-

дексу выступают лесной фонд РФ и участки лесного фонда (статья 6), объектом земельных отношений в виде земельного участка из состава земель лесного фонда, что облегчает в последующем перевод земель из лесного фонда под другие виды землепользования, руководствуясь уже не лесным, а земельным и гражданским законодательством. В Федеральном законе о введении нового Лесного кодекса предложено в земельном и гражданском кодексах слово «лес» убрать из категории недвижимости, что в последующем облегчит задуманную составителями нового кодекса широкомасштабную приватизацию лесов. Партия «большинства» в Госдуме пропустила все перечисленные новации, как и Совет Федерации, мнение членов которого было далеко не однозначным. При этом всякого рода общественные, в том числе и Парламентские слушания, как показала практика, сколько-нибудь значимого корректирующего влияния не оказали. Не учтено было и обращение Общественной палаты, созданной по инициативе Президента. Решающее влияние на принятие кодекса имел административный ресурс исполнительной власти.

Согласно Федеральному закону о введении в действие Лесного кодекса РФ Правительство до 01.07.2007 г. должно издать все нормативно правовые акты (около полусотни), обеспечивающие реализацию основных положений кодекса. От качества и согласованности этих актов будет в незначительной степени зависеть возможность исправления многих противоречий и недостатков нового Лесного кодекса, хотя принципиальная основа его, разумеется, остается в силе до возможных корректировок в процессе его апробации, что имело место и с кодексом 1997 г.

2007 г. явится переломным для лесного сектора экономики в связи с его адаптацией к принципиально иным лесным отношениям, обусловленным новым Лесным кодексом. При этом упорядочение положения лесных дел в стране в значительной мере будет зависеть от успеха решения двух важных проблем: 1) сохранение и укрепление федерального органа управления лесами и создание достаточно надежной структуры территориальных органов лесопользования в составе субъектов РФ с учетом переданных им полномочий; 2) разработка и принятие на государственном уровне эффективной федеральной целевой программы по глубокой переработке древесины как ключевого направления для всего лесного сектора. Удовлетворительное решение названных проблем позволило бы облегчить положение лесного хозяйства и лесной промышленности в стране и создать предпосылки для их согласованного развития.

Московский государственный
университет леса

Поступила 19.12.06

N.A. Moiseev

Problems of Forest Sector and its Legislation Support

The main problems of forest sector of economics and RF forest legislation are set out; the main directions of their solution are provided taking into account the real situation and international experience.

УДК 630* 611

В. Ф. Цветков

Цветков Василий Фролович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН, заслуженный лесовод РФ. Имеет более 270 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, социальной экологии и охраны окружающей среды на Севере.

**К КОНЦЕПЦИИ УПОРЯДОЧЕНИЯ
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ
НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ***

Рассмотрена кризисная ситуация, обусловленная отсутствием лесной политики и стратегии рационального освоения лесов. Предложены экономические лесохозяйственные меры по упорядочению положения в лесном комплексе.

Ключевые слова: лесопользование, лесной комплекс, воспроизводство ресурсов леса, лесная политика.

Европейский Север России – Архангельская, Вологодская, Мурманская области, республики Коми и Карелия – щедро одарен природой. Среди многих стратегически значимых природных богатств региона важное место занимают леса, площадь которых достигает почти 100 млн га. Покрытая лесом площадь составляет около 70 млн га. Лесистость материковой части региона близка к 65 %. Площадь лесных угодий сопоставима с пространствами наиболее крупных стран Западной Европы.

У природы не было другого, более рационального, пути использования огромных пространств бедных, холодных, заболоченных, мало благоприятных в климатическом отношении северных земель, как заселить их лесом. Леса на землях суши Европейского Севера – наиболее действенная и энергетически эффективная природная система. В связи с этим региону суждено надолго оставаться в хозяйственном экономическом плане лесодобывающим (лесопромышленным). Северяне самой природой обречены заниматься лесным делом, развивать лесопользование.

С освоением лесных ресурсов связаны лучшие годы в развитии экономики и социальной сферы региона. Хотя пик формирования отраслей лесного дела в каждой из областей и республик отмечался в разное время (пути их становления не всегда шли параллельно), в главном история освоения ресурсов оказалась сходной. Во всех субъектах развитие лесозаготовок или лесных промыслов явилось своеобразной стартовой «пружиной» для выхода областей и республик на совершенно новый уровень экономики, которая шагнула с примитивного, по сути собирательского, патриархально-

* В порядке постановки вопроса.

аграрного, на прединдустриальный уровень. Приобретенный при освоении лесных ресурсов потенциал позволил приступить к освоению других, в том числе и прежде всего минеральных природных богатств, т. е. послужил базой для индустриализации экономики.

В отличие от минеральных природных ресурсов (нефть, газ, алмазы, апатит, железные, полиметаллические руды и другие разнообразные полезные ископаемые) ресурсы леса возобновляемы. Увы, это обстоятельство не всегда принимается во внимание при расстановке приоритетов в развитии региона. Возобновляемость означает, что лесную продукцию можно выращивать (воспроизводить) бесконечно, на ротационной основе, раз от разу увеличивая производительный потенциал лесных угодий, повышая качество разнообразного сырья и производимых материалов. Разумеется, приходится считаться с тем, что период выращивания леса (производственный процесс в лесном деле) очень длителен – многие десятилетия. Поэтому в обеспечении непрерывного лесопользования в производственном процессе лесовыращивания должны быть задействованы одновременно огромные площади лесов.

Применение специальной, научно обоснованной лесоводственной системы постоянства и равномерности пользования, предусматривающей «снятие урожая» древесины в размере годичного прироста по большому кругу участков всего (округленно 100-летнего) оборота хозяйства, позволяет получать в регионе по 75 млн м³ спелой древесины в год. Это относится только к так называемому «главному пользованию» – при освоении только спелых лесов. Общий же потенциал ежегодного пользования (включая так называемое «промежуточное») близок к 100 млн м³ в год.

С позиций реальных возможностей лесозаготовки в регионе эти цифры сегодня запредельны. Одновременно, будучи результатом устаревших приемов теоретических изощренных расчетов, они не имеют ничего общего с реальными возможностями лесопользователей. Большая часть ресурсов остается экономически недоступной (вследствие бездорожья, невысокой продуктивности заболоченных древостоев и низкой концентрации сырья). Ориентироваться на эти ресурсы при планировании лесопользования в ближайшей перспективе нельзя, но знать об их наличии нелишне.

Сегодня использование ресурсного потенциала северных лесов остается очень низким. Лесной комплекс Европейского Севера России с конца 1980-х гг. оказался в глубоком кризисе. Это было предопределено общим геополитическим кризисом, вызванным распадом СССР, всемирным энергетическим кризисом и многими причинами внутреннего порядка лесного комплекса России.

В последние годы промышленными рубками в регионе заготавливают только 23 ... 26 млн м³, т. е. с трудом осваивается только треть ежегодного прироста и по-прежнему остаются не востребованными огромные запасы приростов прошлых десятилетий. Но даже в лучшие времена развития промышленного производства заготавливалось не более 62 ... 64 млн м³, менее

85 % от прироста. Расчеты показывают, что в перестойных лесах региона ежегодно пропадает на корню (идет в отпад) 40 ... 45 млн м³ древесины.

В результате задействия доктрины типично колониального лесопользования во всех областях региона были быстро сведены наиболее ценные, продуктивные и доступные леса. За волонтаристскими лозунгами не оставалось места заботам о будущем лесного дела, об обеспечении непрерывности пользования. Пошли под топор завещанные еще Петром I для сохранения в качестве стратегического резерва знаменитые корабельные леса. При этом никаких мер по лесовосстановлению по-прежнему не предпринималось. Упор делался на теоретическую способность леса к самовозобновлению, возможности которой, однако, подрывались в корне в результате нарушения правил рубок. Лесоводов, пытавшихся остановить опрометчивое лесоистребление, подвергали шельмованию, объявляли врагами народа и социалистической индустриализации.

Длительная эксплуатация лесов на основе сплошнолесосечных концентрированных рубок, осуществлявшихся с грубыми отступлениями от правил рациональности, вызвала широкомасштабные изменения в структуре лесных земель. На смену соснякам, лиственничникам и ельникам наиболее продуктивных местообитаний в доступных районах пришли березняки и осинники, древесина которых оказалась невостребованной. Запасы оставшихся хвойных лесов стали недоступны из-за бездорожья и непомерного увеличения транспортных затрат. К освоению нового вида обильного и доступного сырья лесопромышленники, избалованные высококачественной хвойной древесиной, оказались не готовы.

В результате массивных сплошных рубок была деформирована возрастная структура хвойных лесов. Во многих районах уже в середине XX столетия были подорваны основы равномерности и постоянства пользования, т. е. главные принципы рачительного хозяйствования в лесах. Возникли серьезные социальные проблемы в лесной промышленности, основывавшейся на неэффективных организационных принципах кочующих предприятий.

Быстрыми темпами, особенно в последние десятилетия, уменьшаются сырьевые запасы лесов. По сравнению с 1950-ми гг. запас поступающих в рубку насаждений Архангельской области и Республики Коми снизился с 200 ... 250 до 110 ... 120 м³ на 1 га. Последовательно падает уровень использования природного лесорастительного потенциала местообитаний. Средние запасы сырья в древостоях основных типов леса на рубеже столетий не достигают и половины от возможных. Еще меньше (30 ... 40 %) они в местообитаниях высокопродуктивных лесов (бывшие корабельные рощи). В Архангельской и Вологодской областях эти угодья составляют почти четверть лесного фонда. Понятен ущерб, нанесенный лесному делу в этих областях. Интенсивная эксплуатация доступных высококачественных лесных ресурсов (без мер возобновления) в конечном счете больно ударила по экономике многих районов, обострила социально-экономический кризис на рубеже столетий.

Существенно ухудшилась экологическая обстановка территорий. В ряде районов на биосферном уровне изменились радиационный баланс ландшафтов и гидрологический режим многих речных бассейнов.

Экологическая составляющая проблемы упорядочения лесопользования в регионе требует особого рассмотрения. Нельзя не согласиться с мнением экологов и лесоведов (А.С. Исаев, В.А. Алексеев и Р. Бердси, А.И. Писаренко, В.В. Страхов, А.З. Швиденко и др.), что леса в любом регионе образуют основу самого емкого экологического потенциала, определяющего ситуацию в самом регионе и на обширных прилегающих пространствах. В особой мере это свойственно лесной экосистеме Европейского Севера России, обеспечивающей в целом здоровую обстановку не только на севере Восточно-Европейской равнины, но и на значительных прилегающих пространствах Восточной Европы. Наибольшее значение имеет главная биосферная функция лесного покрова региона – поддержание углекислотно-кислородного круговорота, обеспечивающего стабильность климатических условий на планете.

Нельзя забывать, что в эпоху сложной геополитической обстановки глобального уровня, непрекращающихся переделов государственных границ и зон влияния, с ростом экологической напряженности возрастает значимость жизнеобеспечивающей составляющей лесных пространств региона. Экологический потенциал 100 млн га пока еще не загрязненных, практически не нарушенных или мало нарушенных человеком лесных экосистем является сегодня бесценным капиталом России, надежным залогом экологической безопасности для региона в целом на дальнюю перспективу.

Перерабатывающие производства (в частности целлюлозно-бумажное), представляющие практически вершину пирамиды лесного комплекса, создают в ряде областей региона локальную экологическую напряженность. Разработанные на заре зарождения отрасли технологии производства целлюлозы, вискозы, бумаги, древесно-гидролизной продукции с позиций охраны окружающей среды сегодня не вписываются ни в какие рамки. Наиболее тревожная ситуация создалась в Архангельске, расположенном в устье реки, принимающей загрязненные воды пяти крупных лесохимических предприятий. В ряде районов растут горы не утилизируемых отходов химических производств, что создает дополнительные заботы экологам.

Ситуация, сложившаяся в экологической сфере лесоперерабатывающей части лесного комплекса, – еще одно свидетельство сложности накопившихся за многие десятилетия проблем, исключительной трудности их решения. Таких проблем много во всех отраслях комплекса, и они, естественно, мешают не только развитию лесопользования, но и решению социально-экономических проблем в целом.

Среди многих причин явного упадка лесопользования в конце XX столетия главной является отсутствие взвешенной лесной политики, прежде всего долговременной стратегии освоения лесных богатств. Практика эксплуатации лесных ресурсов российского Европейского Севера – явление

беспрецедентное. Как и в других странах, освоение природных ресурсов осуществлялось по принципу «снятия сливок», на типично колониальной основе. Невиданными были гигантские масштабы лесосведения сплошными концентрированными рубками. В использование вовлекались в первую очередь наиболее качественные, выгодные, доступные ресурсы.

В других странах эта стратегия быстро сменилась рациональным (в той или иной мере) режимом лесопользования, в России же долгие десятилетия продолжалось освоение лесов на прежних принципах. Если в советский период, принесший лесам Европейского Севера наибольший урон, декларировалась приверженность к плановой экономике, то на деле вульгарно попирались сами основы разумного ведения хозяйства.

В постсоветское время одной из главных проблем лесопользования в регионе остается поиск компромисса между извечными законами естественного развития событий, т. е. между законами «экономии природы», рациональности (неистощительности) лесопользования и принципами развивающегося дикого рынка. Лесоводство как биолого-хозяйственная система не может нормально функционировать без долговременного планирования, основой для которого является заложенная в законах развития лесных насаждений возможность прогнозирования стадий, этапов, периодов онтогенеза лесных насаждений. То есть для обеспечения эффективного лесопользования принципы рынка должны непременно учитывать законы природы леса.

С позиций лесоводства в таежных многолесных районах наиболее эффективно комплексное ведение хозяйства на основе постоянно действующих предприятий, обеспечивающих весь цикл лесовыращивания, заготовки и переработки разнообразного сырья леса. Рынок же диктует правила свободного маневрирования в лесном фонде и выборе сортиментной структуры производимых товаров, подчиняясь конъюнктуре, а не свойствам ресурса. Руководство лесопромышленных предприятий не заинтересовано в развитии производства лесных материалов на местах, а стремится к централизации переработки древесины. При этом транспортные издержки существенно снижают рентабельность работы предприятий. К тому же обостряется проблема обезлюдения глубинки – проблема более значимая, чем экономика лесопользования в конкретном районе. Без разрешения этого клубка противоречий нельзя надеяться на восстановление норм рационального лесопользования, выгодного для всех и подлинно хозяйского на бесконечную перспективу.

Существенным тормозом в развитии лесного комплекса региона остается до сих пор несогласованность интересов предприятий разных отраслей и направлений производства, выращивающих, заготавливающих, обрабатывающих и перерабатывающих древесное сырье. Выстроенная вертикаль интеграции лесного хозяйства с главными носителями дивидендов перерабатывающими предприятиями практически остается по-прежнему не управляемой со стороны ресурсодержателя (государства).

В сложившейся системе природопользования не в полной мере используются возможности рентных подходов к оценкам лесных ресурсов. Сегодня низкий уровень дисконтированного дохода общественность отождествляет с высокой значимостью функций воспроизводства для арендатора леса. Но реальные затраты на его воспроизводство остаются ничтожными. Основные дивиденды оседают у переработчиков и экспортеров древесной продукции, совершенно не озабоченных проблемами воспроизводства сырья.

Как следствие колониальной основы хозяйствования в лесах выявились болевые точки региональной экономики лесного комплекса. Это гигантизм производств, гипертрофированное монопроизводство, неприятие комплексного освоения ресурсов, растущая удаленность перерабатывающих производств от сырья, ориентация на «кочующие» предприятия и вахтовые методы (т. е. сохранение подхода временщиков), отсутствие мощностей перерабатывающих отраслей, утрата позиций на мировом рынке. Именно здесь фокусируются все сегодняшние беды лесного комплекса региона.

Одной из причин наблюдающегося кризиса надо признать затянувшуюся реформу лесного хозяйства, что является свидетельством сложности в решении накопившихся проблем. Не помогли многочисленные попытки подправить, перестроить систему лесного дела как на общероссийском, так и на региональном уровнях. Все это носило косметический характер, не затрагивая главного – не устраняло коренных причин кризиса.

Неоднократно предпринимались «антикризисные» меры на уровне отдельных областей. Руководство Архангельской области, в частности, разработало несколько «разносрочных» программ преодоления отставания лесного комплекса. Но и региональные, по всем субъектам региона, многочисленные программы по существу сводились только к переделу доступных лесных ресурсов, корректировке механизма их распределения между пользователями. Меры по долговременному перепланированию, перестройке нормирования пользования ресурсами в таких проектах не рассматривались. По-прежнему лесопотребители ориентируются только на запасы хвойных лесов, практически ничего не предпринимая для их воспроизводства, не желая видеть очевидного тупика, в который они идут, ориентируясь на устаревшие мерки ресурсной базы лесозаготовки.

Крутые геополитические и экономические перемены в стране на рубеже столетий, закладываемые кардинальные реформы экономики, наконец, поучительный исторический опыт убеждают, что для лесного комплекса Европейского Севера, как и для России в целом, нужна генеральная долгосрочная стратегия развития. Необходимо пересмотреть сложившуюся, во многом порочную, бесперспективную систему лесопользования, перестроить хозяйствование в лесах на основе выверенных мировым опытом принципов рациональности, постоянства и равномерности пользования, восста-

новить действие принципа расширенного воспроизводства, поддержания доходности лесопользования.

Следует четко определиться на дальнюю перспективу по субъектам Федерации и региону в целом в выборе отраслевых приоритетов, осознать и принять как реальность подлинное предназначение (миссию) леса среди других ресурсов, четко определить место лесного сектора в экономике. Нельзя дальше жить в режиме «латания дыр» и загонять лесное хозяйство будущего в тупик.

Лесопользование на Европейском Севере России должно быть малозатратным и высокодоходным, как завещали нам основатели российского лесоводства Г.Ф. Морозов и М.М. Орлов. Недоиспользование по сути безграничных возможностей возобновляемых ресурсов лесных земель в условиях региона является следствием бесхозяйственности и неадекватности государственных служб и руководства субъектов региона.

Необходимо разработать концепцию упорядочения и повышения эффективности лесопользования в регионе. Применительно к конкретной ситуации она может быть представлена как обоснование всесторонне (политически, экономически, социально, экологически) взвешенной и безупречной в правовом отношении программы кардинальных перестроек, реорганизаций и изменений всего круга вопросов лесных отношений. Должна быть выработана система ориентиров здоровой лесной политики в соответствии с новым Лесным кодексом России.

Предусматривается разработка системы императивов рационального лесопользования на основе расширения комплексности освоения лесных ресурсов, специализации и углубления переработки лесного сырья; система мер по сохранению и повышению экологических функций лесных экосистем, поддержанию их биологического разнообразия, обеспечению социально-экономической эффективности лесного дела на всех землях лесного фонда.

К важнейшим лесохозяйственным и лесоэкономическим шагам при реализации поставленных целей относятся:

- сближение интересов лесопользователей и лесодержателей, базирующихся на совершенствовании долговременной аренды, и разработка механизмов по повышению реальной заинтересованности лесопользователей в рациональном неистощительном использовании лесных ресурсов;

- создание условий для комплексной, разноплановой и долговременной (в режиме постоянства пользования) эксплуатации ресурсов леса, в том числе на основе интеграции с недропользованием и сельскохозяйственным освоением лесных земель;

- последовательное восстановление принципов постоянства (а возможно, и равномерности) пользования лесными ресурсами согласно специально разработанным программам и применению новых подходов к нормированию лесозаготовки;

- основательная инвентаризация лесов с приведением результатов к единому времени. Экономическая оценка лесных земель, задействование кадастра лесов;
- осуществление нового лесохозяйственного и лесоэкономического районирования территорий лесного фонда и пересмотр группировки лесов по назначению с учетом потенциальных и реальных ресурсов, социально-экономического потенциала, а также доступности ресурсов;
- кардинальное увеличение объемов дорожного строительства на лесных землях в соответствии с реальными и перспективными условиями для комплексного и долговременного вовлечения территорий в экономику;
- совершенствование и разработка новых подходов к нормированию пользования лесными ресурсами, включающему интеграцию главного и промежуточного пользования;
- разработка и внедрение более совершенных и экологичных технологий лесозаготовки, в том числе на основе повышения материальной заинтересованности лесопользователя в эффективном лесовозобновлении и расширенном воспроизводстве ресурсов;
- развитие лесоводственных исследований в деле экологизации лесопользования и повышения эффективности воспроизводства лесных ресурсов, главным образом на основе малозатратного естественного возобновления, т. е. с опорой на способность лесных экосистем к самовозобновлению и к автотиражированию;
- разработка и реализация программы утилизации накопленных отходов деревопереработки, программы широкого использования отходов в энергетике, в том числе в качестве биотоплива;
- развитие специального машиностроения в области переработки древесины и другого лесного сырья. Приближение этих производств к ресурсам, их поддержание и развитие в лесных поселках, предотвращение обезлюдения глубинки;
- широкое вовлечение в использование постоянно увеличивающихся запасов производных лесов. Совершенствование и рост эффективности систем ухода за молодыми насаждениями с увеличением экономичности рубок ухода и переформирования;
- повышение уровня инженерного обеспечения лесохозяйственного производства и культуры лесоводства, внедрение более эффективных экологических технологий и систем машин;
- создание и применение пакетов стандартизованных региональных систем развития лесопользования, связанных с реализацией конкретных лесоэкономических и лесохозяйственных ситуаций и привлечением современных методов управления лесами;
- разработка в концептуальном плане долгосрочных местных (по областям региона) моделей динамики основных показателей развития отраслей лесного комплекса, разносрочных, сбалансированных и согласованных по всем отраслям комплекса вертикальных и межотрасле-

вых программ по решению единой задачи – оздоровления лесного комплекса;

– сертификация всех производств отраслей лесного комплекса, прежде всего системы управления лесами.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 28.08.05

V.F. Tsvetkov

**To Concept of Ordering and Perfection of Forest Management
in European North of Russia**

The crisis situation is analyzed conditioned by the lack of forest policy and strategy of the regional forest development. The economic forestry measures aimed at ordering the situation in the forest complex are proposed.

УДК 582.475.2:581.522.4:574.2.23

А.Н. Давыдычев, А.Ю. Кулагин

Давыдычев Александр Николаевич родился в 1979 г., окончил в 2000 г. Башкирский государственный аграрный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории лесоведения Института биологии Уфимского НЦ РАН. Имеет 10 печатных работ в области естественного возобновления, онтогенеза и адаптации древесных растений в естественных и техногенных ландшафтах.



Кулагин Алексей Юрьевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Саратовский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией лесоведения Института биологии Уфимского НЦ РАН. Имеет более 200 научных работ в области устойчивости древесно-кустарниковых пород к промышленным загрязнителям, лесовосстановления, защитного лесоразведения, экологической физиологии растений, индустриальной дендрэкологии.



ХАРАКТЕРИСТИКА ЮВЕНИЛЬНОГО ПЕРИОДА В БОЛЬШОМ ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ЕЛИ СИБИР- СКОЙ В ШИРОКОЛИСТВЕННО-ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ УФИМСКОГО ПЛАТО

Выявлена различная продолжительность ювенильного периода в онтогенезе ели сибирской. Растянutosть этого периода, медленный рост растений в первые годы жизни, образование придаточных корней и формирование ксилоризомы являются составляющими экологической специфичности вида и обеспечивают успешное естественное возобновление.

Ключевые слова: ель сибирская, онтогенез, ювенильный период, ксилоризома, адаптация.

Большой цикл онтогенеза древесных растений может быть разделен на ряд этапов. Основой для их выделения является морфологическая и функциональная специфичность онтогенеза, проявляющаяся в изменении структурно-функциональных особенностей в различные периоды индивидуального развития [14].

На этапе проростка (всхода) формируются первичные листья (семядоли), первичный корень, зачаточный стебель (подсемядольное колено – гипокотиль) и первая верхушечная почка, которые являются органами, образовавшимися за счет веществ материнского организма и семени. Древесным растениям на этом этапе свойственен постепенный переход от гетеротрофного питания к автотрофному [3]. Следующий за этапом проростка ювенильный период у темнохвойных древесных видов – ели и пихты – характеризуется наличием семядолей и теневой хвои, ветвлением главного корня, ростом только верхушечной почки и формированием главного побега (стволика) [1]. Выявлена различная продолжительность ювенильного периода у одного и того же вида древесных растений в зависимости от условий среды, а переход в виргинильное состояние связан с потерей растением

палеоморфных структур (семядолей) и появлением новообразований в виде бокового побега [7, 9, 12, 13].

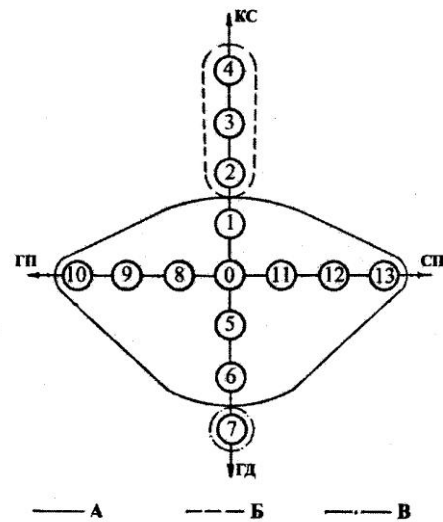
Объектом изучения онтогенеза ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в условиях Предуралья служили водоохранные леса Павловского водохранилища (р. Уфа), расположенные на территории Уфимского плато. Эти леса уникальны по составу: на небольшой площади выделено 14 типов лесорастительных условий, различных по степени проявления ведущих факторов среды [6, 8]. На территории района исследования отмечены практически все породы-лесообразователи Предуралья и Южного Урала, а также такое уникальное явление, как многолетняя почвенная мерзлота на крутосклонах южной и северной экспозиций [5]. Ель сибирская, произрастающая здесь на южной оконечности своего ареала, формирует коренные типы леса в большинстве местообитаний Уфимского плато [10].

Таким образом, ювенильный период ели сибирской представляет собой этап сложных качественных изменений растения, а успешное его прохождение способствует хорошему естественному возобновлению этой лесообразующей породы в водоохранно-защитных лесах.

Цель нашей работы – изучить особенности ювенильного периода в большом жизненном цикле ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в широколиственно-хвойных лесах Уфимского плато. Исследовали развитие елочек под пологом пихто-ельника осочково-зеленомошного, ельника мелкопапоротниково-зеленомошного, лиственничника сфагново-зеленомошного и сосняка зигаденусово-зеленомошного (рис. 1).

В каждом из изучаемых типов леса за пределами пробной площади отбирали 50 ... 150 молодых елочек, которые откапывали с глыбкой почвенного субстрата. Корневые системы отмывали в воде, органический субстрат осторожно удаляли. У каждого растения измеряли линейные размеры (высота, диаметр стволика на уровне почвы, длина погребенной части,

Рис. 1. Экологический ареал ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) [6].
 Условные обозначения: КС – ряд ксеротрофизации; СП – ряд сциопсихротрофизации; ГД – ряд гидротрофизации; ГП – ряд гелиопсихротрофизации; А – доминирует или содоминирует в древостое; В – единичные деревья; В – недолговечный подрост. Типы ЛРУ: 0 – крапивно-снытевый; 1 – крупнопоротниково-снытевый; 2 – орляково-снытевый; 3 – коротконожково-снытевый; 4 – чилиговый; 5 – хвощово-кислично-снытевый; 6 – лабазниково-кислично-снытевый; 7 – снытево-лабазниковый; 8 – липняково-зеленомошный; 9 – осочково-зеленомошный; 10 – зигаденусово-зеленомошный; 11 – липняково-кислично-снытевый; 12 – мелкопоротниково-зеленомошный; 13 – сфагново-зеленомошный



высота образования первого бокового побега, годовые приросты), определяли календарный и биологический возраста, а также возраст образования бокового побега и придаточной корневой системы. Возраст растений определяли с учетом методических рекомендаций М.В. Придни [11], предложенных для ели сибирской и примененных А.М. Бойченко [2] для других хвойных пород. За высоту растения принимали размеры надземной части, за длину – высоту с прибавлением длины погребенной части. Под календарным возрастом понимали отрезок времени от возникновения растения и до изучаемого момента [14], под биологическим – возраст надземной части растения [4].

С завершением прорастания, развертыванием семядолей, окончательной потерей связи проростка с остатками эндосперма и формированием верхушечной почки растение вступает в ювенильный этап онтогенеза и начинает самостоятельно осваивать ресурсы окружающей среды. Как правило, в широколиственно-хвойных лесах Уфимского плато формирование проростка заканчивается осенью в год прорастания, а ювенильный этап начинается весной на следующий год после прорастания семени. Изредка в особо благоприятных условиях среды верхушечная почка раскрывается в год прорастания семени и из нее формируется побег с первой настоящей хвоей. Фактически в этом случае растение переходит в ювенильное состояние. На этом этапе для растений ели характерны рост побегов из верхушечных почек, формирование главного стебля, наличие палеоморфных структур (семядолей). Ювенильный этап заканчивается опадением семядолей и образованием первого бокового побега, после чего растение переходит в вирги-

Таблица 1

Возраст расте- ний, лет	Процент растений от общего количества										
	без боко- вого по- бега	с боковым побегом, возраста, лет									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	Всего
2	100,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	100,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	60,0	40,0	–	–	–	–	–	–	–	–	40,0
5	42,4	30,3	27,3	–	–	–	–	–	–	–	57,6
6	20,0	60,0	–	20,0	–	–	–	–	–	–	80,0
7	37,5	–	37,5	25,0	–	–	–	–	–	–	62,5
8	40,0	20,0	–	20,0	20,0	–	–	–	–	–	60,0
9	10,3	2,5	17,9	38,5	23,1	5,1	25,5	–	–	–	89,7
10	21,4	1,8	3,6	14,3	19,6	14,3	16,1	8,9	–	–	78,6
11	22,6	–	–	–	3,3	6,4	27,4	24,2	16,1	–	77,4
12	0,0	–	–	–	–	16,7	16,7	50,0	–	16,7	100,0

нильное состояние. По нашим наблюдениям, в широколиственно-хвойных лесах Уфимского плато семядоли у ели сохраняются до возраста 2 ... 4 лет. Продолжительность жизни семядолей не зависит от условий среды, а является морфофизиологической особенностью ели. Образование первого бокового побега начинается значительно позднее. Установлено (табл. 1), что образование первого бокового побега у ювенильных растений ели в широколиственно-хвойных лесах Уфимского плато происходит в возрасте от 3 до 11 лет. Такая продолжительность ювенильного этапа онтогенеза у растений ели тесно зависит от условий среды и в первую очередь от освещения. Выявлено, что в «окнах» полога древостоя на повышениях из гниющей древесины (замшелые пни, валежник), где создаются наиболее благоприятные условия освещения, растения ели начинают ветвиться в возрасте 3 лет. В менее благоприятных условиях освещения боковой побег образуется в 10 ... 11 лет.

Растения ели в ювенильном периоде растут очень медленно. Образование бокового побега сочетается с лучшим ростом по высоте и диаметру (табл. 2). После перехода ели в виргинильное состояние формируются боковые побеги и закономерно усиливается рост в высоту (табл. 3). Несмотря на значительные различия в продолжительности изучаемого периода, образование боковых побегов происходит во всех типах леса при практически одинаковой высоте растений ели.

В ювенильном и начале виргинильного периода онтогенеза у большинства растений ели начинается образование придаточной корневой системы и формируется многолетнее одревесневшее корневище – ксилоризома (рис. 2). К возрасту 11 лет 62,8 % растений имеет хотя бы один придаточный корень (табл. 4).

При этом базальная часть стволика растений ели оказывается погребенной и при использовании традиционных методов (подсчет количества мутовок или годичных колец на срезе стволика на уровне почвы) возраст

Таблица 2

Календарный возраст, лет	Наличие бокового ветвления*	Высота, см	Длина, см	Диаметр, см	Биологический возраст, лет
2	–	4,00±0,92	4,00±0,92	0,48±0,11	2
3	–	5,40±0,81	5,74±1,07	0,58±0,15	3
4	–	5,20±1,34	5,93±1,03	0,62±0,30	4
	+	6,68±1,91	8,85±1,94	0,85±0,34	4
5	–	6,38±1,91	7,31±1,37	0,73±0,23	5
	+	7,97±2,13	9,86±1,79	1,18±0,28	4,89±0,46
6	+	10,13±3,08	12,75±3,10	1,26±0,51	6
7	–	5,20±1,08	10,60±0,30	0,82±0,14	4,67±1,53
	+	11,88±2,89	15,66±3,95	1,75±0,41	5,80±1,30
8	–	6,75±3,89	10,70±4,10	0,95±0,35	5,50±0,71
	+	13,60±1,13	16,50±1,27	1,73±0,04	6
9	+	14,98±4,56	18,80±4,07	2,00±0,71	7,48±1,42
10	–	5,66±1,69	10,80±1,50	0,96±0,14	6,50±1,07
	+	15,34±4,41	20,24±3,34	1,94±0,65	7,29±2,03

* Знаком плюс отмечено наличие бокового побега, знаком минус – его отсутствие.

Таблица 3

Возраст образования бокового побега, лет	Прирост, см	Возраст образования бокового побега, лет	Прирост, см
3	$\frac{2,52 \pm 0,99}{1,62 \pm 0,42}$	7	$\frac{1,78 \pm 0,53}{1,96 \pm 0,31}$
4	$\frac{1,84 \pm 0,87}{1,85 \pm 0,96}$	8	$\frac{1,74 \pm 0,33}{2,01 \pm 0,80}$
5	$\frac{1,77 \pm 0,78}{1,82 \pm 0,80}$	9	$\frac{0,91 \pm 0,24}{1,52 \pm 0,95}$
6	$\frac{1,81 \pm 0,77}{1,88 \pm 0,70}$	10	$\frac{1,02 \pm 0,35}{2,89 \pm 0,86}$

Примечание. В числителе прирост до образования, в знаменателе – после образования бокового побега.

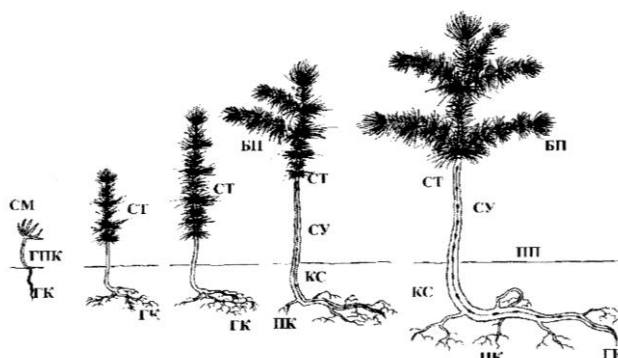


Рис. 2. Схема образования ксилоризомы у ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.): см – семядоли; гпк – гипокотиль; ст – ствол; кс – ксилоризомы; пп – поверхность почвы; су – сердцевинный узел; гк – генетический корень; пк – придаточный корень, бп – боковой побег

Таблица 4

Возраст растений, лет	Процент растений от общего количества						
	без придаточного корня	с придаточным корнем возраста, лет					Всего
		1	2	3	4	5	
Ювенильные растения							
4	60,0	–	–	–	–	–	–
5	42,4	–	–	–	–	–	–
6	–	20,0	–	–	–	–	20,0
7	12,5	25,0	–	–	–	–	25,0
8	–	40,0	–	–	–	–	40,0
9	7,8	–	2,6	–	–	–	2,6
10	14,3	5,4	1,8	–	–	–	7,2
11	16,1	4,8	–	1,6	–	–	6,4
Виргинильные растения							
4	40,0	–	–	–	–	–	–
5	54,5	3,0	–	–	–	–	3,0
6	80,0	–	–	–	–	–	–
7	37,5	25,0	–	–	–	–	25,0
8	40,0	–	20,0	–	–	–	20,0
9	53,6	30,8	5,2	–	–	–	36,0
10	24,9	32,1	8,9	5,4	5,4	1,8	53,6
11	21,1	25,8	12,9	14,5	3,2	–	56,4

погребенной части остается неучтенным. Метод анатомического среза позволяет учесть календарный (полный) возраст растения, который зачастую отличается от биологического (возраста надземной части). Достоверные различия наблюдаются с возраста 7 лет и составляют 2-3 года.

Образование придаточных корней и формирование ксилоризомы позволяют ювенильным растениям ели полнее использовать ресурсы верхних горизонтов почвы и успешнее конкурировать с взрослыми деревьями за воду и минеральные питательные вещества. Выявленные особенности развития ели в ювенильном периоде позволяют растениям выдерживать конкуренцию с растениями нижних ярусов за свет и накапливаться под пологом древостоя основного яруса в количестве, достаточном для успешного естественного возобновления и дальнейшего восстановления ельников.

Выводы

1. Различная продолжительность ювенильного периода у экземпляров ели сибирской связана с неоднородностью микроэкологических условий под пологом древостоев и интенсивностью роста растений по высоте и диаметру.

2. В экстремальных условиях у растений ели отмечается феномен отклонения от прямого пути онтогенеза, выражающийся в образовании многолетнего одревесневшего корневища – ксилоризомы, что является одним из способов защиты онтогенеза.

3. Растянность ювенильного периода, медленный рост в первые годы жизни растения, образование придаточных корней и формирование ксилоризомы являются составляющими экологической видоспецифичности ели сибирской и обеспечивают ее успешное возобновление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белостоков, Г.П. Возрастные фазы в морфогенезе подроста древесных растений [Текст] / Г.П. Белостоков // Ботан. журн. – 1981. – № 1. – С. 86–98.
2. Бойченко, А.М. О методических особенностях определения возраста у подроста хвойных, растущих в северной тайге [Текст] / А.М. Бойченко // Лесн. журн. – 1969. – № 6. – С. 151–152. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Кирсанов, В.А. К изучению ценологических популяций лесообразующих древесных растений на пробных площадях (элементы методики) [Текст] / В.А. Кирсанов // Биогеоценотические исследования на Урале. – Свердловск, 1982. – С. 58–77.
4. Кожевникова, Н.Д. Биология и экология тьянь-шаньской ели [Текст] / Н.Д. Кожевникова. – Фрунзе: Илим, 1982. – 240 с.
5. Кулагин, Ю.З. О многолетней почвенной мерзлоте в Башкирском Предуралье [Текст] / Ю.З. Кулагин // Экология. – 1976. – № 2. – С. 24–29.
6. Кулагин, Ю.З. Экологические ареалы пород-лесообразователей в районе Уфимского плато [Текст] / Ю.З. Кулагин // Лесоведение. – 1978. – № 5. – С. 24–29.
7. Мартьянов, Н.А. Особенности начальных этапов онтогенеза хвойных в различных лесорастительных условиях [Текст] / Н.А. Мартьянов // Дендроэкология: техногенез и вопросы лесовосстановления. – Уфа: ИБ УНЦ РАН, 1996. – С. 36–49.
8. Мартьянов, Н.А. Широколиственно-хвойные леса Уфимского плато [Текст] / Н.А. Мартьянов, А.А. Баталов, А.Ю. Кулагин. – Уфа: Гилем, 2002. – 222 с.
9. Махатков, И.Д. Поливариантность онтогенеза пихты сибирской [Текст] / И.Д. Махатков // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1991. – № 6. – С. 79–88.
10. Письмеров, А.В. Лесная растительность Уфимского плато [Текст] / А.В. Письмеров // Горные леса Южного Урала. – Уфа: Башкир. кн. изд-во, 1971. – С. 109–118.
11. Придня, М.В. Опыт определения возраста у подроста ели сибирской по сердцевинным узлам [Текст] / М.В. Придня // Лесоведение. – 1967. – № 5. – С. 72–77.
12. Романовский, А.М. Поливариантность онтогенеза *Picea abies* (Pinaceae) в Брянском полесье [Текст] / А.М. Романовский // Ботан. журн. – 2001. – № 8. – С. 72–85.
13. Серебряков, И.Г. Экологическая морфология растений [Текст] / И.Г. Серебряков. – М.: Высш. шк., 1962. – 378 с.
14. Чайлахян, М.Х. Терминология роста и развития высших растений [Текст] / М.Х. Чайлахян [и др.]. – М.: Наука, 1982. – 96 с.

Институт биологии Уфимского НЦ РАН

Поступила 15.07.04

A.N. Davydychev, A.Yu. Kulagin

Characteristic of Juvenile Period in Long Life Cycle of Siberian Spruce in Deciduous-coniferous Forests of Ufa Plateau

Different duration of the juvenile period in the Siberian spruce ontogenesis is discovered. Extension of this period, low growth of plants in the first years of life, formation of additional roots and xylorhizome are the constituents of the species' environmental specificity and ensure its successful natural reforestation.

УДК 630*425:630*168

Е.В. Дороничева, А.А. Мартынюк

Дороничева Екатерина Владимировна родилась в 1963 г., окончила в 1987 г. Московский лесотехнический институт, научный сотрудник отдела экологии и охраны природы ФГУ ВНИИЛМ. Имеет 5 научных статей по вопросам влияния техногенных загрязнений на леса, нормирования кислотных выпадений.



Мартынюк Александр Александрович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Украинскую сельскохозяйственную академию, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе ФГУ ВНИИЛМ. Имеет 75 печатных работ по нормированию техногенного воздействия на леса, внедрению экологических разработок и экологическому проектированию.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ НА БЕРЕЗОВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Представлены результаты экспериментальных исследований по обоснованию предельно-допустимых кислотных нагрузок на листовенные экосистемы зоны хвойно-широколиственных лесов. В качестве критерия устойчивости экосистем выбраны лесные почвы как элемент, наиболее чувствительный к воздействию кислотных выпадений.

Ключевые слова: кислотные осадки, кислотные обработки, буферность лесных почв, березовые экосистемы.

В последние десятилетия среди экологических проблем выделяется загрязнение воздушного бассейна техногенными химическими веществами, часть которых (диоксид серы, оксиды азота и др.), трансформируясь в процессе самоочищения атмосферы, приводит к увеличению кислотных выпадений на подстилающую поверхность Земли. Из многочисленных научных публикаций видно, что кислотные выпадения не столь безобидны, они существенно нарушают жизнедеятельность лесов и вызывают их деградацию на значительных территориях. В связи с этим остаются актуальными исследования, направленные на оценку устойчивости лесных экосистем и определение уровня допустимых критических нагрузок кислотообразующих соединений.

Оценка и картографирование критических нагрузок в Европе, проводимые в рамках «Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния», в настоящее время достигли значительного прогресса. Предложено много методов нормирования кислотных выпадений для лесных экосистем, в частности с использованием математического моделирования [3, 7]. Целью наших исследований была экспериментальная оценка

кислотного воздействия на березовые экосистемы, составляющие значительную часть лесов России.

В качестве объекта исследований выбраны типичные березовые экосистемы Подмосковья. Программа работ предусматривала оценку биометрических изменений ассимиляционного аппарата березы повислой под влиянием обработок кислотными растворами в полевых условиях, а также проведение лабораторных экспериментов по изучению динамики буферной способности лесных почв к кислотному воздействию.

Влияние кислотных осадков на состояние, рост и развитие березы изучали в насаждениях Правдинского лесхоз-техникума Московской области. В течение вегетационного периода 3-4-летний самосев, прикрытый от естественных выпадений полиэтиленовыми тентами, обрабатывали водными кислотными растворами (на основе H_2SO_4) с постоянными в течение вегетационного периода значениями pH в следующих вариантах: 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 ед., вода (5,8 ... 6,2 ед.). Разовая нагрузка была принята из расчета 10 л/м^2 , что соответствовало среднему недельному количеству естественно выпадающих осадков (10 мм).

Состояние самосева березы характеризовали наличием некрозов листовой пластинки, повреждением побегов, а также их приростом. В каждом варианте выбирали 10 деревьев с одинаковыми первоначальными показателями, по которым в течение эксперимента оценивали реакцию березы на кислотное воздействие.

Полученные результаты показывают, что ассимиляционный аппарат березовых насаждений достаточно устойчив к воздействию кислотных выпадений. Пороговой величиной для повреждения листовой пластинки являются осадки с pH 1,5, при котором ожоги листовой пластинки наблюдались уже после двух обработок (табл. 1) в виде некроза тканей на краю листа, центральная же зона оставалась здоровой. Некрозы увеличивались с ростом обрабатываемой дозы, однако полного отмирания листьев не происходило. Наблюдения в течение всего вегетационного периода показали, что действие кислотных осадков с pH 1,5 привело к более раннему опадению листьев (начало – первая половина августа).

При обработке самосева березы кислотными растворами с pH от 2,5 до 4,5 не установлено видимых повреждений листовых пластинок в течение вегетационного периода. Небольшие ожоговые пятна наблюдались лишь в

Таблица 1

Дата отбора	Объем обработки, мл	Площадь, мм^2		Процент ожога
		листовой пластинки	ожога	
22.06	50	607	67	11,0
06.07	250	644	74	12,0
12.07	350	710	87	12,2
12.08	750	710	202	28,4
28.09	1300	1096	484	44,0

местах повреждения листьев тлей; в целом же лист оставался здоровым. Начало опадания листьев изменилось при обработке раствором с рН 2,5, оно отмечалось с середины августа. Но если учесть, что листопад у березы может продолжаться в течение двух месяцев, то отмеченный сдвиг можно считать несущественным.

Изучение линейного текущего прироста самосева (рис. 1) показало, что при обработке кислотными растворами с рН 1,5 ... 2,5 средний прирост осевого побега снижался на 12 ... 16 %. В вариантах рН от 3,5 до 4,5 видимых отклонений от нормы у самосева березы повислой не было; при обработках с рН 3,5 он даже увеличился на 14 %.

Наблюдения, проведенные весной следующего года, показали, что в вариантах с рН 1,5 и 2,5 наблюдалось отмирание почек практически на всех нижних ветках, т. е. в местах более раннего начала опадания листьев. Вместе с тем почки, которые оставались под прикрытием черешка листовой пластинки, не повреждались, хотя фазы их набухания и разворачивания наступили немного позже, чем в контроле. В вариантах с рН 3,5 ... 4,5 отмечалось лишь уменьшение размеров почек, хотя задержек в прохождении фаз развития не было. Побеги, образованные из таких почек, в своем росте и развитии практически не отставали от контроля.

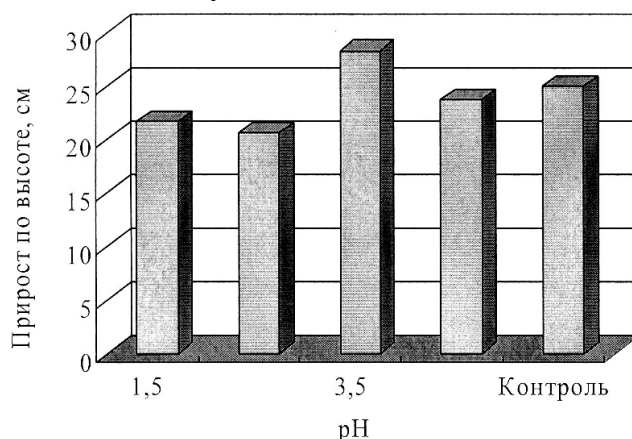


Рис. 1. Прирост березы по высоте в течение вегетационного периода под воздействием кислотных обработок с различным рН

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что береза повислая, несмотря на достаточно высокую чувствительность к различным химическим воздействиям, способна проявлять определенную устойчивость к кислотным осадкам с рН 3,5 ... 4,5. Визуально заметное повреждение ассимиляционных органов березы может быть вызвано устойчивыми кислотными дождями с рН 1,5 ... 2,5. Близкие данные приводит У.Х. Смит [5] для березы желтой, определяя пороговое значение кислотных осадков в рН 3,0 при периодическом воздействии в течение 11 нед.

Вторая часть эксперимента предусматривала искусственную обработку различных типов почв березовых экосистем зоны хвойно-широколиственных лесов, сформировавшихся в типичных климатических условиях на разных почвообразующих породах, под разными типами леса и отличающихся гранулометрическим и минералогическим составом, содержанием и составом органического вещества, другими свойствами. Практически все исследователи сходятся во мнении, что почва является наиболее уязвимым по отношению к кислотному воздействию звеном в лесной экосистеме. У.Х. Смит [5] говорит о возможном «ускорении процесса выветривания» почв, который сопровождается усиленным выносом из профиля калия, магния, кальция при осадках с рН 3 ... 4, для отдельных типов почв – с рН 4,0 ... 4,5. Важным отрицательным моментом является увеличение концентрации растворимого алюминия в почвенном профиле, токсичная роль которого для растений доказана. В.В. Чуенкова [6] пришла к выводу о снижении интенсивности подзолообразования под действием кислых осадков, обосновывая это повышением содержания подвижного железа в горизонте Е. Считается, что к закислению более восприимчивы бедные, а также лесные почвы. В целом сопротивляемость почв влиянию кислотных осадков контролируется их буферной способностью, т. е. возможностью противостоять изменению реакции почвенного раствора [3, 4].

Отобранные монолиты диаметром 13 см и высотой 16 ... 20 см (условно пахотный слой) помещали в пластмассовые сосуды и обрабатывали два раза в неделю растворами серной кислоты с рН 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 и дистиллированной водой. Разовая порция раствора равнялась 50 мл, что в пересчете на обрабатываемую поверхность соответствовало средней недельной норме дождевых осадков региона. Об устойчивости лесных почв к кислотному воздействию судили по изменению рН растворов, фильтрующихся через почвенные монолиты.

В экспериментах по имитации воздействия кислых атмосферных осадков на почвы березняков установлено, что для всех исследуемых почв характерно нелинейное снижение рН растворов, фильтрующихся из верхних горизонтов почвенных монолитов. После первого снижения (три-четыре обработки) наблюдается некоторая стабилизация рН фильтрата на новом уровне, и более устойчивое снижение проявляется лишь после 30 обработок на суглинистых почвах и 10 – на супесчаных (рис. 2).

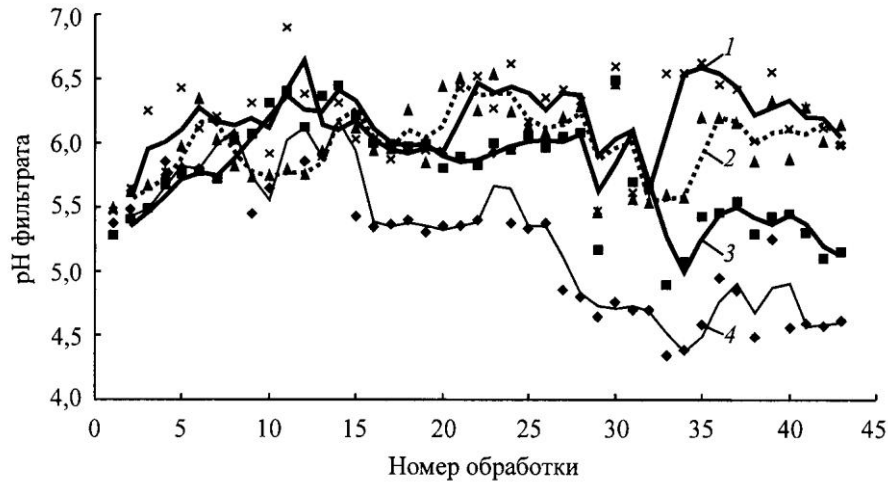


Рис. 2. Изменение pH фильтрата при искусственном кислотном воздействии на монолиты дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы: 1 – контроль; 2 – pH 4,5; 3 – pH 3,5; 4 – pH 2,5

Интенсивность снижения pH фильтрата зависит от механического состава почвы. Так, в супесчаной почве на первом этапе при обработке исходным раствором с pH 2,5 оно составляет в среднем 1,5 ед., на суглинистой 0,5 ед. Умеренно кислые осадки (pH 3,5 ... 4,5) снижают pH почвенных фильтрующихся растворов в среднем на 0,5 ... 1,0 ед.

Вторичное подкисление фильтрата в вариантах с pH 2,5 ... 3,5 наблюдается после 15 ... 20 обработок, когда запас мобилизуемых обменных оснований истощается и в действие, видимо, вступает алюминиевая буферная зона [3].

При обработке почв слабокислыми осадками с pH 4,5 снижение pH фильтрата, по сравнению с контролем, минимально и происходит сравнительно постепенно, без резких скачков.

Вместе с тем в нашем эксперименте вначале учитывался только максимальный режим нагрузок – воздействие кислотных осадков с постоянным pH. Однако в естественных условиях наблюдается достаточно разнообразная кислотность и интенсивность осадков [1], что может повлиять на эффект воздействия. Поэтому мы провели обработку монолитов из супесчаных почв по двум вариантам. Первый вариант предусматривал изменение pH осадков в процессе единовременной обработки, так как, по данным Ю.А. Израэль и др. [2], их кислотность может варьировать в процессе выпадения дождя. Во втором варианте обработку проводили растворами, кислотность и объемы которых соответствовали природным показателям, принятым по данным экспериментальных измерений.

В условиях обработки почвенных монолитов кислотными осадками с изменяющейся pH в процессе одноразовой обработки при среднем значении pH от 2,5 до 3,5 снижение кислотности фильтрата наблюдалось во всех

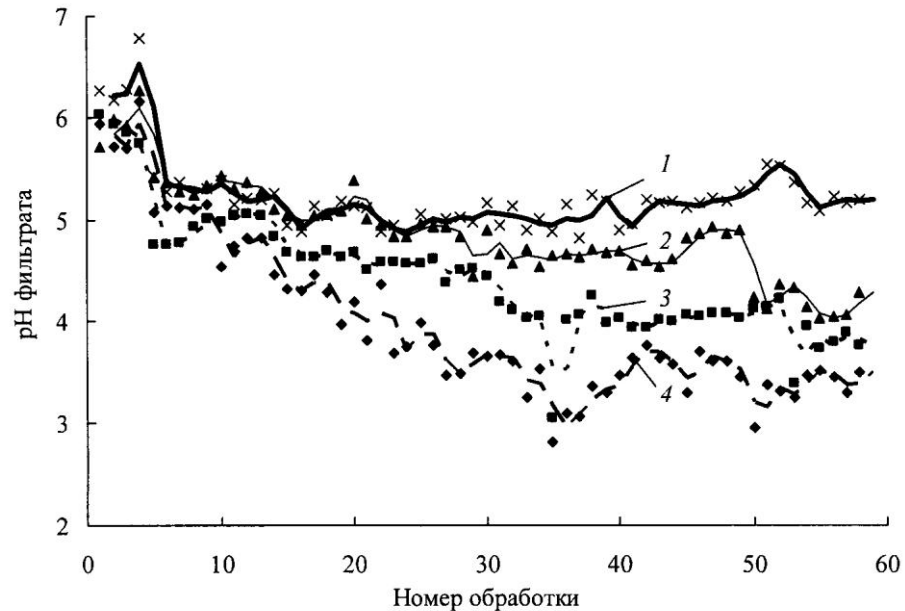


Рис. 3. Динамика pH фильтрата из супесчаных почв при обработке их растворами с изменяющимся pH (среднее значение pH постоянно, разовая обработка 50 мл): 1 – контроль; 2 – pH 4,5; 3 – pH 3,5; 4 – pH 2,5

вариантах практически сразу. В частности, при обработке сильно кислыми растворами с pH_{cp} 2,5 резкое устойчивое снижение pH фильтрата наблюдалось уже после шести обработок. Динамика кислотности фильтрата при обработке почв осадками с pH_{cp} 3,5 сходна с предыдущим вариантом и отличается только от контроля (рис. 3).

Для слабокислых обработок с pH_{cp} 4,5 снижение pH фильтрата из почвенных растворов достоверно не отличается от контроля, и только через 27 обработок наблюдается тенденция к повышению его кислотности на 0,5 ед. pH.

Следовательно, изменение pH осадков в течение продолжительного дождя не привело к существенному изменению результирующего отклика почвы на кислотное воздействие.

В экспериментах с искусственной имитацией естественных параметров осадков объемы одноразовой обработки колебались от 10 до 140 мл. Из общего количества обработок растворы с кислотностью до pH 3,5 использовались в количестве 20 мл, до pH 4,0 – 195 мл, до pH 4,5 – 300 мл, до pH 5,5 – 845 мл и pH > 5,5 – 519 мл. Средняя кислотность обработок в эксперименте составила pH 5,2.

Экспериментальные обработки почвенных монолитов кислотными осадками, имитирующие естественную динамику объема и кислотности, показали, что устойчивое изменение кислотности фильтратов до pH 0,4 наблюдается после 17 обработок (рис. 4) и соответствует 665 мл раствора.

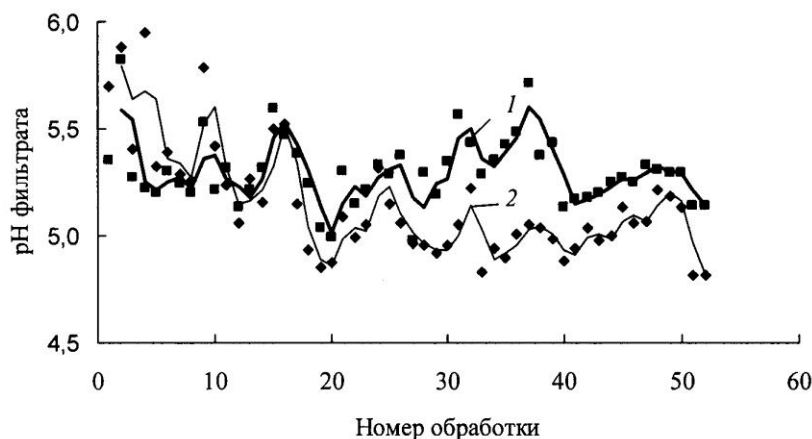


Рис. 4. Динамика pH фильтрата из супесчаных почв при обработке их растворами с естественным pH: 1 – контроль; 2 – естественный pH

Вопреки ожиданиям, почвенные монолиты оказались достаточно чувствительны даже к такому сравнительно невысокому кислотному воздействию. Это, скорее всего, можно объяснить тем, что в первой половине обработок кислотность раствора была наибольшей (pH 3,5 ... 4,0). Последующие обработки более щелочными растворами не позволили полностью нейтрализовать это воздействие. Возможны также искажения отклика почвы на воздействие из-за небольшого объема почвенных монолитов и оторванности их от естественной лесной среды.

Результаты проведенных экспериментов использованы нами для обоснования предельно допустимых кислотных нагрузок (ПДН) на лесные почвы и лиственные лесные экосистемы в целом. При этом лесные почвы выбраны в качестве критерия устойчивости экосистем как звено, наиболее чувствительное к кислотному воздействию.

За ПДН принята доза кислотных осадков, после которой перестает работать механизм буферности лесных почв и наблюдается необратимое снижение pH почвенного фильтрата по сравнению с контролем. Расчет проведен для осадков с pH 3,5, так как именно такая кислотность наиболее часто встречается в лесных экосистемах промышленных районов (табл. 2).

Полученные результаты свидетельствуют, что расчетные значения допустимой (критической) протонной нагрузки на почву изучаемых березовых экосистем центральной части России колеблются в пределах 0,4 ... 0,7, нагрузки по сере – 7 ... 11, азоту – 6 ... 10 кг/га в год.

Полученные нами значения ПДН соответствуют уровню, принятому в европейских странах. Так, рассчитанные по балансовым уравнениям критические уровни выпадения азота для лесов Европы колеблются в пределах 2 ... 20 кг/га [3]. Критические протонные нагрузки, полученные нами, совпадают со значениями, приводимыми другими авторами для кислых почв Канады (0,4 ... 1,0 кг/га). По данным [8], на территории Швеции

Таблица 2

Тип (группа) типов леса, (тип почвы)	Расчетные предельно допустимые (критические) нагрузки, кг/га в год		
	H ⁺	S	N
Широкотравный (дерново-подзолистая супесчаная)	0,4	7,0	6,1
Хвощово-широкотравный (дерново-подзолистая супесчаная)	0,6	10,2	8,9
Чернично-разнотравный (дерново-подзолистая легкосуглинистая)	0,7	11,7	9,7
Осоково-снытевый (дерново-подзолистая среднесуглинистая)	0,7	10,5	9,1

критическая нагрузка по сере в зависимости от географической зональности колеблется от 3 до 5 кг/га.

Рекомендуется считать критической годовую нагрузку, которая по расчетам европейских экспертов составляет для почв северо-запада России 0,2 ... 1,0 кг/га протонов или 3 ... 15 кг/га азота; для европейской территории РФ и Сибири – 7 ... 25 кг/га азота в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1981–1985 гг. [Текст]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
2. Израэль, Ю.А. Кислотные дожди [Текст] / Ю.А. Израэль [и др.]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
3. Копцик, Г.Н. Принципы и методы оценки устойчивости почв к кислотным выпадениям [Текст] / Г.Н. Копцик, М.И. Макарова, В.В. Киселева. – М.: Изд-во МГУ, 1998.
4. Мотузова, Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг [Текст] / Г.В. Мотузова. – М.: Эдиториал УРСС, 1999.
5. Смит, У.Х. Лес и атмосфера. Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха [Текст] / У.Х. Смит. – М.: Прогресс, 1985.
6. Чуенкова, В.В. Трансформация форм соединений алюминия и железа в почвах модельных опытов под воздействием кислотных осадков [Текст] / В.В. Чуенкова. – М.: Вестн. МГУ. Сер. 17, Почвоведение. – 1991. – № 2. – С. 68–70.
7. Critical Loads for sulphur and nitrogen [Text] / Ed. J. Nilsson, R. Greenfelt. – UNECE, NCM, 1988. – 418 p.
8. Sverdrup, H. Critical loads for forest soils in the Nordic countries [Text] / H. Sverdrup [et al.] //Ambio. – 1992. – Vol. 21, N 5.

ВНИИЛМ

Поступила 22.07.04

E.V. Doronicheva, A.A. Martynyuk

Experimental Substantiation of Allowable Impact of Acid Fallouts on Birch Ecosystems

The results of experimental research related to substantiation of maximum permissible acid loads on deciduous ecosystems of the zone of coniferous- broad-leaved forests are provided. The forest soils are selected as the criteria of the ecosystem sustainability as the element being the most sensible to exposure of acid fallouts.



УДК 630*284

А.И. Горкин

Горкин Александр Ильич родился в 1961 г., окончил в 1987 г. Архангельский лесотехнический институт, старший научный сотрудник СевНИИЛХ. Имеет более 10 печатных работ в области прижизненного лесопользования.



О НОРМАТИВАХ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПО ВЫХОДУ ЖИВИЦЫ

Изложены результаты научных исследований. Определены показатели, которые необходимо использовать при расчетах.

Ключевые слова: живица сосновая, смолопродуктивность, карра, сезон подсочки, карроподновка, вздымшик.

В Северном научно-исследовательском институте лесного хозяйства разработаны «Нормативы потенциальной продуктивности сосновых насаждений по выходу живицы для лесов Российской Федерации» (далее по тексту Нормативы). Они включают в себя четыре основных раздела.

1. Определение потенциальной смолопродуктивности среднего по смолопродуктивности дерева древостоя (г на карроподновку).
2. Определение потенциально возможного числа средних по смолопродуктивности деревьев сосны в древостое (шт).
3. Расчет потенциального выхода живицы с одной карры (г).
4. Расчет потенциального выхода живицы за сезон подсочки (кг).

В настоящей статье кратко изложены результаты научных исследований и определены показатели, которые необходимо использовать при расчетах.

В ходе исследований выявлено, что в древостоях разной продуктивности деревья сосны одного объема в конкретный период времени – середине сезона подсочки – имеют близкую среднюю смолопродуктивность, различия не превышают $\pm 5\%$ [3].

На основании полученных данных сделан вывод, что смолопродуктивность как биологически обусловленная способность деревьев хвойных пород выделять в сравнимых условиях в единицу времени определенную массу живицы [1] будет иметь близкие значения для всего ареала сосны обыкновенной.

Определен лесоводственно-таксационный показатель – объем среднего по смолопродуктивности дерева, для которого рассчитаны нормативные значения потенциальной смолопродуктивности в граммах на карроподновку в условиях обычной подсочки (без применения стимуляторов). При этом пользователю Нормативов необходимо знать средний диаметр сосно-

вого насаждения, высоту среднего дерева, а также категорию подсочки, которая определяется согласно «Правилам подсочки в лесах РФ» [2].

В целях упрощения расчетов и расширения области применения Нормативов вместо потенциального числа карр определяют потенциально возможное число средних по смолопродуктивности деревьев сосны в древостое. При этом используют две формулы [3]. По первой из них находят запас сырораствующего леса, вовлекаемого в подсочку (m^3) при использовании данных всего запаса сырораствующего леса по сосне на выделе (m^3) и коэффициента, определяющего запас деревьев, вовлекаемых в подсочку. По второй формуле устанавливают потенциально возможное число средних по смолопродуктивности деревьев сосны в древостое по значениям запаса сырораствующего леса, вовлекаемого в подсочку (m^3), и объема среднего по смолопродуктивности дерева (m^3), а также коэффициенту, позволяющему исключить из расчета возможное число низкосмолопродуктивных деревьев сосны.

Пользователю Нормативов необходимо знать запас сырораствующего леса по породе, который берется из материалов лесоводственно-таксационной характеристики древостоев. Остальные значения, применяемые в формулах, обоснованы в ходе научных исследований.

Для расчета потенциального выхода живицы с карры предложена формула, которая включает выход живицы с одной карроподновки (г), число обходов за сезон подсочки, коэффициенты, определяющие влияние среднего возраста древостоя и подвида сосны обыкновенной – сибирская на выход живицы.

Для расчета потенциального выхода живицы за сезон подсочки предложена формула, учитывающая потенциальный выход живицы с карры (г), потенциально возможное число средних по смолопродуктивности деревьев сосны в древостое, коэффициенты по виду и году подсочки.

Нормативы могут применяться для любых сосновых насаждений, пригодных для целей подсочки на всей территории РФ. Они универсальны и с лесоводственной точки зрения, т. е. пригодны не только для естественно формирующихся, но и разреженных древостоев.

В промышленном производстве Нормативы используют при организации и планировании труда вздымщиков, подборе участков лесного фонда для целей подсочки, составлении бизнес-плана предприятий, расчетах затрат на закупку технологического оборудования и других, связанных с определением потенциального выхода живицы.

В лесном хозяйстве с помощью Нормативов устанавливают арендную плату за заготовку живицы, плату за лесные ресурсы (живицу сосновую) при определении компенсационных платежей за изъятие лесных участков для нужд, не связанных с ведением лесного хозяйства, а также экономический ущерб от лесных пожаров и повреждения насаждений промывб-росами, вредными насекомыми и болезнями.

Нормативы представляют собой очередность расчетов, поэтому для более удобного их применения разработана программа для персонального компьютера «Лесопользование: подсочка» [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОСТ 13-80-79. Подсочка сосны: Термины и определения [Текст] – Введ. 01-07-1980. – М., 1979. – 83с.
2. Правила подсочки в лесах Российской Федерации [Текст]: утв. приказом Федер. службы лесн. хоз-ва России от 29.12.93 № 347. – М., 1995. – 30 с.
3. Разработать нормативы потенциальной продуктивности сосновых насаждений по выходу живицы для лесов Российской Федерации [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / СевНИИЛХ; рук. А.И. Горкин; исполн. В.В. Козловская. – Архангельск, 2000. – 43 с. – № ГР 01.9.0000137. – Инв. № 1172.
4. Свидетельство 2001610321 Российская Федерация. Лесопользование: подсочка: программа для ЭВМ [Текст] / Горкин А.И., Гурьев Т.А.; правообладатель Сев. науч.-исслед. ин-т лесн. хоз-ва (Российская Федерация). – Заявл. № 2000611135 от 17.10.00; опубл. 22.03.01.

СевНИИЛХ

Поступила 25.12.05

*A.I. Gorkin***On Norms of Potential Productivity of Pine Stands Based on Sap Yield**

Results of scientific research are provided; the indices necessary to be used in calculations are defined.





УДК 630*378

В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов

Харитонов Виктор Яковлевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет около 200 печатных трудов в области водного транспорта леса, экологии водных объектов, гидродинамики.

**ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЕДИНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПАКЕТА ВМЕСТО МОЛЕВОГО ЛЕСОСПЛАВА***

Показана необходимость вовлечения в лесотранспортный процесс малых и средних рек, ранее использовавшихся для молевого лесосплава. Приведены результаты разработки и внедрения лесосплава в пакетных плотах с верховьев р. Пинеги.

Ключевые слова: лесосплав, пакет, пучок, плот; штабель, плотбище, лесосплавный рейд.

Одна из главных причин медленного восстановления и развития лесной промышленности России – отсутствие дорожной сети в лесоизбыточных регионах. Из-за высокой стоимости и большой трудоемкости строительства дорог нет оснований надеяться на быстрое решение дорожной проблемы.

Промышленная доступность древесного сырья может быть быстро и без больших затрат улучшена, а себестоимость транспортировки его многократно уменьшена, если восстановить лесотранспортное использование водных путей по новым технологиям, заменяющим проводившийся ранее молевой лесосплав.

Необходимость возобновления лесосплава диктуют и требования рынка. По данным департамента лесной промышленности администрации Архангельской области, себестоимость 1 м³·км при перевозке лесоматериалов по р. Сев. Двине в последние годы составляет: в плотах 10 ... 20 коп., в баржах – до 40 коп., что соответственно в 6,0 (в ряде случаев до 20) и 2,5 раза меньше, чем при автомобильных перевозках.

В настоящее время перед научной, инженерной общественностью и производителями стоит задача разработать такую технологию лесо-

* Работа выполнена по гранту РГНФ № 06-02-48203 а/с.

сплава по малым и средним рекам, которая отвечала бы требованиям экологии, современного состояния техники, социального развития регионов.

Одной из важнейших задач является выбор первичной сплоточной единицы. Из множества известных конструкций заслуживают рассмотрения плоская клетка [1], в которой бревна укладывают во взаимно перпендикулярные горизонтальные ряды, а по периметру ограждают оплотником, и единый транспортный пакет [3], представляющий собой микропучок с поперечным сечением, близким к эллипсу. Сравним основные характеристики этих первичных сплоточных единиц при одинаковых габаритных размерах: ширина – B , высота – H , длина – L , осадка – T , объем лесоматериалов – V .

Объем лесоматериалов в клетке

$$V_k = BHL\eta_k; \quad (1)$$

объем лесоматериалов в пучке

$$V_{\Pi} = \pi \frac{B}{2} \frac{H}{2} L\eta_{\Pi}, \quad (2)$$

где η_k , η_{Π} – коэффициенты полнодревесности соответственно для плоской единицы и пучка.

Из выражений (1) и (2) имеем

$$\frac{V_{\Pi}}{V_k} = \frac{\pi \eta_{\Pi}}{4 \eta_k}. \quad (3)$$

Теоретическое (предельное) значение коэффициента η_k определяют как отношение площади круга к площади квадрата, в который он вписан,

т. е. $\eta_k = \frac{\pi}{4} = 0,785$. Тогда из (3)

$$\frac{V_{\Pi}}{V_k} = \eta_{\Pi}. \quad (4)$$

Предельное значение коэффициента $\eta_{\Pi} = \frac{\pi}{2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{3}}$, или $\eta_{\Pi} = 0,91$.

Таким образом, объем пучка только на 9 % меньше объема плоской единицы при одинаковых габаритах. А если учесть наличие ограждения из бревен по периметру клетки, это преимущество еще снижается. Кроме того, в сложных гидрологических условиях осадка пучка меньше при тех же габаритах, что доказывается по закону Архимеда, согласно которому вес плавающего тела G равен весу вытесненной им воды P .

Для плоской единицы

$$G = n_p n_{\Pi} V_{\sigma} \rho_{\sigma} g; \quad (5)$$

$$P = n_{\Pi} n_B V_{\sigma} \rho_B g. \quad (6)$$

Здесь n_p , n_{Π} , n_B – соответственно число рядов бревен, бревен в одном ряду и рядов под водой;

V_{σ} – объем одного бревна;

ρ_b, ρ_v – плотность соответственно бревен и воды;
 g – ускорение свободного падения.

Приравнивая (5) и (6), получаем

$$n_b = \delta n_p, \quad (7)$$

где δ – относительная плотность бревен $\delta = \rho_b / \rho_v$.

Осадка плоской единицы

$$T_k = n_b d, \quad (8)$$

где d – диаметр бревен.

Для пучка осадку определяют по формуле [2]

$$T_n = \gamma_d \delta H, \quad (9)$$

где γ_d – коэффициент непропорциональности осадки пучка и его высоты, зависящий от плотности бревен (для $\delta = 0,7 \dots 0,8$ $\gamma_d = 0,94$).

Например, при $n_p = 5$; $d = 0,2$ м; $\delta = 0,8$ $H = 0,2 \cdot 5 = 1$ м;
 $n_b = 0,8 \cdot 5 = 4$; $T_k = 4 \cdot 0,2 = 0,8$ м; $T_n = 0,94 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,75$ м.

Осадка пучка при одинаковой с клеткой высоте на 6 % меньше.

Следует отметить и характер возможного взаимодействия единиц с поверхностью дна. Плоская клетка при встрече с отмелью взаимодействует всем днищем (при длине бревен 6 м площадь трения достигает 36 м²). Пучок в таких случаях легче преодолевает препятствие, срезая некоторый сегмент при продольном движении и переваливаясь через препятствие – при поперечном. Экологический ущерб от воздействия пучка существенно меньше.

К недостаткам плоской клетки относят: сложность конструкции, существенные затраты на обвязочный такелаж, крайнюю нетехнологичность в процессе ее формирования в пункте отправления и расформирования при выгрузке, большую трудоемкость, потери ценных сортиментов из-за отверстий на концах ограждающих бревен. Волноустойчивость клетки хуже, чем у пучка, так как нет сил распора. Практически невозможно изменение ее осадки в связи с гидрологическими условиями, тогда как у пучка это достигается через длину обвязки. Методика расчета параметров пучка в зависимости от длины обвязки приведена в работе [4].

Управляемость плотами плоской сплотки при их буксировке вследствие рыскливости хуже, а сопротивление потоку существенно больше, чем у плотов из пучков, что снижает эффективность эксплуатации флота. При освоении аварийных плотов из пакетов их можно в обвязке грузить на автолесовоз или баржу лесопогрузчиком. У плоских клеток в этих случаях необходимо вручную разобрать ограждение, снять такелаж, а погрузку бревен из рядов осуществлять только небольшими пачками россыпью.

В Архангельском государственном техническом университете разработана новая технология лесосплава на базе единого транспортного пакета. Он представляет собой микропучок (рис. 1, а) с двумя обвязками 1 и продольной связью 2, который формируют в челюстном захвате лесопогрузчиков, широко применяемых в лесной промышленности (рис. 1, б), набирая пачку бревен до нужного объема (4 ... 5 м³) из штабеля или

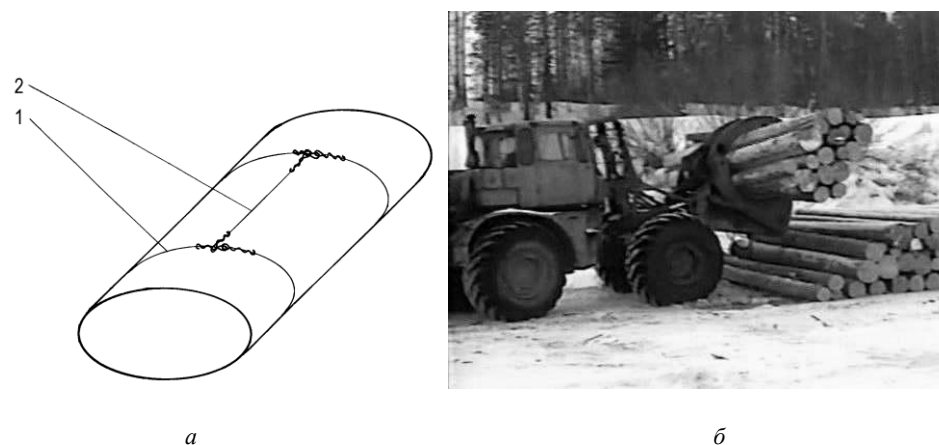


Рис. 1. Единый транспортный пакет (а) и его формирование в челюстном захвате лесопогрузчика ЛТ-163 (б)

непосредственно с автолесовоза. В захвате пачку бревен обвязывают, готовый пакет перемещают в плот при зимней сплотке, в штабеля запаса в осенне-зимний сезон лесозаготовок, сбрасывают в воду весной для сплава «вольницей» или формирования в плот на упрощенном лесосплавном рейде.

Положительными качествами лесосплава единым транспортным пакетом являются:

- экологичность, поскольку лесоматериалы в упакованном виде (обвязках) доставляют с берегового склада во двор потребителя без потерь;

- технологичность с высоким уровнем механизации и минимальным набором техники, в том числе отечественного производства, начиная от лесопогрузчиков при сплотке и формировании и заканчивая кранами типа КБ-572 при выгрузке;

- регулируемость осадки плавающего пакета от 1,0 до 0,5 м с помощью обвязок разной длины в пределах рекомендуемого для речных условий коэффициента формы от 1,0 до 3,0, что позволяет более полно использовать сравнительно короткий период стояния высоких уровней воды на малых и средних реках;

- возможность унификации обвязочного и формировочного такелажа и увеличения срока его службы при использовании обвязочных и бортовых комплектов стандартной длины, бортовых лежней и поперечных счалов;

- осуществимость лесосплава лесоматериалов лиственных пород и тонкомерных хвойных, имеющих недостаточный запас плавучести, с приплавом хвойных бревен или искусственным подплавом.

Внедрение единого транспортного пакета (вместо молевого лесосплава) имеет большое социальное значение. Вместе с возрождением умирающих лесозаготовительных предприятий появляется круглогодичная за-

нятность рабочих и техники: зимой – на зимней сплотке и подготовке к весеннему формированию плотов; летом – в запас.

Технологические схемы лесосплава пакетами могут быть разными в зависимости от производственных и гидрологических условий:

– «вольницей» – пакеты из штабелей запаса или всплывшие на защищенных от ледохода плотбищах пускают по графику в сплав до пункта формирования их в плот на минирейде простейшей конструкции. Проплав контролируют рабочие на патрульных судах или мотолодках. На кафедре водного транспорта леса и гидравлики АГТУ разработана конструкция минирейда высокой производительности;

– в кошелях – группу пакетов формируют (набивают) в кошелю, который буксируют до пункта выгрузки пакетов на берег или формирования в плот. В качестве ограждения можно использовать ошлагованные канатом бревна или те же пакеты;

– миниплотами (линейками) – пакеты после сброски на воду формируют в плоты небольших габаритов или линейки с продольным или поперечным расположением и буксируют до пункта формирования плотов увеличенных габаритов;

– в плотях летней формовки – из штабелей запаса и текущей заготовки и вывозки пакеты сбрасывают на воду, устанавливают в плот на минирейде. Готовый плот буксируют потребителю или до пункта переформировки – укрупнения. Производительность минирейда ограничивается сброской пакетов на воду и может достигать 500 м³ в смену на один лесопогрузчик типа ЛТ-163;

– в плотях зимней сплотки – для этой технологии необходимы защищенные от воздействия ледохода плотбища с гарантированным водосъемом плотов, обеспеченным не менее чем на 95 %.

Начиная с 2000 г., новая технология реализуется на хоздоговорной основе совместно с Соломбальским ЦБК, для чего гидрологически обосновано шесть плотбищ в верховьях р. Пинеги (540 км от устья и ниже), которая по лесосплавной классификации относится к средней, на объем зимней сплотки около 50 тыс. м³, разработана техническая документация на две модификации плотов без оплотника из пакетов с габаритами 225 × 32 × 1,2 м, объемом 5 тыс. м³ и 305 × 32 × 1,2 м, объемом 7 тыс. м³, на два пункта возможной передержки плотов перед железнодорожными мостами на реке и четыре плотостоянки на акватории р. Сев. Двины, прилегающей к устью р. Пинеги, для укрупнения и отстоя плотов перед буксировкой в Архангельск.

На рис. 2, а показан фрагмент плотов из пучков для р. Пинеги. Особенности этих плотов следующие:

– плот состоит из секций шириной 32 м, длиной 40 м, соединяемых по длине до установленных габаритов;

– каждая секция собрана из четырехпакетных пучков (рис. 2, б) с комбинированным расположением;

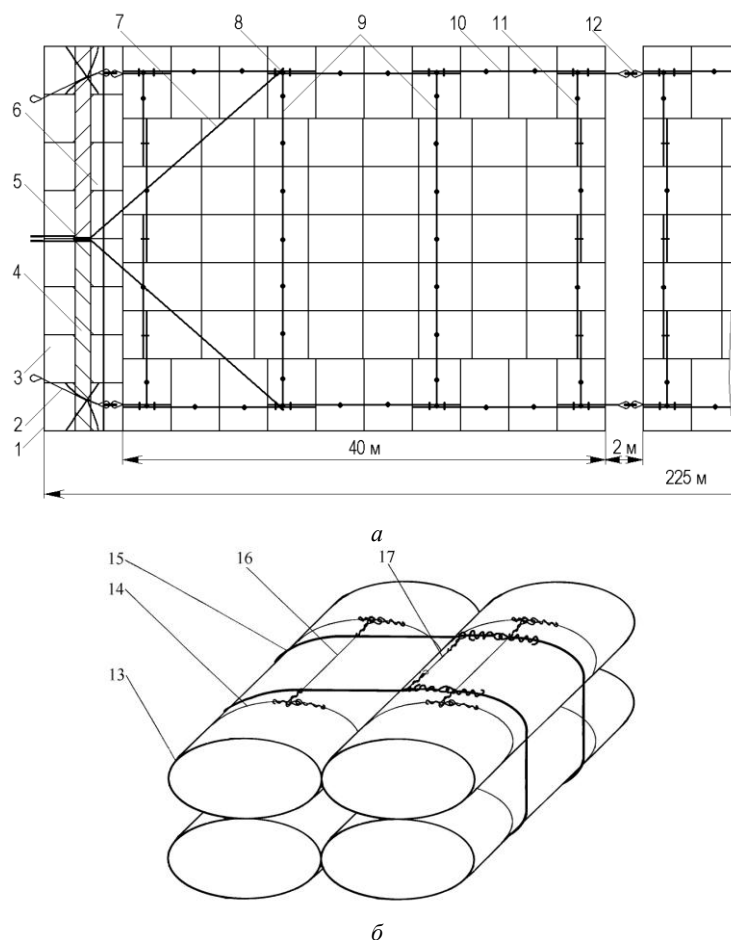


Рис. 2. Фрагмент плота (а) и четырехпакетный пучок (б):
 1 – угловой пучок головки плота; 2 – лежневая наставка;
 3 – головка плота задняя; 4 – бруствер; 5 – узел швартовки
 контрольного судна; 6 – счал плотовой; 7 – растяжка – ус;
 8 – узел крепления растяжки – уса на бортовом пучке;
 9 – счал поперечный поверху; 10 – бортлежень; 11 – счал
 поперечный концевой; 12 – скоба такелажная; 13 – пакет;
 14 – обвязка пакета; 15 – обвязка пучка; 16 – продольная
 связь пакета; 17 – продольная связь пучка

– бортовые линейки составлены из поперечных пучков, внутренние – из продольных, что обеспечивает большую надежность борта при преодолении препятствий и устойчивость на курсе благодаря наличию продольных струй;

– четырехпакетный пучок благодаря утянутой пучковой обвязке приближается по форме в поперечном сечении к прямоугольнику, обладает высокой прочностью, а коэффициент полндревесности плотов превышает 0,5;



Рис. 3. Плот на р. Пинеге

– для увеличения прочности бортовые пучки в определенной последовательности прошлагованы в обхват бортовым лежнем, а концевые ряды секций – поперечным счалом, благодаря чему каждая секция является самостоятельной транспортной единицей, пригодной для буксировки на большие расстояния.

Производительность формирования плота при двух рабочих и одном лесопогрузчике ЛТ-163 составляет 120 ... 150 м³ в смену, т. е. 50 м³/чел.-дн. (при опытной плоской сплотке [1] – 15 м³/чел.-дн.). Объем зимней сплотки увеличился с 9 тыс. м³ в 2000 г. до 30 тыс. м³ в 2006 г. Буксируют плот, как правило, два теплохода: головной (110 ... 220 кВт) и сопровождающий (110 кВт).

На рис. 3 показан плот, буксируемый на р. Пинеге.

На рейде приплыва плот расформировывают, пучки подают под выгрузку, снимают пучковые обвязки, пучок распадается на пакеты, которые выгружают на берег, не снимая обвязки, укладывают в штабель запаса или на автомашину для дальнейшей перевозки.

Многолетний опыт лесосплава единым транспортным пакетом доказал, что предлагаемая технология эффективна, реализуется наиболее просто, без больших затрат, способна в кратчайшие сроки решить проблему транспортной доступности лесоматериалов в отсутствие сухопутных магистралей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Митрофанов, А.А.* Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава [Текст] / А.А. Митрофанов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 268 с.
2. Справочник по водному транспорту леса [Текст] / В.А. Щербаков [и др.]; под ред. В.А. Щербакова. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 384 с.
3. *Харитонов, В.Я.* Единый транспортный пакет – эффективная замена молевому лесосплаву [Текст] / В.Я. Харитонов // Сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. 22–23 июня 2000 г. – Архангельск: АГТУ, 2000. – С. 45–48.
4. *Харитонов, В.Я.* Обязочный комплект для пучков бревен с изменяющейся осадкой [Текст] / В.Я. Харитонов, В.А. Пустошный // Сб. науч. тр. ф-та природ. ресурсов АГТУ. – 2005. – Вып. 3. – С. 97–102.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 29.06.05

V.Ya. Kharitonov, S.V. Posyanov

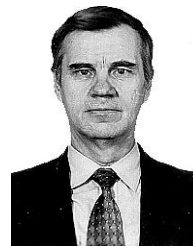
Experience of Introducing Transport Package instead of Drift Floating

The necessity of introducing small and average rivers previously used for drift floating into forest-transport process is shown. The results of development and introduction of wood floating in the package rafts from the upper Pinega are provided.

УДК 630*323

В.И. Посметьев, Е.В. Пухов

Посметьев Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1978 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет свыше 180 печатных работ в области технических средств и систем защиты машин от перегрузок.



Пухов Евгений Васильевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант ВГЛТА. Имеет 11 печатных работ по исследованиям машин и механизмов для лесовосстановительных работ.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ
КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН
НА ВЫРУБКАХ**

Исследована проходимость основных марок гусеничных и колесных тракторов. Разработана методика выбора трактора при комплектовании почвообразующих агрегатов на вырубке, основанная на имитационном компьютерном моделировании.

Ключевые слова: имитационное моделирование, траектория движения, колесные и гусеничные машины, вырубки, проходимость.

Оптимизация энергозатрат, эффективность и экологичность эксплуатации колесных и гусеничных машин на предприятиях лесного комплекса при комплектовании лесохозяйственного агрегата в значительной степени зависят от выбора марки трактора. Для этой цели обычно используют общие соображения, оценочные аналитические зависимости или дорогостоящие экспериментальные исследования. Одним из основных факторов, влияющих на выбор марки трактора, является его проходимость.

Оценке проходимости колесных и гусеничных машин с применением имитационного компьютерного моделирования посвящен ряд работ, в которых исследователи предлагают как простые модели движения лесных почвообрабатывающих агрегатов (ЛПА), например при определении числа столкновений рабочих органов лесохозяйственных машин с препятствиями [1], так и более сложные [2, 3, 5]. Однако существующие модели носят частный характер и не обеспечивают пригодную для практического приме-

ния имитацию движения ЛПА на объектах, насыщенных препятствиями, основу которых составляют деревья и пни.

Цель нашего исследования – оценить проходимость основных марок гусеничных и колесных тракторов, используемых при лесовосстановлении на вырубках. Методика расчета основана на имитационном компьютерном моделировании.

Еще на стадии проектирования, а также при агрегатировании лесных машин необходимо знать проходимость агрегата, имеющего те или иные геометрические параметры: длину, ширину, колею, базу, ширину колес (гусениц), диаметр колес.

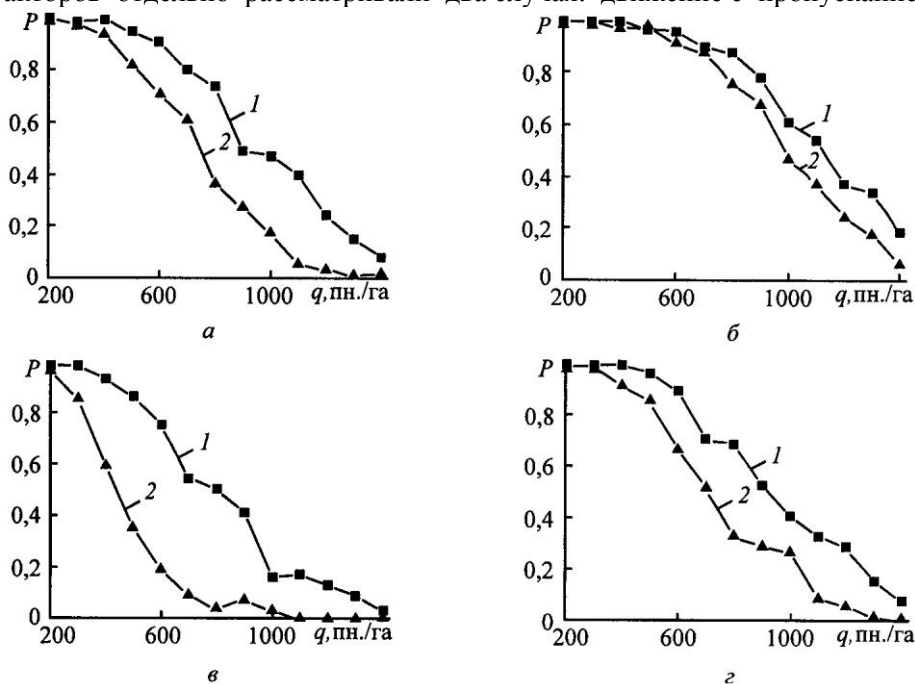
В качестве характеристики проходимости принимали вероятность P того, что машина пройдет заданное расстояние L вдоль линии гона без столкновения с пнями. Для вырубок с разной плотностью пней q вероятность P различна и представляет собой функцию $P(q)$. При ее определении для произвольной лесной машины использовали разработанный авторами алгоритм компьютерного управления движением трактора в имитационной модели [4]. Алгоритм позволяет найти оптимальную траекторию движения модельного трактора на заданном участке вырубki. Траекторию строили последовательной стыковкой элементарных движений (прямолинейные отрезки и дуги окружности) с использованием двухуровневого планирования.

Чтобы отыскать функцию $P(q)$ в модели, задавали вырубку с необходимой плотностью пней q , а затем многократно запускали трактор, чтобы подсчитать отношение числа удачных проездов N_y заданного расстояния L к общему числу N запусков и тем самым определить соответствующую статистическую вероятность $P(q) = N_y / N$. Площадь модельной вырубki составляла 1 га ($100 \times 100 \text{ м}^2$). Случайное распределение пней по площади вырубki осуществляли с использованием встроенного в систему программирования «Borland Delphi 5» генератора случайных чисел (random), позволяющего получать реализации некоторой случайной величины U , равномерно распределенной в интервале $(0; 1)$. При этом декартовы координаты (x_i, y_i) пней на квадратной вырубке размером $L \times L$ определяли случайными величинами $X = LU$ и $Y = LU$. Начальное положение трактора выбирали у границы вырубki случайным образом. По преодолении модельным трактором некоторого контрольного расстояния расчет прекращали. При этом необходимо было оставить впереди трактора определенное рабочее пространство, чтобы условия работы алгоритма построения траектории были одинаковыми по всей ее длине. Контрольное расстояние выбрано равным 50 м.

Для расчета функции $P(q)$ плотность пней изменяли дискретно от 200 до 1400 пн./га с шагом 100 пн./га. Для каждой плотности пней компьютерный эксперимент на проходимость трактора проводили по 200 раз. Эксперименты выполняли сериями по 50 запусков, чтобы по четырем сериям оценить статистический разброс искомой вероятности. В компьютерном эксперименте расчет прекращали и считали, что трактор не преодолел контрольное расстояние, если произошло одно из следующих событий: алгоритм не нашел подходящей траектории движения для трактора, и последний

уперся в пень; геометрический центр трактора отклонился от линии гона более чем на 20 м; вектор скорости трактора отклонился от положительного направления линии гона более чем на 90° . Таким образом, результат засчитывали и значение N_y увеличивали на единицу только в случае, если трактор удачно преодолел 50 м. Однако если трактор застревал на первых 10 м движения, данный неблагоприятный случай в статистическую выборку не включали. Причиной такого застревания обычно является неудачное начальное положение трактора (его выбирают случайным образом), в то время как конфигурация пней вполне позволяет их преодолевать. Таким образом, считали, что на первых 10 м трактор только «заезжает» на вырубку, и для определения вероятности использовали оставшиеся 40 м линии гона.

Анализ проходимости выполняли для четырех тракторов: двух гусеничных (ЛХТ-55, ДТ-75) и двух колесных (Т-157, МТЗ-80). Трактора в модели были представлены совокупностью геометрических областей, которые могут контактировать с препятствиями: гусеничные – двумя связанными прямоугольниками, колесные – четырьмя [4]. Учитывали также изменение взаимного положения этих прямоугольников при поворотах. Для каждого из тракторов отдельно рассматривали два случая: движение с пропуском



Зависимости вероятностей P проходимости тракторов ЛХТ-55 (а), ДТ-75 (б), Т-157 (в) и МТЗ-80 (г) от плотности q пней на вырубке с седланием (1) и без седлания (2) пней

пней между гусеницами (седланием пней) и без пропускания. Зависимости вероятностей P проходимости исследуемых тракторов от плотности q пней на вырубке представлены на рисунке.

Определение вероятности преодоления трактором вырубке относится к задачам теории протекания [6], в рамках которой может быть объяснен характерный вид графиков $P(q)$. Графики представляют собой так называемые «размытые ступеньки»: при увеличении q вероятность плавно уменьшается от 1 до 0 на достаточно большом интервале изменения q . В теории протекания подобная ступенька может быть описана всего двумя параметрами: один из них характеризует положение ступенькообразного спада, другой – степень размытия. В данном случае за первый параметр принимали критическое значение плотности пней $q_{кр}$, т. е. предельную плотность, при которой трактор еще может преодолеть данную вырубку по намеченной траектории без крутых поворотов, поворотов на месте или движения задним ходом (условно абсолютная проходимость).

Чтобы определить $q_{кр}$ по графикам на рисунке, задавали уровень вероятности $P(q_{кр}) = 0,9$. В качестве второго параметра использовали интегральный параметр $q_{ср}$, определяющий положение середины ступеньки, который вычисляли по формуле

Результаты компьютерной оценки проходимости тракторов на вырубке

Трактор	$q_{кр}$, пн./га		$q_{ср}$, пн./га	
	с седланием	без седлания	с седланием	без седлания
ЛХТ-55	580	440	930	697
ДТ-75	720	620	1064	951
Т-157	440	260	753	417
МТЗ-80	600	440	910	702

$$q_{ср} = \Delta q \sum_{i=1}^n P_i,$$

где $\Delta q = 100$ пн./га;

P_i – вероятности, соответствующие плотностям пней 100, 200, ..., 1400 пн./га;

n – число точек (q_i, P_i) на графике (в нашем случае $n = 14$).

Параметр $q_{ср}$ характеризует относительную проходимость трактора на вырубке, когда допускается его произвольное маневрирование (крутые повороты и движение задним ходом). При плотности пней выше $q_{ср}$ трактор уже не в состоянии двигаться по вырубке.

В ходе компьютерного эксперимента показатели проходимости исследуемых тракторов на вырубке $q_{кр}$ и $q_{ср}$ были получены с точностью ± 20 и ± 1 пн./га соответственно (см. таблицу).

Анализ этих результатов показывает, что наибольшей абсолютной проходимостью обладает гусеничный трактор ДТ-75, а наименьшей – колесный Т-157 (в 2,4 раза). Следует отметить, что, несмотря на «ломающуюся» раму трактора Т-157, он оказался наименее приспособленным для работы на

вырубке вследствие повышенных радиуса поворота и габаритов. Независимо от типа движителя, абсолютная проходимость всех тракторов при объезде пней уменьшается в среднем на 38 %, что указывает на целесообразность снижения высоты пней при подготовке вырубки к лесовосстановительным работам. Различия в проходимости между гусеничными и колесными тракторами выражены относительно слабо. Проходимость гусеничного трактора ДТ-75 в среднем в 1,4 раза выше, чем гусеничного ЛХТ-55, что в основном объясняется увеличенными габаритами последнего. Колесные трактора в среднем в 1,5 раза менее проходимы на вырубке вследствие повышенного радиуса поворота по сравнению с гусеничными. В то же время понижение пней на вырубке способствует повышению проходимости колесных тракторов в среднем в 1,5 раза, тогда как гусеничных лишь в 1,2 раза. Это объясняется «зашемлением» гусеничных полотен даже между низкими пнями при частых поворотах гусеничного трактора, тогда как колесные трактора легко преодолевают такие препятствия, объезжая или переезжая через них.

Выводы

1. Колесные трактора на вырубках в среднем в 1,5 раза менее проходимы, чем гусеничные, однако этот недостаток практически полностью устраняется при предварительном понижении пней на вырубке.

2. С учетом принятых технологий лесовосстановительных работ на вырубках и системы машин предложенный абсолютный показатель проходимости $q_{кр}$ тракторов может быть использован на этапе принятия оптимальных решений при комплектовании почвообрабатывающих агрегатов, отличающихся наибольшей производительностью на всех основных видах работ.

3. Предлагаемый относительный показатель $q_{ср}$ проходимости определяет максимальную плотность пней на вырубке, при которой еще возможно функционирование тракторов на вспомогательных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бартенев, И.М.* К вопросу столкновения лесохозяйственных машин с препятствиями на вырубках [Текст] / И.М. Бартенев, Е.В. Карамышев, В.Р. Карамышев // Вестн. Центр.-Чернозем. регион. отд-ния наук о лесе Акад. естеств. наук Воронеж. гос. лесотехн. академии / ВГЛТА. – Воронеж, 1998. – Вып. 1. – С. 230–234.

2. *Герасимов, Ю.Ю.* Моделирование, экологическая оптимизация и экспериментальные исследования техпроцессов и машин для рубок ухода на основе ГИС-технологий [Текст] / Ю.Ю. Герасимов, В.С. Сюнев // Там же. – Воронеж, 1999. – Вып. 2. – С. 115–118.

3. *Коришун, В.Н.* Моделирование движения агрегата по вырубке [Текст] // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: сб. науч. тр. / ВГЛТА. – Воронеж, 1999. – Вып. 7, ч. 1. – С. 61–64.

4. *Посметьев, В.И.* Алгоритм компьютерного управления движением почвообрабатывающего агрегата на вырубке [Текст] / В.И. Посметьев, Е.В. Пухов, В.В.

Посметьев // Технологии, машины и производство лесного комплекса будущего: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / ВГЛТА. – Воронеж, 2004. – Ч. 1. – С. 29–34.

5. *Ширнин, Ю.А.* Результаты имитационного моделирования движения колесной лесной машины по ленте леса [Текст] / Ю.А. Ширнин, Е.М. Онучин // Вестн. Моск. гос. ун-та леса. – Лесн. вестн. – 2003. – Вып. 5. – С. 107–114.

6. *Stauffer, D.* Introduction to percolation theory [Text] / D. Stauffer, A. Aharony. – London: Tyler & Francis, 1998. – 181 p.

Воронежская государственная
лесотехническая академия

Поступила 07.11.05

V.I. Posmetjev, E.V. Pukhov

Motion Simulation of Wheeled and Tracked Machines on Clear-cut Areas

Flotation of the main models of tracked and wheeled tractors is investigated. The technique of choosing tractor when kitting tillage aggregates at the clear-cut area has been developed based on computer simulation.

УДК 630*378

О.В. Мурашова, А.А. Митрофанов

Мурашова Ольга Валерьевна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры водного транспорта леса и гидравлики АГТУ. Имеет 6 печатных работ в области транспорта леса.



Митрофанов Александр Александрович родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 190 печатных работ в области гидродинамики взаимодействия плохообтекаемых тел с жидкостью, механики грунтов, научного обоснования и разработки новых экологически защищенных технологий водного транспорта леса по рекам с недостаточными глубинами.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ
НА МОДЕЛЯХ И В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Исследованы гидродинамические характеристики плоских сплотовых единиц (ПСЕ). Определены коэффициенты сопротивления формы и трения воды движению ПСЕ.

Ключевые слова: плоская сплотовая единица, гидродинамическое сопротивление, коэффициенты сопротивления формы и трения.

Водный транспорт леса – отрасль лесной промышленности, основной технологической операцией которой является транспортировка леса (завершающая фаза лесозаготовок) по воде. Однако в последние годы, несмотря на высокую экономическую эффективность этого вида транспорта, доля его в общем объеме лесоперевозок заметно сократилась. Отмена молевого сплава привела к тому, что лесозаготовительные предприятия, примыкающие к малым и средним рекам, оказались отрезанными от транспортных артерий.

В последние годы в качестве альтернативы молевому сплаву на реках Севера получили развитие новые технологии водного транспорта леса на базе плоских сплотовых единиц (ПСЕ) малой осадки и большого объема (конструкции АГТУ [1, 2]). Плоты из ПСЕ хорошо зарекомендовали себя на р. Онеге, Пинеге, Ваге и Северной Двине. Для широкого внедрения новых конструкций плотов и технологий необходимо разработать технику, позво-

ляющую изготавливать и выгружать ПСЕ, а также исследовать их гидродинамические характеристики.

Основные исследования проведены на моделях. Правомерность переноса результатов опыты на натурные условия обеспечена при соблюдении следующих условий.

1. Моделирование выполнено по критерию подобия Фруда в области квадратичной турбулентности. В этих условиях коэффициенты сопротивления практически не зависят от числа Рейнольдса ($Re = 1,8 \cdot 10^4 \dots 1,03 \cdot 10^5$, $Fr = 0,067 \dots 0,203$).

2. По рекомендациям, приведенным в работе [2], масштаб моделирования выбран 1 : 20.

3. Результаты модельных исследований проверены на масштабный эффект, для этого выполнена серия опытов в натуральных условиях.

Исследования на моделях проведены в опытовом бассейне гравитационного типа лаборатории кафедры водного транспорта леса и гидравлики АГТУ. Ширина бассейна 3 м, длина 11 м, глубина 0,35 м. Ширина бассейна не обеспечивала условия неограниченности потока. Имело место ограничение потока по глубине. Соотношение глубины и осадки изменяли от 6 до 35, что соответствовало условиям эксплуатации ПСЕ.

Всего испытано четыре типоразмера моделей ПСЕ в плане: $0,325 \times 0,325$; $0,225 \times 0,225$; $0,325 \times 0,225$ и $0,225 \times 0,325$ м. Число рядов модельных бревен варьировали от 1 до 5. Использовали модельные бревна диаметром 10 ... 12 мм и длиной 325 ± 2 и 225 ± 2 мм. Высота выступов шероховатости поверхности составляла 250 мкм.

Для упрощения записи модели ПСЕ использовали шифр, состоящий из заглавной буквы (А, В, С, D), обозначающей типоразмер модели, и цифры, соответствующей числу рядов в модели. Так, А5 читается как модель пятирядной сплotted единицы размерами $0,325 \times 0,325$ м. Основные типоразмеры моделей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Модель	Длина, м	Ширина, м	Осадка модели, м
A1	0,325	0,325	0,010
A3	0,325	0,325	0,030
A5	0,325	0,325	0,053
B1	0,225	0,225	0,010
B3	0,225	0,225	0,030
B5	0,225	0,225	0,053
C1	0,225	0,325	0,010
C3	0,225	0,325	0,030
C5	0,225	0,325	0,053
D1	0,325	0,225	0,010
D3	0,325	0,225	0,030
D5	0,325	0,225	0,053

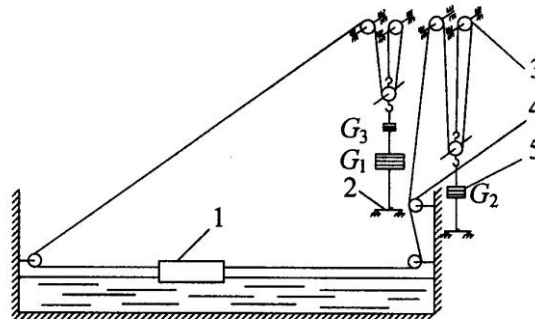


Рис. 1. Схема оборудования опытового бассейна

Для буксировки моделей сплочных единиц применяли трособлочную систему (рис. 1) на базе двух трехкратных ($i_n = 3$) полиспастов, один из которых передавал на модель усилие тяги, другой – усилие торможения. Разгон и равномерное движение модели 1 с достигнутой скоростью осуществляли силой, создаваемой буксировочными грузами $(G_1 + G_3 - G_2)/i_i$. В конце периода равномерного движения груз G_1 доходил до подставки 2 и останавливался. В дальнейшем торможение модели до полной остановки выполняли силой $(G_2 - G_3)/i_i$. Таким образом, в каждом опыте получали данные о трех режимах движения: разгоне, равномерном движении и торможении моделей. Тросы, прикрепленные к грузам G_1 и G_2 , исключали влияние переменной силы, создаваемой весом тросов, огибающих блоки полиспастов 3. Массу грузов, необходимых для преодоления сил трения в трособлочной системе, определяли тарировкой.

Движение моделей фиксировали специальными датчиками, передающими сигнал на ЭВМ. Для этого на блоке 4 трособлочной системы устанавливали диск с прозрачными и непрозрачными участками, при вращении которого прерывался световой поток от светодиода, излучающего в инфракрасной области спектра. Свет поступал на фотодиоды, фиксирующие световые импульсы. Наличие двух расположенных рядом фотодиодов позволяло определять направление движения. Далее электрический сигнал поступал в микроконтроллер – счетчик импульсов и в случае готовности ЭВМ для приема данных вызывал аппаратное прерывание работы центрального процессора, отправляя подсчитанное число. При поступлении сигнала в ЭВМ драйвер устройства сохранял данные в оперативной памяти. Параллельно с информацией о перемещении фиксировались значения системного таймера ЭВМ. По окончании эксперимента вся информация автоматически сохранялась на диске. Таким образом формировали график изменения скорости перемещения от времени (рис. 2). Цель исследований – установить зависимости для определения гидродинамического сопротивления тела при равномерном движении воды, следовательно, данный график использовали не полностью, а частично: только ту часть, на которой зафиксировано равномерное движение. Шаг дискретизации по перемещению

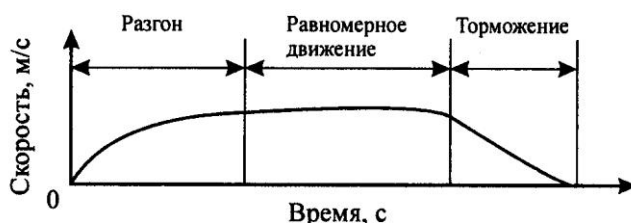


Рис. 2. Схема эксперимента

моделей составляет 0,26 мм, а по времени 55 мс. Максимально возможная фиксируемая скорость для 133 МГц составляет 0,6 м/с, что соответствует при моделировании по критерию подобия Фруда скорости в натуральных условиях 2,7 м/с.

Статистики опытов колеблются в следующих пределах: среднее квадратичное отклонение 0,00082 ... 0,00573 м/с; коэффициент вариации 0,42 ... 3,14; средняя ошибка среднего арифметического 0,00045 ... 0,00243 м/с; показатель точности 0,15 ... 1,40 %.

Гидродинамическое сопротивление воды (R) равномерному движению плоской сплочной единицы находили по классической формуле Ньютона

$$R = \zeta \frac{\rho}{2} \Omega v^2, \quad (1)$$

где ζ – общий безразмерный коэффициент сопротивления движению;

ρ – плотность воды;

v – скорость движения;

Ω – характерная площадь.

Полное сопротивление R складывается из трех составляющих:

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{ф}} + R_{\text{в}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{тр}}$ – сопротивление трения;

$R_{\text{ф}}$ – сопротивление формы;

$R_{\text{в}}$ – волновое сопротивление.

Волновая составляющая применительно к рассматриваемому случаю, ввиду малости скоростей, а следовательно, и числа Фруда, не оказывает существенного влияния на полное сопротивление, и ею можно пренебречь. Тогда формула полного сопротивления принимает вид

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{ф}}. \quad (3)$$

При установке буксировочных грузов, задаваясь различными значениями сопротивления R , определяли соответствующие скорости равномерного движения v . Далее строили графики связи между R и v и методом наименьших квадратов отклонений подбирали функции $R = f(v)$.

Сопротивление трения для моделей вычисляли по формуле

$$R_{\text{тр}} = \zeta_{\text{тр}} \frac{\rho}{2} S v^2, \quad (4)$$

где S – площадь смоченной поверхности модели, $S = (B + 2T)L$;
 B, L, T – соответственно ширина, длина и осадка модели сплочной единицы;
 $\zeta_{\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления трения от общей шероховатости модели; по формуле Л. Прандтля и Г. Шлихтинга [3]

$$\zeta_{\text{тр}} = \left(1,89 + 1,621g \frac{l}{k_s} \right)^{-2,5}, \quad (5)$$

где k_s – эквивалентная «песочная» шероховатость; по данным [4], для моделей лесотранспортных единиц в масштабе 1 : 10 ... 1 : 50 имеем $k_s = 5 \cdot 10^{-4}$ м;

l – характерный линейный размер; для рассматриваемого случая $l = L$.

При известных R и $R_{\text{тр}}$ из выражения (3) для каждой модели определяли сопротивление формы:

$$R_{\text{ф}} = R - R_{\text{тр}}. \quad (6)$$

Коэффициент сопротивления формы подсчитывали по формуле

$$\zeta_{\text{ф}} = \frac{R_{\text{ф}}}{\frac{\rho}{2} B T v^2}. \quad (7)$$

Значения коэффициентов сопротивления трения и формы для различных типоразмеров моделей ПСЕ приведены в табл. 2.

График зависимости коэффициента сопротивления формы $\zeta_{\text{ф}}$ от безразмерного параметра $\psi = \frac{T}{B}$ для моделей плоских сплочных единиц приведен на рис. 3. По этим данным методом наименьших квадратов отклонений получена расчетная эмпирическая зависимость

$$\zeta_{\text{ф}} = 0,655 + 0,0315\psi^{-0,833}. \quad (8)$$

Зависимость справедлива для исследованного интервала $\psi = 0,03 \dots 0,23$.

Данная зависимость была проверена на адекватность экспериментальным данным при помощи F-критерия Фишера для чисел степеней свободы $f_{\text{ад}} = 11$ и $f = 11$ и уровня значимости $q = 0,05$. Дисперсия

Таблица 2

Модель	$\zeta_{\text{тр}}$	$\zeta_{\text{ф}}$	Модель	$\zeta_{\text{тр}}$	$\zeta_{\text{ф}}$
A1	0,009	0,94	C1	0,011	1,36
A3	0,009	0,59	C3	0,011	0,81
A5	0,009	0,74	C5	0,011	0,92
B1	0,011	1,05	D1	0,009	1,44
B3	0,011	0,75	D3	0,009	0,85
B5	0,011	0,73	D5	0,009	0,91

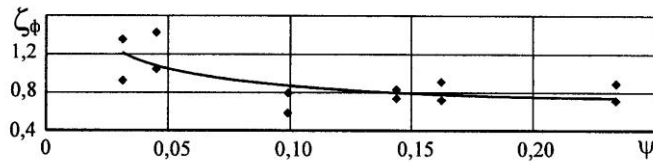


Рис. 3. График зависимости $\zeta_{\phi} = f(\psi)$ для плоских сплочных единиц

воспроизводимости опытных значений составила 0,0639; дисперсия адекватности 0,0332; расчетное значение F-критерия Фишера $F_{\text{расч}} = 0,52$; табличное $F_{\text{табл}} = 2,85$.

Поскольку $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$, была принята гипотеза об однородности дисперсий, а стало быть, адекватности зависимости (8) значениям коэффициентов сопротивления формы, вычисленным по формуле (7). В результате расчетное уравнение для определения полного сопротивления воды движению моделей приняло вид:

$$R = (\zeta_{\phi} BT + \zeta_{\text{тр}} L(B + 2T)) \frac{\rho}{2} v^2. \quad (9)$$

Поскольку коэффициенты ζ_{ϕ} и $\zeta_{\text{тр}}$ безразмерные и исследования проведены в автомодельной области по числу Рейнольдса, формула (9) справедлива также и для натуральных условий. Для подтверждения отсутствия масштабного эффекта проведена натурная проверка результатов исследования.

Цель натуральных испытаний – определение коэффициентов сопротивления формы плоских сплочных единиц и последующее их сравнение с модельными значениями. Испытывали: двухрядную плоскую сплочную единицу размерами 6×6 м, трехрядную – 6×6 и 4×6 м и пятирядную – 6×6 м.

Основные показатели ПСЕ приведены в табл. 3. Натурные ПСЕ обозначали буквой Н и цифрой, соответствующей порядковому номеру типоразмера. Например, Н1 означает, что в натуральных условиях была испытана двухрядная сплочная единица размерами 6×6 м.

Опыты проводили на свободной от наплавных сооружений акватории рейда Архангельского ЦБК в г. Новодвинске, на расстоянии 80 ... 100 м от берега. Приливы и отливы от Белого моря на рейде позволили провести опыты (как и на моделях) при разных скоростях течения.

Таблица 3

Шифр	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Осадка, м
Н1	6	6	0,68	0,58
Н2	4	6	0,72	0,61
Н3	6	6	0,50	0,43
Н4	6	6	1,18	0,98

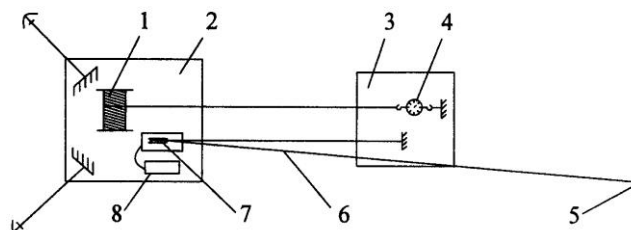


Рис. 4. Расстановка оборудования и приборов при выполнении опытов в натуральных условиях

Размещение оборудования и приборов при проведении опытов показано на схеме (рис.4).

Плоскую плоточную единицу 3 закрепляли за наплавную опору 2. Трос однобарабанной лебедки 1 через динамометр 4 крепили на плоточной единице. Скорость движения измеряли с помощью устройства для фиксации скорости. Вращение контактного блока 7 устройства обеспечивалось огибающим блок нерастяжимым тросом 6. Один его конец закрепляли на плоточной единице, другой – за поплавок 5, который спускали вниз по течению на расстояние 20 ... 30 м. При испытании поплавок двигался в сторону, противоположную течению реки, что обеспечивало необходимое натяжение троса. Данные с контактного устройства поступали на ЭВМ 8. В качестве динамометра 4 использовали, в зависимости от силы влечения потоком, пружинные динамометры типа ДПУ-0,02 и ДПУ-0,2.

Последовательность проведения опыта заключалась в следующем. Для определения силы влечения потоком плоточную единицу спускали вниз по течению на 8 ... 10 м и удерживали в таком состоянии стопором лебедки до полного выбирания слабины троса. Затем выполняли замер по динамометру и результат записывали в журнал измерений. После этого барабан лебедки растормаживали, и плоточная единица под действием силы влечения потоком начинала движение. В это время включали устройство фиксации скорости. По достижении установившегося равномерного движения устройство выключали, включали тормоз лебедки, и плоточная единица останавливалась, после чего лебедкой ее возвращали в исходное состояние. Таким образом, в каждом конкретном опыте получали данные о сопротивлении воды движению плоточной единицы и о скорости движения. Всего проведено 20 опытов, т. е. каждый типоразмер испытывали пять раз.

Одновременно с замером скоростей течения, при самой малой воде, по линии движения плоточной единицы в створе наплавной опоры измеряли глубины. Отношение глубины к осадке плоточной единицы изменялось от 3 до 7. При натурной проверке не исследовали однорядные ПСЕ, у которых отношение глубины к осадке наибольшее, предположительно 12. Это говорит о том, что условия ограниченности потока при натуральных испытаниях адекватны модельным.

Испытания проводили в безветренную погоду. Плотность древесины плоточной единицы подсчитывали как отношение массы к объему.

Таблица 4

Шифр	$\zeta_{тр}$	$\zeta_{ф}$	Шифр	$\zeta_{тр}$	$\zeta_{ф}$
H11	0,008	0,69	H31	0,008	0,64
H12	0,008	0,53	H32	0,008	1,06
H13	0,008	1,07	H33	0,008	1,29
H14	0,008	0,84	H34	0,008	0,72
H15	0,008	0,66	H35	0,008	0,79
H21	0,009	0,77	H41	0,008	0,77
H22	0,009	1,25	H42	0,008	0,76
H23	0,009	0,61	H43	0,008	1,01
H24	0,009	0,47	H44	0,008	0,86
H25	0,009	1,14	H45	0,008	0,73

Массу определяли по динамометру путем взвешивания, объем – как сумму объемов всех бревен в плоской сплочной единице. Осадку замеряли.

По результатам опытов по формуле (7) для ПСЕ находили коэффициент сопротивления формы. При определении сопротивления трения значение k_s принимали по рекомендациям [4], как для лесоматериалов, $k_s = 0,005$ м.

Значения чисел Рейнольдса и Фруда изменялись в следующих пределах: $Re = 11,2 \cdot 10^5 \dots 26,3 \cdot 10^5$, $Fr = 0,029 \dots 0,065$.

Полученные значения коэффициентов сопротивления формы и трения по результатам натуральных испытаний приведены в табл. 4 (вторая цифра шифра указывает номер опыта, к примеру, H14 обозначает четвертый опыт с ПСЕ размерами $6 \times 6 \times 0,68$ м).

Значения коэффициента сопротивления формы в зависимости от $\psi = T/B$ показаны на рис. 5.

Для того чтобы оценить, насколько адекватно зависимость (8) отображает результаты натуральных исследований, определяли F-критерий Фишера для чисел степеней свободы $f_{ад} = 19$ и $f = 19$ и уровня значимости

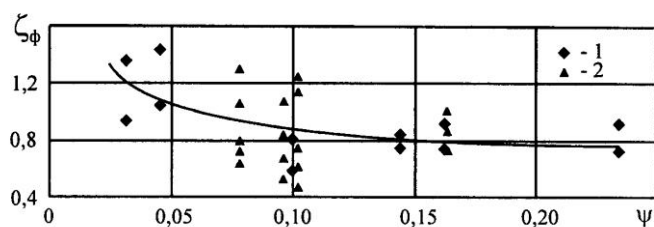


Рис. 5. График зависимости коэффициента сопротивления формы от $\psi = T/B$: — – расчетная кривая, полученная по формуле (8); 1 – результаты экспериментальных исследований на моделях; 2 – результаты натуральных испытаний

$q = 0,05$. Значения статистических оценок составили: дисперсия воспроизводимости опытных значений – 0,0804; дисперсия адекватности – 0,0577; $F_{\text{расч}} = 1,07$; $F_{\text{табл}} = 2,16$.

Поскольку $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$, принята гипотеза об однородности дисперсий, а стало быть, адекватности зависимости (8) значениям коэффициентов сопротивления формы, вычисленным по результатам натурных исследований.

Как видно из рис. 5, коэффициенты сопротивления формы для моделей и натуре хорошо согласуются между собой и эмпирической формулой, подтверждая отсутствие масштабного эффекта. Следовательно, зависимости (5), (8) и (9) могут быть использованы для одно- пятирядных ПСЕ, длина и ширина которых изменяется от 4,5 до 6,5 м, при скоростях буксировки от 0 до 1,5 м/с.

Полученные результаты исследований будут использованы при разработке новых технологий лесосплава по рекам с ограниченными глубинами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, О.М. Проблемы и перспективы транспортного освоения лесопромышленного комплекса [Текст] / О.М. Соколов, А.А. Митрофанов, В.Л. Рымашевский // Лесн. журн. – 2004. – № 3. – С. 37–43. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Митрофанов, А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава [Текст] / А.А. Митрофанов. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 1999. – 288 с.
3. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг; пер. с нем. – М.: Наука, 1969. – 742 с.
4. Худоногов, В.Н. Гидродинамическое взаимодействие плотов и внешней среды [Текст] / В.Н. Худоногов. – Красноярск, 1966. – 225 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 14.11.05

O.V. Murashova, A.A. Mitrofanov

Investigation of Hydrodynamic Characteristics of Flat Raft Sections on Models and in Natural Conditions

Hydrodynamic characteristics of flat raft sections (FRS) are investigated. The resistance coefficients for forms and water friction to FRS movement are determined.

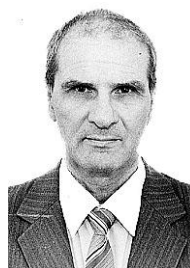


МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 539.3+624.04

А.С. Миляев

Миляев Александр Сергеевич родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Ленинградское высшее военное инженерно-техническое училище ВМФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительной механики С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 60 научных работ в области механики деформируемого твердого тела, в том числе механики силового взаимодействия конструкций и сооружений с грунтом при статических и динамических нагрузках.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОСТЕЛИ ПРИ РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИИ КРУГОВОГО СЕЧЕНИЯ В УПРУГОЙ СРЕДЕ

Из решения контактной задачи о взаимодействии при поступательном перемещении абсолютно твердого кругового цилиндра с упругой средой выведена формула для определения коэффициентов постели основания в упругой стадии деформирования грунтов, которая в явном виде учитывает их деформационные характеристики – модуль упругости и коэффициент Пуассона.

Ключевые слова: упругая среда, конструкции кругового сечения, коэффициент постели, деформирование, грунт.

Надежность инженерных конструкций, взаимодействующих с грунтом и рассчитываемых на модели «балка на упругом основании» (свайные опоры мостов, причальные сооружения на высоких свайных ростверках, трубы в насыпях для отвода воды, обделка автодорожных тоннелей и т.п.), существенно зависит от точности определения коэффициента постели. В практических расчетах подобного рода этот коэффициент выбирают по аналогии из широкого диапазона табличных величин [4] или определяют из опытов.

Например, в приложении 1 к СНИИПам [4] коэффициент постели K_{bed} определяют по формуле

$$K_{bed} = K_{pr} z / g_c, \quad (1)$$

где K_{pr} – коэффициент пропорциональности, кН/м^4 , принимают в зависимости от вида грунта, окружающего сваю, по табл. 1 приложения 1 [4];

z – глубина расположения сечения сваи в грунте, м;

g_c – коэффициент условий работы, принимают равным 1 или 3.

Коэффициенты K_{gr} (в табл. 1 приложения 1 [4]) получены эмпирически [1] и лежат в диапазонах $[(4 \dots 7), \dots, (50 \dots 100)] \cdot 10^3$ кН/м⁴. Эти коэффициенты не зависят от модуля деформации E и коэффициента Пуассона ν , что создает трудности при выборе K_{gr} для грунтов, не указанных в работе [4], хотя деформационные свойства оснований сооружений принято характеризовать при помощи E и ν .

В данной статье выведена формула для определения коэффициентов постели основания в упругой стадии деформирования грунтов, которая в явном виде учитывает их деформационные характеристики.

Для моделирования реакции грунта используем линейно-деформируемую среду (упругое тело), характеризуемую модулем деформации и коэффициентом Пуассона. Конструкцию считаем абсолютно твердым круговым цилиндром (рис. 1). Принимаем, что цилиндр при смещении $U_x^{(0)}$ вниз, в направлении оси Ox , контактирует с упругим телом не по всему контуру L , а только в его нижней половине, поскольку в точках верхней половины контура должны возникать растягивающие напряжения, вызывающие разрыв контактных связей цилиндра с грунтом.

Полагаем, что круговой цилиндр имеет гладкую боковую поверхность и медленно перемещается перпендикулярно своей оси на величину $U_x^{(0)}$, вызывая реакцию силы сопротивления \tilde{R}_x со стороны упругой среды.

Определим напряженно-деформированное состояние (НДС) упругого тела, т. е. найдем зависимость нормальных σ_r , σ_θ и касательных $\tau_{r\theta}$ напряжений от координат точек тела (r, θ) и главный вектор \tilde{R}_x сил

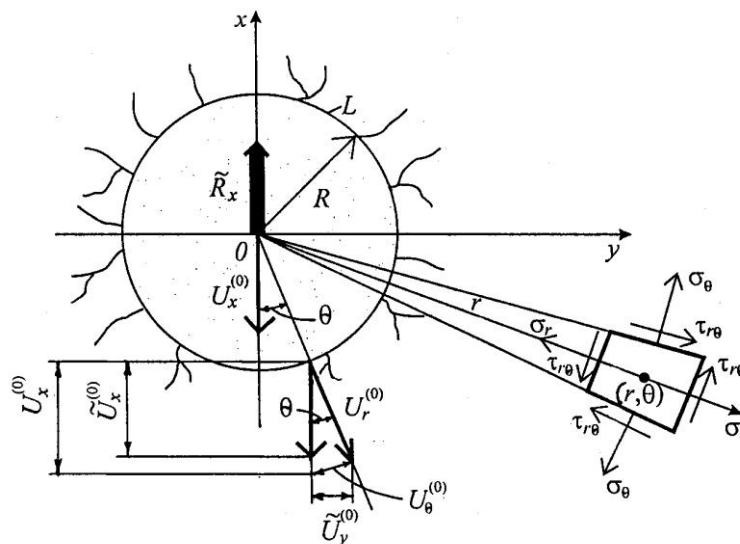


Рис. 1. Расчетная схема с элементарным участком сектора

сопротивления, обусловленных поступательным перемещением цилиндра $U_x^{(0)}$:

$$\tilde{R}_x = -b \int_0^{2\pi} (\sigma_r \cos \theta - \tau_{r\theta} \sin \theta) R d\theta, \quad (2)$$

где b – длина участка образующей цилиндра.

Поскольку боковая поверхность цилиндра – гладкая, то в каждой точке (R, θ) на контактной поверхности цилиндра с упругой средой (на нижней половине) отличной от нуля будет только радиальная составляющая перемещений $U_r^{(0)}$ (тангенциальная составляющая $U_\theta^{(0)}$ равна нулю). На верхней половине контура должны быть равны нулю нормальные σ_r и касательные $\tau_{r\theta}$ напряжения: $\sigma_r(R, \theta) = \tau_{r\theta}(R, \theta) = 0$.

Таким образом, в каждой контактной точке (R, θ) упругого тела на нижней половине контура имеют место смещения $\tilde{U}_x^{(0)}$ и $\tilde{U}_y^{(0)}$.

Следовательно

$$U_r^{(0)} = U_x^{(0)} \cos \theta; \quad \tilde{U}_x^{(0)} = U_r^{(0)} \cos \theta; \quad \tilde{U}_x^{(0)} = U_x^{(0)} \cos^2 \theta; \quad \tilde{U}_y^{(0)} = U_\theta^{(0)} \cos^2 \theta = 0.$$

Примем, что в точках верхней половины контура вертикальные перемещения равны нулю. Тогда граничные условия в перемещениях будут иметь следующий вид:

$$\tilde{U}_x^{(0)} = \begin{cases} \frac{1}{2} U_x^{(0)} \left[1 + \frac{1}{2} (e^{2i\theta} + e^{-2i\theta}) \right], & -\frac{\pi}{2} \leq \theta < \frac{\pi}{2}; \\ 0, & \frac{\pi}{2} \leq \theta < \frac{3}{2} \pi. \end{cases} \quad (3)$$

В результате фиксации в точках верхней половины контура возникают напряжения, главный вектор которых будет действовать в направлении, противоположном главному вектору напряжений в точках нижней половины контура. Результирующий главный вектор напряжений можно будет определить как разность:

$$\tilde{R}_x = -\tilde{R}_{x,\text{down}} + \tilde{R}_{x,\text{up}} = -b \int_{0,5\pi}^{-0,5\pi} (\sigma_r \cos \theta) R d\theta + b \int_{1,5\pi}^{0,5\pi} (\sigma_r \cos \theta - \tau_{r\theta} \sin \theta) R d\theta. \quad (4)$$

В выражении (4) учтено, что на нижней половине контура L касательные напряжения равны нулю, а направление обхода контура положительно.

Полагаем, что НДС упругой среды вдали от полости не изменяется в результате перемещения цилиндра, а также не возникает жесткого перемещения или поворота упругого тела в целом.

Напряженное состояние упругой среды определяется комплексными потенциалами $\varphi(z)$, $\psi(z)$ [3], через которые выражают напряжения σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ в каждой точке упругой среды вне круговой полости радиусом R .

Для определения комплексных потенциалов $\varphi(z)$ и $\psi(z)$ применим метод, разработанный Н. И. Мусхелишвили [3].

На плоскости xOy введем комплексную переменную $z = x + iy = re^{i\theta}$ и область $|z| > R$ на плоскости z отображим на область $|\zeta| > 1$ на вспомогательной плоскости ζ :

$$z = \omega(\zeta) = R\zeta, \quad (5)$$

где R – радиус полости, положительное действительное число;

ζ – комплексная переменная, $\zeta = re^{i\alpha}$.

Отображение (5) является конформным преобразованием подобия

$$|z| > R |\zeta|; \arg z = \arg \zeta; \alpha = \theta. \quad (6)$$

В области $|z| > R$ функции $\varphi(z)$, $\psi(z)$ считаем голоморфными.

Граничное условие поставленной задачи на плоскости ζ запишем в виде [3]

$$\kappa\varphi(t) - \frac{\omega(t)}{\omega'(t)} \overline{\varphi'(t) - \psi(t)} = 2G\tilde{U}_x^{(0)}(t), \quad (7)$$

где G – модуль сдвига, $G = E/(2(1 + \nu))$;

κ – параметр, $\kappa = 3 - 4\nu$;

t – дуговая переменная на окружности γ единичного радиуса ($|\zeta| = 1$),
 $t = e^{i\theta}$.

С учетом соотношений $\omega(\zeta) = R\zeta$, $\omega'(\zeta) = R$, $\overline{\omega'(\zeta)} = R$ граничное условие задачи (7) преобразуем следующим образом:

$$\kappa\varphi(t) - \overline{t\varphi'(t) - \psi(t)} = GU_x^{(0)}(1 + 0,5(t^2 + t^{-2})). \quad (8)$$

Умножив каждый член уравнения (8) на $\frac{1}{2\pi i} \frac{dt}{t - \zeta}$ и проинтегрировав по дуге γ окружности $|\zeta| = 1$, получим выражение для $\varphi(\zeta)$ в форме интегралов типа Коши:

$$-\kappa\varphi(\zeta) = \frac{GU_x^{(0)}}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{(1 + 0,5(t^2 + t^{-2}))dt}{t - \zeta} + \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{\overline{t\varphi'(t)dt}}{t - \zeta}. \quad (9)$$

По теореме Коши и ее следствию 2-й интеграл в правой части (9) равен нулю и потенциал $\varphi(\zeta)$ определяется только смещением точек контура:

$$\varphi(\zeta) = -\frac{GU_x^{(0)}}{\kappa} \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} \frac{(1 + 0,5(t^2 + t^{-2}))(t)dt}{t - \zeta}. \quad (10)$$

Поскольку функция ζ – голоморфная в области $|\zeta| < 1$, интеграл от второго слагаемого справа в (10) при $|\zeta| > 1$ равен нулю. Интеграл от первого слагаемого справа в (10) определим непосредственно:

$$\int_{\gamma} \frac{dt}{t - \zeta} = \ln(t - \zeta) \Big|_{\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\pi}{2}} = \ln \frac{\zeta + \pi/2}{\zeta - \pi/2}, \quad (11)$$

где γ – пределы от $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$.

Функцию $\varphi(\zeta)$ выразим в виде

$$\varphi(\zeta) = \frac{GU_x^{(0)}}{\kappa} \left(\frac{1}{\zeta^2} - \frac{1}{\pi i} \ln \frac{\zeta + \pi/2}{\zeta - \pi/2} \right). \quad (12)$$

Для определения $\psi(\zeta)$ вместо граничного условия (8) используем его сопряженное выражение:

$$\kappa \overline{\varphi(t)} - \frac{1}{t} \varphi'(t) - \psi(t) = GU_x^{(0)} (1 + 0,5(t^{-2} + t^2)). \quad (13)$$

Умножим все члены (13) на $\frac{1}{2\pi i} \frac{dt}{t - \zeta}$ и проинтегрируем по дуге γ окружности $|\zeta| = 1$. Так как функция $\overline{\varphi(\bar{\zeta})}$ – голоморфная в области $|\zeta| < 1$, то интеграл от первого слагаемого в (13) равен нулю. Для определения функции $\psi(\zeta)$ воспользуемся выражением

$$\psi(\zeta) = \frac{GU_x^{(0)}}{2\kappa} \frac{1}{2\pi i} \left[\int_{\gamma} \left(\frac{2}{t^4} + \frac{i}{t(t^2 - \pi^2/4)} \right) \frac{dt}{(t - \zeta)} - \kappa \int_{\gamma} \frac{(1 + 0,5(t^2 + t^{-2})) dt}{t - \zeta} \right] + \psi(\infty). \quad (14)$$

В формуле (14) первый справа интеграл равен

$$\frac{GU_x^{(0)}}{2\kappa} \left[\frac{2}{\zeta^4} + \frac{i}{(\zeta^2 - \pi^2/4)\zeta} \right], \quad (15)$$

второй справа –

$$\frac{GU_x^{(0)}}{2\kappa} \left(\frac{i\kappa}{\pi} \ln \frac{\zeta + \pi/2}{\zeta - \pi/2} - \frac{\kappa}{\zeta^2} \right). \quad (16)$$

Умножив каждый член граничного условия (13) на $\frac{1}{2\pi i} \frac{dt}{t}$ и проинтегрировав по дуге γ , в нашем случае (отсутствие перемещений на бесконечно удаленной границе) для $\psi(\infty)$ получим

$$\psi(\infty) = -GU_x^{(0)}. \quad (17)$$

Просуммировав (15)–(17), найдем

$$\psi(\zeta) = -\frac{GU_x^{(0)}}{2\kappa} \left[\frac{2}{\zeta^4} - \frac{\kappa}{\zeta^2} + i \left(\frac{1}{\zeta(\zeta^2 - \pi^2/4)} + \frac{\kappa}{\pi} \ln \frac{\zeta + \pi/2}{\zeta - \pi/2} \right) \right] - GU_x^{(0)}. \quad (18)$$

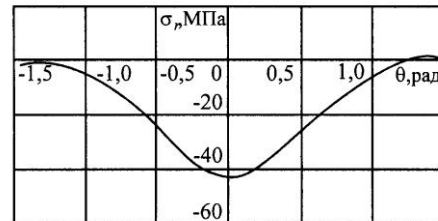
Располагая потенциалами $\varphi(\zeta)$ (12) и $\psi(\zeta)$ (18), напряжения $\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}$ в любой точке (r, θ) упругого тела вне круговой полости можно определить следующим образом. Введем вспомогательную функцию

$$\Omega = [e^{i\theta} \varphi''(\zeta) + e^{2i\theta} \psi'(\zeta)]/R. \quad (19)$$

Напряжения выразим через Ω :

$$\sigma_r = \text{Re}[2\varphi'(\zeta)/R - \Omega(\zeta)]; \quad \sigma_\theta = \text{Re}[2\varphi'(\zeta)/R + \Omega(\zeta)]; \quad \tau_{r\theta} = \text{Im}[\Omega(\zeta)]. \quad (20)$$

Распределение напряжений σ_r по нижней части контура полости радиусом $R = 3,5$ м при смещении жесткого цилиндра на величину $U_x^{(0)} = 1$ м и значениях модуля упругости $E = 10$ МПа и коэффициента Пуассона $\nu = 0,25$ представлено на рис. 2.

Рис. 2. Распределение напряжений σ_r по нижней половине контура L 

В формулах (12), (18)–(20) заменим переменную $\zeta = z/R$ и положим на контуре $z = Re^{i\theta}$. Подставив выражения напряжений σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$ (20) на контуре L в формулу для главного вектора \tilde{R}_x (4), получим

$$\tilde{R}_{x,\text{down}} = b \frac{GD}{4\kappa} U_x^{(0)} \int_{\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\pi}{2}} (\sigma_r \cos \theta) d\theta, \quad (21)$$

$$\tilde{R}_{x,\text{up}} = -b \frac{GD}{4\kappa} U_x^{(0)} \int_{\frac{3\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (\sigma_r \cos \theta - \tau_{r\theta} \sin \theta) d\theta. \quad (22)$$

Числовые значения интегралов в правой части (21) и (22) соответственно равны 1,794 и 0,0013. Следовательно, теоретическое выражение для коэффициента постели

$$K_{\text{th}} = \frac{\tilde{R}_x}{bDU_x^{(0)}} = 1,793 \frac{G}{4\kappa} \cong 0,224 \frac{E}{(1+\nu)(3-4\nu)}. \quad (23)$$

Верификация формулы (23) для коэффициентов постели была выполнена двумя способами для 17 типов грунтов Выборгского района г. С.-Петербурга с известными модулями деформации E и коэффициентами Пуассона ν : сравнением с коэффициентами пропорциональности K_{pr} из табл. 1 приложения 1 [4] и численным решением контактной задачи о взаимодействии жесткого кругового цилиндра с упругой средой при его поступательном перемещении.

Из табл. 1 приложения 1 [4] видно, что K_{bed}/z – постоянная для данного типа грунтов величина; обозначим ее буквой C_0 . Тогда числовые значения коэффициентов пропорциональности K_{pr} во всех случаях, кроме многорядного расположения свай в фундаменте с низким ростверком, опирающимся на грунт, можно определить по формуле

$$K_{\text{pr}} = g_c C_0 = 3C_0. \quad (24)$$

Полагая в (24) $C_0 = K_{\text{th}}$, для коэффициента пропорциональности получим $K_{\text{pr}} = 3K_{\text{th}}$. Значения теоретических коэффициентов постели $3K_{\text{th}}$ лежат в диапазоне $(2,80 \dots 31,25) \cdot 10^3 \text{ кН/м}^4$.

Сравнивая числовые значения $3K_{\text{th}}$ с числовыми значениями K_{pr} в табл. 1 приложения [4], видим, что K_{th} для грунтов, характеризуемых пара-

метрами E и ν , либо попадают в интервалы изменения $K_{pr}/3$ из табл. 1 приложения [4], либо близки к нижней границе этих интервалов.

Учитывая эмпирический («грубо ориентировочный» [1]) характер числовых значений K_{pr} из табл. 1 приложения [4], можно сделать вывод об удовлетворительном соответствии K_{th} опытными данным.

Для численного решения была построена конечно-элементная модель (КЭ-модель) кругового цилиндра большой жесткости ($E = 300$ ТПа, $\nu = 0,15$) радиусом $R = 3,55$ м в упругом цилиндрическом кольце (внутренний радиус $R = 3,55$ м, внешний радиусом $R_b = 37,00$ м), закрепленном по внешнему контуру. Значения E и ν упругого цилиндрического кольца соответствовали деформационным свойствам 17 типов грунтов Выборгского района г. С.-Петербурга до глубины 70 м (задачу решали для расчета обделки метрополитена [2]).

Модуль деформации слоя грунта толщиной 15 см, прилегающего к верхней половине контура L жесткого цилиндра, принимали равным 125 Па с тем, чтобы исключить влияние растягивающих напряжений в верхней половине контура L на главный вектор \tilde{R}_x . Для внутреннего цилиндра, нагруженного собственным весом, определяли главный вектор \tilde{R}_x и смещения $U_{x,fem}$.

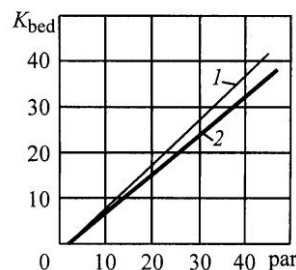
Коэффициенты постели K_{fem} для КЭ-модели рассчитывали по формуле $K_{fem} = \tilde{R}_x / (b2R U_{x,fem})$. Значения K_{fem} сравнивали с теоретическими K_{th} . Относительная ошибка не превышала 7 %.

На рис. 3 изображены графики зависимости теоретических K_{th} (2) и рассчитанных по КЭ-модели K_{fem} (1) коэффициентов постели от параметра $par = G/k$ для 17 типов грунтов Выборгского района С.-Петербурга. Как видно из рис. 3, коэффициенты постели K_{fem} линейно зависят от параметра G/k , численные значения K_{th} дают нижнюю границу K_{fem} , отличаясь от них в среднем на 7 % (в запас прочности).

Расхождение между K_{th} и K_{fem} объясняется тем, что в КЭ-модели перемещения вследствие ограниченности числа степеней свободы модели меньше, чем в решенной задаче.

Таким образом, нами выведена формула (23) для определения коэффициентов постели K_{th} оснований для смещающихся в нескальных грунтах

Рис. 3. Коэффициенты постели грунтов: 1 – рассчитанные по КЭ-модели; 2 – теоретические



круговых цилиндров, которая в явном виде учитывает деформационные характеристики грунтов – модуль деформации и коэффициент Пуассона. Эта формула, снимая неопределенности, связанные с идентификацией грунтов, позволяет повысить точность расчетов на продольно-поперечный изгиб свайных опор мостов, причальных сооружений на высоких свайных ростверках, обделок тоннелей, подземных трубопроводов и других инженерных конструкций, взаимодействующих с грунтом, находящимся в упругой стадии деформирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Завриев, К.С.* Расчеты фундаментов мостовых опор глубокого заложения [Текст] / К.С. Завриев, Г.С. Шпиро. – М.: Транспорт, 1970. – 215 с.
2. *Миляев, А.С.* Надежность гидроизоляции тоннеля С.-Петербургского метрополитена на участке «Лесная» – «Площадь мужества» [Текст] / А.С. Миляев // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности и методы их решения: тр. V Междунар. конф., 14–17 окт. 2003 г. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 316–330.
3. *Мусхелишвили, Н.И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости [Текст] / Н.И. Мусхелишвили. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
4. СНиП 2.02.03–85. Свайные фундаменты [Текст]. – М., 1996. – 46 с.

С.-Петербургская лесотехническая
академия

Поступила 01.03.05

A.S. Milyaev

Determination of Soil Reaction Coefficient when Calculating Structure of Circular Cross-section in Elastic Medium

Based on the contact task solution regarding interaction of absolutely hard circular cylinder with elastic medium under the cylinder translational displacement the formula is derived for determining soil reaction coefficients in the elastic stage of soil deformation that takes into account its deformational characteristics – elasticity module and Poisson's ratio.



УДК 674.047

Я.И. Соколовский, М.В. Дендюк, Б.П. Поберейко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Предложена математическая модель определения напряженно-деформационного состояния древесины при сушке с учетом ее вязкоупругих свойств и анизотропии.

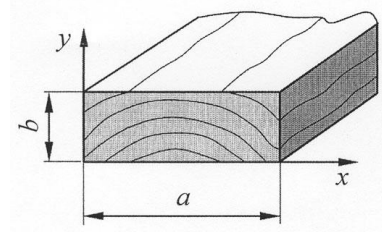
Ключевые слова: древесина, сушка, влагосодержание, вязкоупругость, напряженно-деформационное состояние, метод конечных элементов.

Актуальность исследований. Разработка новых и усовершенствование существующих прогрессивных технологий сушки древесины остро ставит проблему разработки универсальных методов синтеза и анализа деформационно-релаксационных и тепломассообменных полей. Значительные по величине напряжения – это основной сдерживающий фактор для интенсификации процесса сушки. Решение данной проблемы затруднено, так как древесина относится к классу физически нелинейных гидрофильных полимеров, которые характеризуются значительной изменчивостью структурных и физико-механических свойств.

Анализ известных исследований. Реологическое поведение древесины в процессе сушки рассмотрено в большом количестве работ теоретического и экспериментального характера, обширный анализ которых приведен в работе [11]. Напряжения и деформации, возникающие в высушиваемой древесине, проанализированы на расчетных стержневых одноосных моделях [6, 10, 12] с учетом зависимости модуля упругости древесины от влаги. Числовые методы позволяют решить плоскую задачу напряженно-деформационного состояния пиломатериалов при сушке [4, 12]. Такие же задачи, только с учетом анизотропии механических свойств материала, рассмотрены в работах [8, 15, 22]. В работах [20, 21] использован характерный подход, связанный с существованием особого механизма создания механико-сорбционной ползучести и выявленного для условий циклического изменения влажности нагруженной древесины. Особенности деформирования древесины с учетом ее вязкоупругих свойств в рамках одномерной задачи изучены в работах [8–10, 17]. Взаимосвязь деформационно-релаксационных и тепломассообменных процессов рассмотрена в [7].

В данной работе методом конечных элементов (МКЭ) рассмотрено напряженно-деформационное состояние высушиваемой древесины как двухмерного анизотропного материала с учетом его реологических свойств. Здесь проведено обобщение МКЭ для определения напряжений в вязкоупругой области деформирования двухмерного анизотропного материала. Данные результаты явились продолжением исследований [16, 19], в которых

Рис. 1. Схема для постановки задачи



с помощью МКЭ рассматривали нестационарное температурно-влажностное поле древесины с учетом анизотропии теплофизических свойств материала.

Постановка задачи и математическая модель. Определение напряженно-деформационного состояния древесины в процессе сушки базируется на моделировании связи деформационно-релаксационных и массообменных процессов с использованием общих положений термодинамики необратимых процессов и методов механики сплошной среды. Для двухмерной задачи (рис. 1) связь между компонентами напряжений $\sigma(t)$ и деформаций $\varepsilon(t)$ выражают интегральными уравнениями наследственной теории Больцмана–Вольтерры [3]:

$$\sigma_{11}(t) = C_{1111}\varepsilon'_{11} - C_{1111}\int_0^t R_{1111}(t-\tau)\varepsilon'_{11}(\tau)d\tau + C_{1122}\varepsilon'_{22} - C_{1122}\int_0^t R_{1122}(t-\tau)\varepsilon'_{22}(\tau)d\tau; \quad (1)$$

$$\sigma_{22}(t) = C_{2211}\varepsilon'_{11} - C_{2211}\int_0^t R_{2211}(t-\tau)\varepsilon'_{11}(\tau)d\tau + C_{2222}\varepsilon'_{22} - C_{2222}\int_0^t R_{2222}(t-\tau)\varepsilon'_{22}(\tau)d\tau; \quad (2)$$

$$\sigma_{12}(t) = 2C_{1212}\varepsilon'_{12} - 2C_{1212}\int_0^t R_{1212}(t-\tau)\varepsilon'_{12}(\tau)d\tau, \quad (3)$$

где σ_{ij} – компоненты напряжений;

ε'_{ij} – компоненты тензоров деформаций, вызванные изменением влаги в материале;

$R(t-\tau)$ – ядра релаксации;

C – компоненты тензоров упругих постоянных,

$$C_{1111} = \frac{E_{1111}}{1-\nu_1\nu_2}; \quad C_{1122} = C_{2211} = \frac{\nu_1 E_{2222}}{1-\nu_1\nu_2}; \quad C_{2222} = \frac{E_{2222}}{1-\nu_1\nu_2}; \quad 2C_{1212} = \mu;$$

μ – модуль сдвига;

E – модуль упругости;

ν – коэффициент Пуассона.

Общепринятая формулировка МКЭ [2, 5] предполагает отыскание поля перемещений и связана с минимизацией потенциальной энергии системы на основе расчета узловых значений вектора перемещений. После того, как перемещения будут определены, рассчитывают компоненты тензоров деформаций $\{\varepsilon\}$ и напряжений $\{G\}$.

Энергию деформации бесконечно малого объема dV определяют по формуле

$$d\Lambda = \frac{1}{2} \left[\{\varepsilon\}^T \{\sigma\} - \{\varepsilon_0\}^T \{\sigma\} \right],$$

где T – операция транспонирования.

Полную энергию деформации получают интегрированием по объему тела:

$$\Lambda = \int_V \frac{1}{2} \left[\{\varepsilon\}^T \{\sigma\} - \{\varepsilon_0\}^T \{\sigma\} \right] dV. \quad (4)$$

Компоненты тензора деформаций $\{\varepsilon_0\}$, вызванные усадкой материала при удалении влаги в процессе сушки с учетом анизотропии, определяют из следующей зависимости [10, 12]:

$$\{\varepsilon_0\}^T = \{K_\beta\}^T \Delta U, \quad (5)$$

где $\{K_\beta\}^T = [K_{\beta_{11}} \quad K_{\beta_{22}} \quad 0]$ – коэффициенты тензора усадки в направлениях осей анизотропии;

ΔU – изменение влагосодержания U за промежуток времени $\Delta\tau$.

Для описания нестационарного влагопереноса в процессе сушки древесины на этапе удаления связанной влаги используют уравнение [13] с граничными условиями 3-го рода $U = U_B(S)$, $\alpha \frac{\partial U}{\partial n} = \beta(U_\Pi - U_R)$ и начальным условием $U|_{\tau=0} = U_0$:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \alpha_x \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \alpha_y \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}, \quad (6)$$

где

$U_B(S)$ – влагосодержание на поверхности, которое может быть функцией координат;

n – внешняя нормаль;

β – коэффициент теплоотдачи, м/с²;

U_Π и U_R – влагосодержание на поверхности и равновесное.

α_x, α_y – коэффициенты теплопроводности вдоль осей анизотропии, м/с².

В процессе сушки начальное распределение влаги U_0 принимают равномерным ($U_0 = \text{const}$), на этапе регулярного процесса (критерий Фурье $F_0 = 0,1$) – параболическим:

$$U|_{F_0=0,1} = U_\Pi - \left[1 - \left(\frac{x-a/2}{a/2} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{y-b/2}{b/2} \right)^2 \right] (U_\Pi - U_\Pi),$$

где U_Π – влагосодержание в центре пиломатериала.

Обобщение метода конечных элементов на вязкоупругую область деформирования древесины и числовая реализация. Для определения вязкоупругих компонент деформаций используем закон Больцмана–Вольтерры

(1)-(3) в матричном виде с учетом реологического поведения древесины в процессе сушки:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon_0\} - [D]\{\varepsilon\} - [D_1]\{\varepsilon_{01}\} + [D_1]\{\varepsilon_1\} - [D_2]\{\varepsilon_{02}\} + [D_2]\{\varepsilon_2\}, \quad (7)$$

где

$$[D] = \begin{bmatrix} C_{1111} & C_{1122} & 0 \\ C_{2211} & C_{2222} & 0 \\ 0 & 0 & 2C_{1212} \end{bmatrix}; \quad [D_1] = \begin{bmatrix} C_{1111} & 0 & 0 \\ 0 & C_{2222} & 0 \\ 0 & 0 & 2C_{1212} \end{bmatrix};$$

$$[D_2] = \begin{bmatrix} 0 & C_{1122} & 0 \\ C_{2211} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \{\varepsilon_0\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{011} \\ \varepsilon_{022} \\ \varepsilon_{012} \end{Bmatrix}; \quad \{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{Bmatrix};$$

$$\{\varepsilon_{01}\} = \begin{Bmatrix} \int_0^t R_{1111}(t-\tau)\varepsilon_{011}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{2222}(t-\tau)\varepsilon_{022}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{1212}(t-\tau)\varepsilon_{012}(\tau)d\tau \end{Bmatrix}; \quad \{\varepsilon_{02}\} = \begin{Bmatrix} \int_0^t R_{2211}(t-\tau)\varepsilon_{011}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{1122}(t-\tau)\varepsilon_{022}(\tau)d\tau \\ 0 \end{Bmatrix};$$

$$\{\varepsilon_1\} = \begin{Bmatrix} \int_0^t R_{1111}(t-\tau)\varepsilon_{11}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{2222}(t-\tau)\varepsilon_{22}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{1212}(t-\tau)\varepsilon_{12}(\tau)d\tau \end{Bmatrix}; \quad \{\varepsilon_2\} = \begin{Bmatrix} \int_0^t R_{2211}(t-\tau)\varepsilon_{11}(\tau)d\tau \\ \int_0^t R_{1122}(t-\tau)\varepsilon_{22}(\tau)d\tau \\ 0 \end{Bmatrix}.$$

Для определения критериев выбора ядра релаксации $R(t-\tau)$ необходимо исходить из специфических особенностей реологического поведения древесины под действием постоянной механической нагрузки в разных стационарных температурно-влажностных условиях. Исходя из исследований [8, 9, 18], выбираем ядро реологического поведения древесины:

$$R(t-\tau) = \aleph e^{-\mu(t-\tau)},$$

где \aleph, μ – реологические параметры ядра, которые определяют экспериментально [10, 18] по методике [14].

Для определения остаточной деформации ядро $R(t-\tau)$ может быть представлено в виде $R(t-\tau) = \varphi_1(t)\varphi_2(\tau)$ при $\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi_1(t) \neq 0$.

Запишем ядро $R(t)$ через узловые значения по времени t_j , применив метод квадратур [1]:

$$\int_0^t R(t-\tau)\varepsilon_0(\tau)d\tau = \int_0^{t_i} \aleph e^{-\mu(t_i-\tau)}\varepsilon_0(\tau)d\tau = e^{-\mu t_i} \sum_{j=1}^{i-1} A_j \aleph(t_j) \varepsilon_0(t_j) e^{\mu_j t_j},$$

где A_j – коэффициенты в узлах j , $A_j = 1,0$ – для постоянного шага интегрирования при $1 < j < i$, $A_j = 0,5$ – в остальных случаях.

Полная потенциальная энергия, согласно концепции МКЭ,

$$\Pi = \sum_{e=1}^E \Lambda^{(e)}, \quad (8)$$

где E – общее количество элементов;

$\Lambda^{(e)}$ – энергия деформации e -го элемента, которую определяют с учетом (4), (5) и (7).

Для того, чтобы минимизировать величину Π , продифференцируем выражение (8) по $\{L\}$, приравняем к нулю и запишем в векторно-матричной форме:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \{L\}} = \sum_{e=1}^E [k^{(e)}] \{L\} + \{f^{(e)}\} = 0,$$

где

$$[k^{(e)}] = \int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^T [D^{(e)}] [B^{(e)}] dV; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \{f^{(e)}\} = & - \int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^T [D^{(e)}] \{\epsilon_0^{(e)}\} dV + \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} [B^{(e)}]^T [D_1^{(e)}] \{\epsilon_{01}^{(e)}\} dV - \\ & - \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} [B^{(e)}]^T [D_1^{(e)}] \{\epsilon_1^{(e)}\} dV + \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} [B^{(e)}]^T [D_2^{(e)}] \{\epsilon_{02}^{(e)}\} dV - \\ & - \int_{V^{(e)}} \frac{1}{2} [B^{(e)}]^T [D_2^{(e)}] \{\epsilon_2^{(e)}\} dV; \end{aligned} \quad (10)$$

$$[B] = \frac{1}{2S} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_k & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_k \\ \frac{c_i}{2} & \frac{b_i}{2} & \frac{c_j}{2} & \frac{b_j}{2} & \frac{c_k}{2} & \frac{b_k}{2} \end{bmatrix}; \quad \begin{cases} b_i = (y_j - y_k) \\ c_i = (x_k - x_j) \end{cases}; \quad \begin{cases} b_j = (y_k - y_i) \\ c_j = (x_i - x_k) \end{cases};$$

$$\begin{cases} b_k = (y_i - y_j) \\ c_k = (x_j - x_i) \end{cases};$$

S – площадь конечного e -го элемента;

(x_i, y_i) , (x_j, y_j) , (x_k, y_k) – соответственно координаты узлов i, j, k , в данном случае, треугольного симплекс-элемента.

Для определения матриц деформаций в (10) необходимо знать распределение влаги в каждой точке сечения. Таким образом, перед тем, как рассчитывать поле перемещений, необходимо решить дифференциальное уравнение (6) в частных производных с системой граничных и начальных условий.

С вариационной точки зрения, решение (6) эквивалентно нахождению минимума функционала

$$\chi = \int_V \frac{1}{2} \left[\alpha_x \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \alpha_y \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 + 2 \frac{\partial U}{\partial \tau} U \right] dV + \int_{S_2} \frac{\beta}{2} (U - U_R)^2 dS .$$

Продифференцировав слагаемые функционала для каждого элемента при узловых значениях влагосодержания и приравняв результат к нулю, получим линейное дифференциальное уравнение первого порядка для определения $\{U\}$:

$$\frac{\partial \chi^{(e)}}{\partial \{U\}} = [k^{(e)}] \{U\} + [c^{(e)}] \frac{\partial \{U\}}{\partial \tau} + \{f^{(e)}\} = 0, \quad (11)$$

где

$$[k^{(e)}] = \int_{V^{(e)}} [B_U^{(e)}]^T [D^{(e)}] [B_U^{(e)}] dV + \int_{S_2^{(e)}} \beta [N^{(e)}]^T [N^{(e)}] dS; \quad (12)$$

$$[c^{(e)}] = \int_V [N]^T [N] dV; \{f^{(e)}\} = - \int_{S_2^{(e)}} \beta U_R [N^{(e)}]^T dS; [B_U] = \frac{1}{2S} \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix}. \quad (13)$$

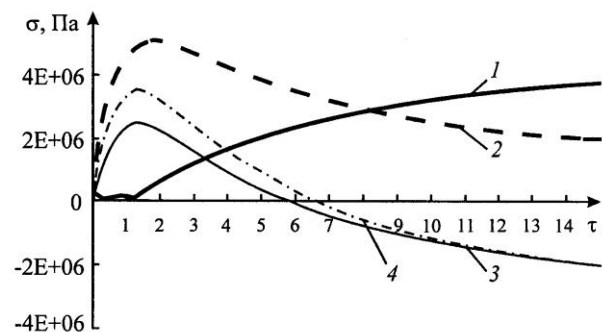
Матрицы $[K]$, $[C]$ и $\{F\}$, элементы которых описаны соотношениями (12), (13), определяют матрицы влагопроводности, демпфирования и нагрузки. Все интегралы в формулах (12), (13) взяты по отдельным элементам, а суммирование их вкладов проведено методом прямой жесткости [12].

В конечном итоге, для решения дифференциального уравнения (11) получена система уравнений:

$$[A] \{U\}_{\text{нов}} = [P] \{U\}_{\text{стар}} - \{F\}; A = [K] + \frac{2}{\Delta \tau} [C]; P = \frac{2}{\Delta \tau} [C].$$

Матрица $[A]$ есть комбинация матриц $[C]$ и $[K]$, она зависит от шага во времени $\Delta \tau$. Если $\Delta \tau$ не изменяется и теплофизические параметры древесины не зависят от $\{U\}$, тогда значения элементов матрицы $[A]$ во все моменты времени постоянны. Если $\Delta \tau$ или параметры материала изменяются в процессе решения, тогда матрицу $[A]$ необходимо каждый раз вычислять заново. Эта процедура значительно увеличивает объем вычислений, но она необходима при переменном $\Delta \tau$ или в случае, когда α_x , α_y и другие свойства древесины являются функциями влажности.

Рис. 2. Изменение напряжений σ_{xx} для разных точек сечения ($y = b/2$): 1 – $x = a/8$; 2 – $x = a/4$; 3 – $x = 3a/8$; 4 – $x = a/2$



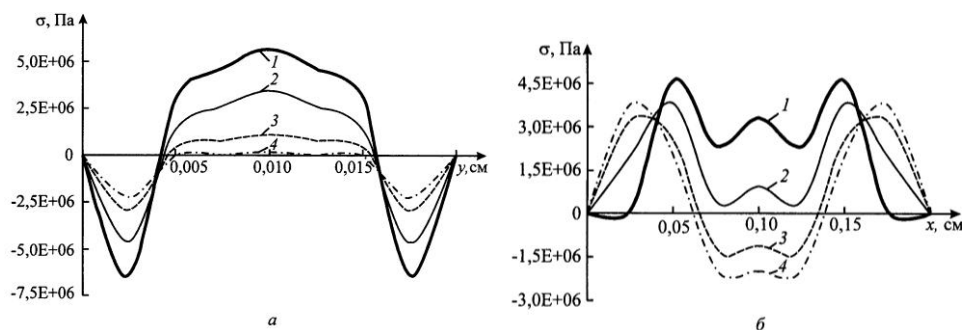


Рис. 3. Распределение напряжений σ_{yy} вдоль толщины при $x = a/2$ (а) и напряжений σ_{xx} вдоль ширины при $y = b/2$ (б) для различных моментов времени сушки: 1 – 1 ч; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 15 ч

Результаты исследований. Расчеты для тангенциальных сосновых досок размером сечения $a \times b = 20 \times 2$ см, $E_1 = 670$ МПа, $E_2 = 550$ МПа, $\mu = 484$ МПа, $\nu = 0,38$, $\beta_x = \beta_y = 0,0023$, высушиваемых в условиях постоянного технологического режима (температура агента сушки $t_c = 88$ °С; относительная влажность $\varphi = 30$ %; коэффициенты: влагопроводности $\alpha_x = 1,8 \cdot 10^{-9}$ м/с, $\alpha_y = 2,25 \cdot 10^{-9}$ м/с, влагообмена $b_x = b_y = 3,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с), проведены в течение 15 ч с постоянным шагом $\Delta t = 3$ мин.

Численный алгоритм реализован с применением объектно-ориентированного программирования. На основании проведенного численного эксперимента исследовано влияние гигроскопической влажности, анизотропии теплофизических свойств и геометрических размеров пиломатериалов на распределение плоского напряженно-деформационного состояния древесины. На рис. 2, 3 приведены графические зависимости изменения нормальных напряжений σ_x и σ_y от времени в разных точках пиломатериалов.

Таким образом, полученные результаты позволяют судить о достаточно сложном характере изменения напряжений в высушиваемой древесине с учетом ее реологических свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верлань, А.Ф. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы [Текст] / А.Ф. Верлань, В.С. Сизиков. – К.: Наук. думка, 1986. – 544 с.
2. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация: пер. с англ. [Текст] / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
3. Кристинсен, Р. Введение в теорию вязкоупругости [Текст] / Р. Кристинсен. – М.: Мир, 1974. – 268 с.
4. Лапшин, Ю.Г. Некоторые задачи деформирования материалов при переменной температуре и влажности [Текст] / Ю.Г. Лапшин // Лесн. журн. – 1970. – № 1. – С. 156–159. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов [Текст] / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979. – 394 с.

6. *Серговский, П.С.* О методе расчета внутренних напряжений при сушке [Текст] / П.С. Серговский, Б.Н. Уголев, Н.В. Скуратов // Науч. тр. / МЛТИ. – 1981. – Вып. 117.
7. *Соколовский, Я.И.* Взаимосвязь деформационно-релаксационных и теплообменных процессов при сушке капиллярно-пористых тел [Текст] / Я.И. Соколовский // Прикладная механика. – 1998. – 34, № 9. – С. 101–107.
8. *Соколовский, Я.И.* Идентификация и способ контроля напряженно-деформируемого состояния древесины в процессе сушки [Текст] / Я.И. Соколовский, Б.П. Поберейко // Структура, свойства и качество древесины – 2000: тр. 3-го Междунар. симп. – Петрозаводск, 2000. – С. 284–287.
9. *Соколовский, Я.И.* Расчет нестационарных напряжений в древесине при воздействии влаги [Текст] / Я.И. Соколовский, Б.П. Поберейко // Лесн. журн. – 2000. – № 1. – С. 99–105. – (Изв. высш. учеб. заведений).
10. *Уголев, Б.Н.* Деформативность древесины и напряжения при сушке [Текст] / Б.Н. Уголев. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 174 с.
11. *Уголев, Б.Н.* История и перспективы развития исследований сушильных напряжений в древесине [Текст] / Б.Н. Уголев // Структура, свойства и качество древесины – 96: тр. 2-го Междунар. симп. – Москва–Мытищи, 1996. – С. 230–238.
12. *Уголев, Б.Н.* Контроль напряжений при сушке древесины [Текст] / Б.Н. Уголев, Ю.Г. Лапшин, Е.В. Кротов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 208 с.
13. *Шубин, Г.С.* Сушка и тепловая обработка древесины [Текст] / Г.С. Шубин. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 236 с.
14. *Поберейко, Б.П.* Методика визначення параметрів кривих повзучості деревини [Текст] / Б.П. Поберейко // Наук. вісник / УкрДЛТУ. – 1998. – Вип. 8.1. – С. 232–236.
15. *Соколовський, Я.І.* Дослідження плоского напружено-деформативного стану деревини в процесі сушіння [Текст] / Я.І. Соколовський // Наук. вісник / УкрДЛТУ. – 1997. – Вип. 8. – С. 161–168.
16. *Соколовський, Я.І.* Застосування методу кінцевих елементів для розрахунку нестационарних полів вологоперенесення у висушуваній деревині [Текст] / Я.І. Соколовський, М.В. Дендюк, Б.П. Поберейко // Лісове госп-во, лісова, паперова і д/о промисловість: зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ, 2003. – Вип. 28. – С. 100–106.
17. *Соколовський, Я.І.* Напруження і деформації у деревині в процесі сушіння [Текст] / Я.І. Соколовський // Наук. вісник / УкрДЛТУ. – 2002. – Вип. 12.5. – С. 92–102.
18. *Соколовський, Я.І.* Результати експериментальних досліджень оберненої повзучості та складових деформацій деревині впоперек волокон [Текст] / Я.І. Соколовський, М.В. Дендюк // Лісове госп-во, лісова, паперова і д/о пром-сть. – 2002. – Вип. 27. – С. 73–77.
19. *Соколовський, Я.І.* Розрахунок анізотропних нестационарних температурно-вологісних полів у висушуваній деревині методом скінчених елементів [Текст] / Я.І. Соколовський, А.В. Бакалець // Лісове госп-во, лісова, паперова і д/о пром-сть: зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ, 2004. – Вип. 29. – С. 109–117.
20. *Ranta-Maunus, A.* Impact of mechanosorption creep to the long-term strength of timber [Текст] / A. Ranta-Maunus // Holz als Roh-und Werkstoff. – 1990. – N 48. – P. 67–71.

21. *Ranta-Maunus, A.* Rheological behaviour of wood in directions perpendicular to the grain [Текст] / A. Ranta-Maunus // Materials and structures. – 1993. – N 26. – P. 362–369.

22. *Sigurdur, O.* Two-dimensional simulation of wood deformation during graying [Текст] / O. Sigurdur, D. Ola. – Report TVSM-7086. – Sweden: Lund University of technology, 1994. – 34 p.

Украинский государственный
лесотехнический университет

Поступила 8.12.04

Ya.I. Sokolovsky, M.V. Dendyuk, B.P. Poberejko

**Simulation of Deformational-and-relaxation Processes
in Wood Drying**

The mathematical model is proposed for determining the deformation state of wood in drying taking into account its viscoelasticity and anisotropy.

УДК 674.053:621.935

А.А. Банников, Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин

Банников Анатолий Анатольевич родился в 1971 г., окончил в 1996 г. Архангельский лесотехнический институт, аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.



Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 250 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, проректор по информационным технологиям, доцент кафедры робототехнических систем, машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.



ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ

Показано, что применение отжимных направляющих для ленточных пил позволяет повысить их жесткость и устойчивость по сравнению с двухсторонними направляющими. Описана методика определения величины выставки отжимных направляющих.

Ключевые слова: точность пиления, жесткость, устойчивость, направляющие.

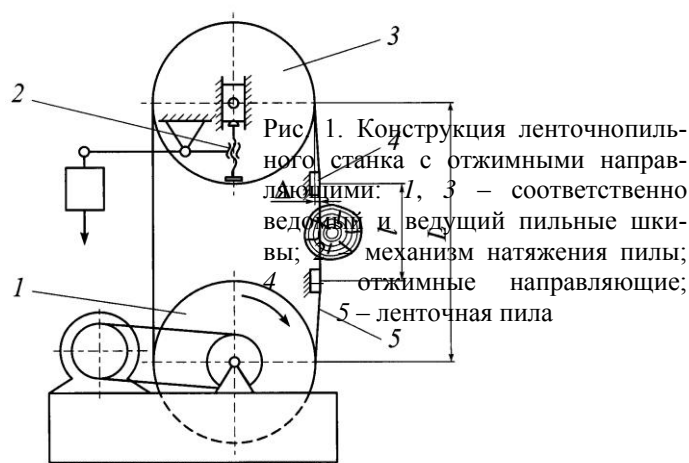
Одним из недостатков ленточнопильных станков, сдерживающих их широкое применение в лесопилении, является малая точность пиления древесины при больших скоростях подачи.

Точность пиления зависит от сил, действующих на пилу в процессе работы, и способности пилы противодействовать этим силам, т.е. ее жесткости и устойчивости [3].

Для повышения жесткости и устойчивости ленточной пилы применяют направляющие, которые уменьшают ее свободную длину l в плоскости наименьшей жесткости. Направляющие могут быть двухсторонние, уста-

новленные с зазором δ с двух сторон, или односторонние контактные, отклоняющие пилу на определенную величину Δ (величина выставки направляющих (рис. 1)). Двухсторонние направляющие просты по конструкции и при изготовлении не требуют дорогих тепло- и износостойких материалов. Недостатком этих направляющих является то, что между ними и боковыми поверхностями пилы имеется зазор, поэтому ее устойчивость не меняется, а жесткость возрастает незначительно. Направляющие такого типа выполняют в основном роль ограничителей предельных отклонений пилы.

Расчеты начальной жесткости пил ленточнопильных станков по формуле, приведенной в работах [1, 7], показывают, что установка отжимных направляющих примерно в 4 раза повышает жесткость ленточной пилы



по сравнению со случаем, когда направляющие отсутствуют. Если вместо отжимных используют двухсторонние направляющие, установленные с зазором 0,25 мм, жесткость ленточной пилы снижается в 1,56 раза [4].

Устойчивость пилы характеризуют величиной критической силы. Расчеты критической силы по формуле, приведенной в работе [5], показывают, что установка отжимных направляющих позволяет повысить устойчивость пилы на 39 ... 44 %.

Значительно снизить трение пилы об отжимные направляющие можно, если их рабочие поверхности выполнить в виде аэростатических опор. Достоинства отжимных аэростатических направляющих состоят в следующем: максимально снижено трение пилы о направляющие и практически отсутствует их износ; происходит охлаждение пилы воздухом. Они не требуют использования дорогих теплоустойчивых и износостойких материалов.

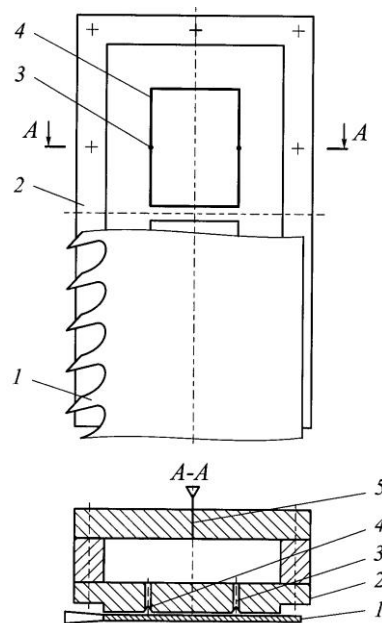
Общий вид отжимной аэростатической направляющей показан на рис. 2. По воздухоподводящей магистрали 5 от компрессора поступает сжатый воздух в полость корпуса 2, а затем, проходя через отверстия поддува 3, распределяется по микроканавкам 4 и выходит в атмосферу. Образующийся

слоем сжатого воздуха между рабочей поверхностью направляющей и ленточной пилой l служит газовой смазкой и уменьшает трение между ними.

Для выбора рациональной конструкции аэроэстатических опор выполнены теоретические и экспериментальные исследования. Результаты исследований и рекомендации по использованию аэроэстатических опор приведены в работе [6].

Для эффективной работы отжимных направляющих необходимо правильно задать величину их выставки Δ , так как недостаточная величина

Рис. 2. Конструкция отжимной аэроэстатической направляющей ленточнопильного станка: 1 – пила; 2 – корпус; 3 – отверстие поддува; 4 – распределительная микроканавка; 5 – воздухоподводящая магистраль



Δ может не обеспечить требуемой точности пиления пиломатериалов при больших скоростях подачи, а завышенная – привести к снижению долговечности пил.

В работе [2] приведена формула, выражающая зависимость предельного отклонения пилы $y_{\text{пред}}$ от величины выставки направляющих Δ при заданных расстояниях между осями шкивов L и направляющими l :

$$y_{\text{пред}} = \frac{l \Delta}{(L - l)}. \quad (1)$$

Установлено [2], что при отклонениях пилы $y < y_{\text{пред}}$ ее жесткость в обоих направлениях практически одинакова, а при $y > y_{\text{пред}}$ жесткость пилы в направлении от направляющих резко уменьшается.

Отклонение пилы y должно быть меньше предельного:

$$y = \frac{y_{\text{пред}}}{[n]}, \quad (2)$$

где $[n]$ – требуемый коэффициент запаса.

Отклонение пилы y определяет точность пиления и зависит от сил, действующих на пилу, а также от способности пилы противодействовать этим силам – ее жесткости и устойчивости. Методика определения отклонения пилы y приведена в работе [3].

С учетом выражений (1) и (2) величина Δ может быть определена по формуле

$$\Delta = \left(\frac{L}{l} - 1 \right) y [n]. \quad (3)$$

У делительных ленточнопильных станков $L = D + 450 \dots 900$ мм, у бревнопильных – $L = D + 800 \dots 1400$ мм (где D – диаметр шкивов). Расстояние между направляющими $l = h_{\max} + 50$ мм (где h_{\max} – максимальная высота пропила).

Пример. Бревнопильный станок имеет параметры: $L = 2500$ мм, $l = 400$ мм, $y = 0,95$ мм. Определить величину выставки отжимных направляющих Δ .

Принимаем требуемый коэффициент запаса прочности $[n] = 1,5$. Подставляя в формулу (3) указанные выше значения, получаем величину выставки отжимных направляющих $\Delta = 7,5$ мм.

Выводы

1. Один из способов повышения точности пиления древесины на ленточнопильных станках – увеличение жесткости и устойчивости пил.
2. Применение отжимных направляющих для ленточных пил позволяет в несколько раз повысить их жесткость и частично устойчивость.
3. Рабочие поверхности отжимных направляющих целесообразно выполнять в виде аэростатических опор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванкин, И.И.* Теоретические исследования начальной жесткости ленточных пил [Текст] / И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2000. – № 3. – С. 112–119. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Прокофьев, Г.Ф.* Жесткость ленточных пил с учетом отжимных направляющих [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.С. Лобанова // Лесн. журн. – 2003. – № 6. – С. 63–67. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Прокофьев Г.Ф.* Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
4. *Прокофьев, Г.Ф.* Исследование начальной жесткости полосовых пил [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин, И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 88–95. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Прокофьев, Г.Ф.* Исследование устойчивости пилы ленточнопильного станка с отжимными контактными направляющими [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, А.А. Банников // Лесн. журн. – 2002. – № 5. – С. 59–67. – (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Прокофьев, Г.Ф. Применение опор с газовой смазкой в технике [Текст]: учеб. пособие / Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин, И.И. Иванкин. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 65 с.

7. Прокофьев, Г.Ф. Теоретические исследования начальной жесткости ленточных и рамных пил [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр.– 1997. – Вып. 3. – С. 20–24.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 6.02.05

A.A. Bannikov, G.F. Prokofjev, I.I. Ivankin

Accuracy Increase of Wood Sawing on Band Saws

It is shown that the use of squeezing guides for band saws allows to increase their rigidity and stability in comparison with double-flat guides. The technique of determining the exhibition value of squeezing guides is described.



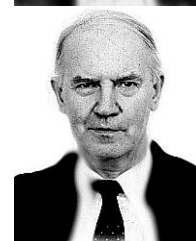
УДК 624.011.1:624.046

Н.В. Шешукова, Б.К. Михайлов

Шешукова Наталья Владимировна родилась в 1960 г., окончила в 1982 г. ЛИСИ, кандидат технических наук, докторант кафедры конструкций из дерева и пластмасс С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет около 20 печатных работ.



Михайлов Борис Кузьмич родился в 1938 г., окончил в 1960 г. ЛИСИ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструкций из дерева и пластмасс С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет более 200 печатных работ в области исследования строительных конструкций из дерева и пластмасс, соединений на нагелях.



РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕ- ФОРМАТИВНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ С УЧЕТОМ ВЛАЖНОСТИ

Установлено, что метод напряженно-временной аналогии может быть рекомендован для экспресс-анализа деформативности древесины в узловых соединениях на нагелях деревянных конструкций при различных режимах эксплуатации.

Ключевые слова: прочность и деформативность, деревянные конструкции, нагельные соединения, метод напряженно-временной аналогии, прогнозирование деформативности древесины, влажность древесины.

Совершенствование деревянных конструкций, появление новых технологий и применение новых материалов в строительстве, а также возросшие требования к безопасной работе конструкций предписывают дополнительное изучение прочности и деформативности соединений элементов на нагелях с учетом влажности при различных видах нагружения [1].

Общий недостаток, присущий всем нагельным соединениям, – увеличение деформаций при действии постоянных нагрузок. Ползучесть этих соединений является следствием упруговязкой и пластической работы древесины на смятие. Податливость нагельных соединений в современных нормах ограничена величиной предельных деформаций, равных 2 мм, которые определены на основании линейной зависимости деформаций от уровня напряжений. Однако результаты исследований [3, 4] показывают, что деформации смятия древесины в нагельном гнезде при длительном нагружении имеют нелинейную зависимость от уровня напряжений.

Для описания процесса деформативности материалов, обладающих физической нелинейностью применяют различные методы. Одним из наи-

более эффективных является метод напряженно-временной аналогии (НВА). Он основан на принципе подобия кривых податливости материала, построенных по результатам экспериментальных данных в полулогарифмических координатах $J - \ln t$. Это позволяет расширить временной интервал для прогнозирования деформативности древесины и, кроме того, компактно описать нелинейную вязкоупругость как простых, так и сложных напряженных состояний. При этом аппроксимирующий вид функции может быть установлен экспериментально, независимо от того, как представлена обобщенная кривая: графически или аналитически [2, 3, 6].

В целях получения данных, подтверждающих возможность применения метода НВА для прогнозирования деформативности древесины, проводили длительные испытания на рычажных установках, вдавливая цилиндрический штамп в деревянный образец. Размеры образцов назначали в соответствии с требованиями существующих норм [7]. Для достижения равномерного распределения напряжений смятия по длине нагеля толщину образцов принимали равной $2d$, ширину – $6d$ (где d – диаметр нагельного штампа). Такая схема обеспечивала деформацию древесины в отверстиях, в основном соответствующую смятию древесины нагельных гнезд в сжатых стыках. Были исследованы случаи смятия древесины в отверстиях под углом $\alpha = 0, 45$ и 90° по отношению к волокнам. Диаметр нагеля 16 мм.

В результате испытаний было установлено, что процесс ползучести древесины при смятии в нагельном гнезде и различных влажностных состояниях можно разделить на две области слабой нелинейности вязкоупругих свойств: 1 – когда существует a_σ ; 2 – a_σ и b_σ .

Анализируя экспериментальные данные, к области слабой нелинейности можно отнести результаты испытаний образцов, сминаемых вдоль волокон древесины разной влажности и поперек волокон древесины, имеющей влажность $W = 5\%$. Мгновенные деформации определяли по кривой $\varphi[\varepsilon(t)]$ и вычисляли по формуле

$$\varepsilon_n(t) = \varepsilon(t) - \varepsilon_0,$$

где $\varepsilon(t)$ – среднее значение деформации ползучести в данной точке экспериментальной кривой в момент времени t ;

$$\varepsilon_0 - \text{мгновенные деформации, } \varepsilon_0 = \frac{a\sigma}{1 - b\sigma}.$$

Далее для каждой кривой ползучести рассчитывали вязкоупругую податливость:

$$J^n(t) = \frac{E_n(t)}{\sigma}.$$

Согласно методике, приведенной в работе [4], для каждого интервала изменения напряжения определяли коэффициент перекрытия кривых вязкоупругой податливости:

$$K_{\Pi} = \frac{J_{\max}^{\Pi}(\sigma_i) - J_{\min}^{\Pi}(\sigma_{i+1})}{J_{\max}^{\Pi}(\sigma_{i+1}) - J_{\min}^{\Pi}(\sigma_i)}, \quad (1)$$

где $J_{\max}^{\Pi}(\sigma_i)$ и $J_{\max}^{\Pi}(\sigma_{i+1})$ – вязкоупругая податливость, зафиксированная при максимальном времени отсчета t_{\max} для σ_i и σ_{i+1} ;

$J_{\min}^{\Pi}(\sigma_i)$ и $J_{\min}^{\Pi}(\sigma_{i+1})$ – то же при минимальном времени отсчета t_{\min} .

Для проверки применимости метода НВА для других серий испытаний измеряли расстояния по горизонтали между каждой парой соседних кривых $J^{\Pi}(t)$. Результаты измерений представлены в таблице.

**Коэффициенты напряженно-временного сдвига
при разных уровнях напряжений**

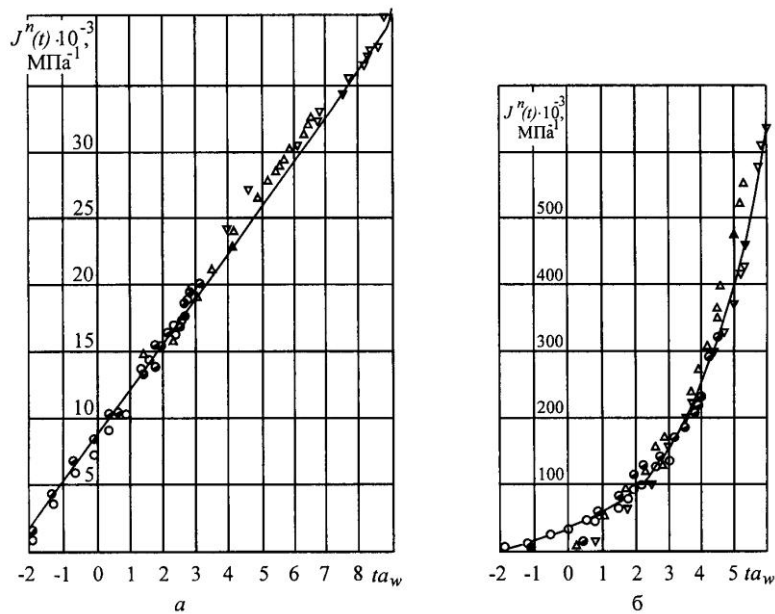
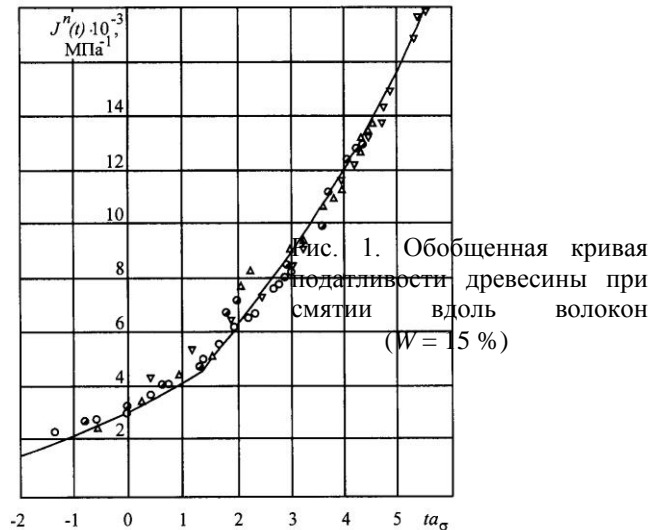
Условия	$\frac{\sigma_i \dots \sigma_{i+1}}{\sigma_{\text{сп}} \dots \sigma_{\text{сп}}}$	$\Delta \ln a_{\sigma}$	σ	$\sqrt{\sigma}$	$C_v, \%$
		ч			
$\alpha = 0^\circ$ $W = 15 \%$	0,2 ... 0,5	1,292	0,121	0,1320	10,2
	0,5 ... 0,7	0,250	0	0	0
	0,7 ... 0,9	0,933	0,090	0,0983	10,5
$\alpha = 0^\circ$ $W = 30 \%$	0,2 ... 0,3	0	0	0	0
	0,3 ... 0,4	0	0	0	0
	0,4 ... 0,5	0,560	0,049	0,0548	10,5
$\alpha = 90^\circ$ $W = 5 \%$	0,8 ... 0,9	0	0	0	0
	0,9 ... 1,0	3,853	0,024	0,0289	0,8
	1,0 ... 1,2	2,563	0,013	0,1493	5,8

Из приведенных данных видно, что кривые податливости имеют практически одинаковый вид. Коэффициент вариации взаимных горизонтальных сдвигов C_v отдельных точек не более 10 %. Экспериментальные значения горизонтальных сдвигов $J^{\Pi}(t)$ представляли в аналитической форме. Для этого строили графики зависимостей $\ln a_{\sigma}$ от $(\sigma - \sigma_0)$.

Полученные кривые аппроксимировали следующими выражениями для различных серий древесины: В-I ($\alpha = 0^\circ$, $W = 30 \%$) – $\ln a_{\sigma} = b_1(\sigma - \sigma_0)$; Б-I (0° , 15 %) – $\ln a_{\sigma} = b_2(\sigma - \sigma_0)$; В-III (90° , 5 %) – $\ln a_{\sigma} = b_3(\sigma - \sigma_0)$.

Коэффициенты b_1 , b_2 и b_3 определяли методом наименьших квадратов: $b_1 = 1,867$, $b_2 = 3,600$ и $b_3 = 8,708$. По найденным значениям коэффициентов строили обобщенные кривые, экстраполированные с $J^{\Pi}(t)$ для всех случаев смятия древесины.

Метод НВА применим к древесине, сминаемой вдоль и поперек волокон. Приведенные на рис. 1, 2, а обобщенные кривые, полученные по



результатам длительных испытаний, моделируют длительную ползучесть для древесины серий: Б-I (время упреждения до 10 лет); В-III (до 100 лет). При этом отмечено хорошее соответствие обобщенных кривых кривым податливости, сдвинутым на величину $\ln a_\sigma$. Отклонение опытных точек от построенных обобщенных кривых невелико и среднеквадратическое расхо-

ждение между ними в генеральной совокупности ($P = 95 \%$) не превышает 7,78 %.

Из графика на рис. 2, а видно, что обобщенная кривая для древесины серии В-III также описывается прямой линией:

$$J^n(t) = J_0 + 4ta_\sigma. \quad (2)$$

Коэффициент перед ta_σ равен 4, что почти в три раза превышает коэффициент в формуле (1).

Анализ соотношения (1) и (2) показывает, что физическая нелинейность, описываемая этими уравнениями, проявляется с увеличением угла наклона волокон древесины от 0 до 90 °, причем нелинейность значительно возрастает в интервале 45 ... 90 °. Связь $J^n(t) - ta_\sigma$ имеет прямолинейный характер, однако указанный способ описания податливости обобщенной кривой не всегда корректен, так как при больших нагрузках происходит ее существенное искривление.

На основании проведенных исследований реологическое соотношение для древесины, сминаемой вдоль волокон при $W = 15 \%$, в случае использования непрерывного спектра времени релаксации можно записать в следующем виде:

$$J^n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} L[\ln S, t_0, \sigma_0] \left[1 - \exp\left(\frac{-ta_\sigma}{S}\right) \right] d \ln S. \quad (3)$$

При $b_\sigma = 1$ и $a_\sigma = f(\sigma - \sigma_0)$ материал относится к классу реологически простых тел, тогда для описания процесса деформирования можно воспользоваться соотношением

$$\varphi[\varepsilon(t)] = \sigma(t') + \int_{\sigma}^t K(t' - s') \sigma(s') ds', \quad (4)$$

где $t' = \int_0^t a_\sigma(\tau) d\tau$.

Новое приведенное время выражается формулой

$$\ln ta_\sigma = \ln t + \ln ta_\sigma.$$

Следовательно, обобщенная кривая, полученная методом НВА, удовлетворительно моделирует длительную ползучесть древесины при смятии.

Таким образом, метод НВА может быть рекомендован для экспресс-анализа деформативности материала деревянных конструкций на нагельных соединениях при различных режимах эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варфоломеев, Ю.А. Совершенствование конструктивных решений деревянных клееных элементов для пространственных конструкций [Текст] / Ю.А. Варфоломеев, А.В. Вешняков // Информ. листок Арханг. ЦНТИ. – 1996. – № 195–96.
2. Колтунов, М.А. К вопросу исследования одномерной задачи нелинейной ползучести [Текст] / М.А. Колтунов // Механика полимеров. – 1996. – № 5. – С. 678–687.

3. Колтунов, М.А. Метод аппроксимаций Ильюшина в применении к средам с нестабильными свойствами [Текст] / М.А. Колтунов, И.Е. Трояновский // Механика полимеров. – 1970. – № 3. – С. 411–419.

4. Москвитин, В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов [Текст] / В.В. Москвитин. – Наука, 1972. – 327 с.

5. Работнов, Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1966. – 752 с.

6. Работнов, Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел [Текст] / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1977. – 384 с.

7. СНиП II-25–80. Деревянные конструкции. [Текст] – М.: Стройиздат, 1983. – 31с.

С.-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

Поступила 30.12.04

N.V. Sheshunova, B.K. Mikhajlov

Development of Methods for Forecasting Wood Deformability Taking into Account Humidity

It is found out that the method of stressed-temporary analogy could be recommended for express-analysis of wood deformability in main joining on pegs of wooden structures under different operation modes.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.163.4.

Ф.Х. Хакимова

Хакимова Фирдавес Харисовна родилась в 1938 г., окончила в 1965 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 150 научных трудов в области теории и технологии целлюлозы.

**БИСУЛЬФИТНАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗА ИЗ СМЕСЕЙ
МОЛОДОЙ ТОНКОМЕРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД
И БАЛАНСОВОЙ ЕЛИ**

Показано, что для получения бисульфитной целлюлозы может быть использована молодая тонкомерная древесина ели, сосны и березы, полученная при рубках прореживания, как в виде смесей различного состава, так и в качестве добавки к балансовой древесине ели.

Ключевые слова: тонкомерная древесина, ель, сосна, береза, бисульфитные варки, диаграммы состав–свойство, смеси древесины, опытные выработки.

Целлюлозно-бумажная промышленность России, особенно предприятия европейской части, где запасы древесины ограничены, все больше сталкиваются с проблемой обеспеченности сырьем. Доставка его из лесодостаточных районов экономически нецелесообразна.

Одним из резервов сырья для производства волокнистых полуфабрикатов является тонкомерная древесина, получаемая при проведении рубок ухода в молодняках. Вследствие низкого выхода из нее деловых сортиментов, наиболее эффективно она может быть использована в виде технологической щепы в производстве целлюлозы и полуцеллюлозы.

В работах [1, 3, 4] показана возможность применения тонкомерной древесины различных пород (ель, сосна, береза) для получения сульфитной целлюлозы. Однако часто при рубках ухода за лесом получается смесь тонкомерной древесины различных пород. В некоторых случаях рассортировка тонкомерной древесины по породам является весьма сложной и поэтому нежелательной операцией. В связи с этим возникает вопрос о возможности и целесообразности совместной варки тонкомерной древесины различных пород.

Таблица 1

Характеристики использованной древесины

Показатель	Значение показателя для древесины		
	ели	сосны	березы
Число годовичных колец на пне	22	24	20
Диаметр пня, см:			
с корой	6,6	7,5	6,8
без коры	6,0	7,1	6,5
Плотность, г/см ³	406	363	560
Массовая доля, % :			
экстрактивных веществ (с диэтиловым эфиром)	1,46	2,64	2,46
растворимых в горячей воде (90 °С) веществ	3,38	3,88	2,38
целлюлозы (по Кюршнеру)	50,40	49,10	47,50
лигнина (по Комарову)	31,60	28,90	23,50
пентозанов	9,20	11,20	28,50
зола	0,45	0,47	0,37
полисахаридов (РВ):			
легкогидролизуемых	19,20	16,10	25,50
трудногидролизуемых	43,70	42,00	50,70

В данной работе приведены результаты изучения влияния породного состава древесного сырья, получаемого при рубках прореживания, на свойства получаемой бисульфитной целлюлозы. Для варок использовали воздушно-сухую щепу, приготовленную на лабораторной рубительной машине из смеси тонкомерной древесины ели, сосны и березы. Из данных табл. 1 видно, что древесина молодой тонкомерной сосны и березы отличается повышенным содержанием экстрактивных веществ. Вопросы исключения смоляных затруднений при переработке такой древесины будут рассмотрены в следующих публикациях.

Варки проводили в автоклавах вместимостью 2 л с электрообогревом. Состав варочной кислоты: 3,8 ... 4,0 % всего SO₂; 1,75 ... 1,80 % связанного SO₂; pH раствора 2,5 ... 2,6. Гидромодуль варки 5 : 1. Для проведения варок целлюлозы из смеси тонкомерной древесины указанных пород принят следующий режим (по результатам наших предыдущих исследований): продолжительность подъема температуры до 115 °С – 105 мин, пропитки при 115 °С – 90 мин, подъема температуры до 150 °С – 90 мин, варки при 150 °С – 90 мин.

Поскольку свойства трехкомпонентных смесей достаточно полно могут быть изучены с использованием плана Шеффе (симплекс-решетчатый план), а достаточная точность математической модели всегда удовлетворительна при степени полинома, равной 3, то для выполнения данной работы был принят план Шеффе третьего порядка ($q = 3, d = 3$) [2]. Все варки повторяли дважды с рандомизацией во времени.

В качестве переменных факторов были приняты доли еловой (x_1), сосновой (x_2) и березовой (x_3) фракций в древесном сырье.

Таблица 2

Основные результаты бисульфитных варок смесей

молодой тонкомерной древесины хвойных и лиственной пород

Состав сырья			Выход, % от древесины			Показатели целлюлозы				
Ель X_1	Сосна X_2	Береза X_3	отсор- тиро- ванной массы	сучков и не- провара	общий	Степень провара, п.е.	Бе- лизна, %	Разрыв- ная длина, м	Сопротивление	
									излому, ч.д.п.	продавли- ванию, кПа
1	0	0	47,7	2,6	50,3	111	63	9010	2530	549
0	1	0	48,1	7,8	55,9	135	66	8090	2430	457
0	0	1	49,8	0,9	50,7	72	65	6330	900	288
2/3	1/3	0	49,2	2,3	51,7	115	65	7950	2580	446
1/3	2/3	0	47,3	4,8	52,1	122	66	7870	2180	426
2/3	0	1/3	48,8	2,1	50,9	102	65	8360	1410	423
1/3	0	2/3	47,5	2,3	49,8	98	66	7290	1120	340
0	2/3	1/3	45,6	7,3	52,9	119	67	7100	1420	340
0	1/3	2/3	47,7	5,0	52,7	103	68	6320	1080	308
1/3	1/3	1/3	48,4	4,4	52,8	114	67	7580	1390	418

Результаты варок и свойства образцов бисульфитной целлюлозы оценивали следующими выходными параметрами: y_1 – выход целлюлозы, %; y_2 – степень провара целлюлозы, п.е.; y_3 – разрывная длина, м; y_4 – сопротивление продавливанию, кПа.

Смеси древесины разных пород, образующие матрицу планирования, и результаты экспериментов (средние для двух варок) приведены в табл. 2.

Как следует из данных табл. 2, в ходе проведения эксперимента получены образцы бисульфитной целлюлозы различной степени провара. При одинаковых условиях варки более глубокая степень провара отмечена для образцов из смесей, в состав которых входила березовая древесина; при использовании в составе смеси древесины сосны целлюлоза проваривается хуже (более жесткая целлюлоза).

Выход целлюлозы изменялся в пределах 50 ... 56 %. Следует отметить несколько повышенное содержание в образцах непровара из-за наличия сучков в используемой тонкомерной молодой древесине.

Определение механической прочности образцов показало, что наиболее высокие механические показатели имеет целлюлоза из тонкомерной ели, наименьшие – из березы. Довольно высоки прочностные показатели у целлюлозы из сосновой древесины. В связи с этим увеличение массовой доли березы в смеси снижает прочность целлюлозы, а увеличение ели в составе смеси повышает механические показатели целлюлозы.

Зависимость каждого из выходных параметров (y_1 ... y_4) от переменных факторов (x_1 ... x_3) аппроксимировали полиномами третьей степени следующего вида:

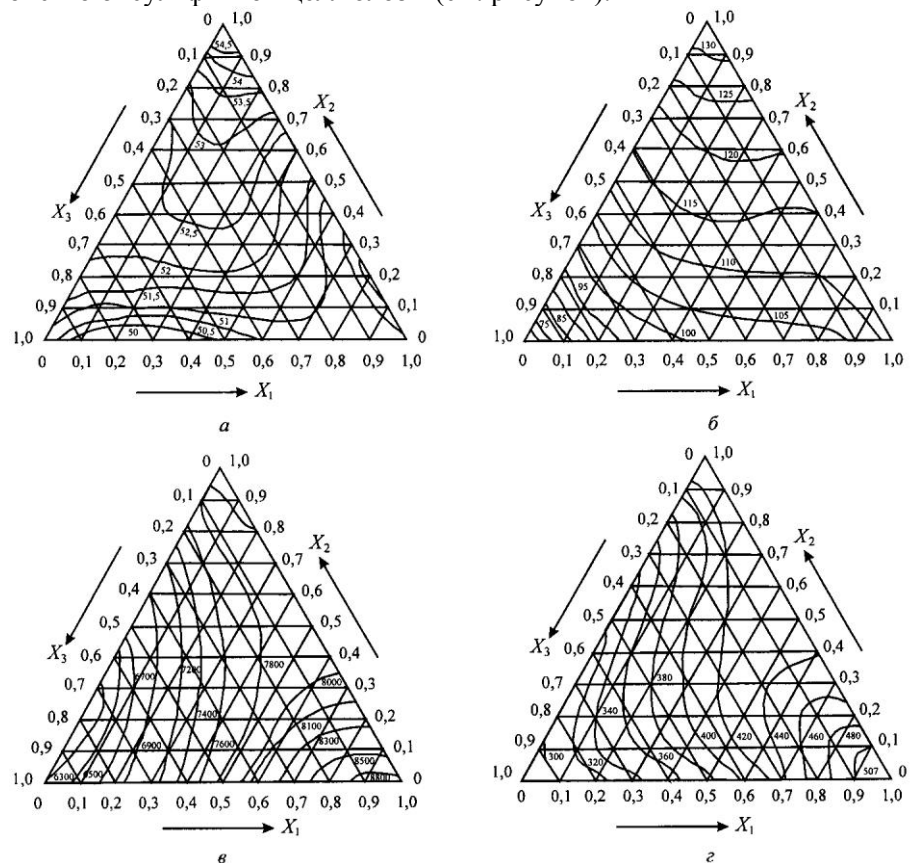
$$y = \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j}^3 b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i < j}^3 c_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{1 \leq i < j < k}^3 b_{ijk} x_i x_j x_k,$$

где k – число факторов, включенных в исследование, $k = 3$.

После математической обработки экспериментальных данных, расчетов коэффициентов регрессии и проверки их значимости получены следующие уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 48,3X_1 + 53,8X_2 + 48,6X_3 - 5,64X_1X_2 - 0,7X_1X_3 - 2,03X_2X_3 - 4,05X_1X_2 \times \\
 &\quad \times (X_1 - X_2) + 6,75X_1X_3(X_1 - X_3) - 9,0X_2X_3(X_2 - X_3) + 39,6X_1X_2X_3; \\
 Y_2 &= 100,5X_1 + 125,0X_2 + 62,0X_3 - 19,1X_1X_2 + 39,4X_1X_3 + 31,5X_2X_3 + 7,9X_1X_2 \times \\
 &\quad \times (X_1 - X_2) - 59,6X_1X_3(X_1 - X_3) - 33,75X_2X_3(X_2 - X_3) + 62,25X_1X_2X_3; \\
 Y_3 &= 9010,0X_1 + 8075,0X_2 + 6325,0X_3 + 2846,3X_1X_2 + 697,5X_1X_3 - 2216,3X_2X_3 - \\
 &\quad - 1563,8X_1X_2(X_1 - X_2) + 1147,5X_1X_3(X_1 - X_3) + 1361,3X_2X_3(X_2 - X_3) + 6930,0X_1X_2X_3; \\
 Y_4 &= 549,0X_1 + 457,0X_2 + 288,0X_3 - 301,5X_1X_2 - 163,0X_1X_3 - 218,3X_2X_3 - \\
 &\quad - 72,0X_1X_2(X_1 - X_2) - 23,6X_1X_3(X_1 - X_3) - 164,6X_2X_3(X_2 - X_3) + 1705,5X_1X_2X_3.
 \end{aligned}$$

Зависимость свойств трехкомпонентных смесей от их состава может быть наглядно представлена изолиниями свойств в барицентрических координатах – треугольными диаграммами состав исходного древесного сырья – свойство бисульфитной целлюлозы (см. рисунок).



Диаграммы зависимости выхода целлюлозы (а), степени провара (б), разрывной длины (в) и сопротивления продавливанию (г) от состава смесей

Анализ уравнений регрессии и изолиний указанных диаграмм показал следующее:

с увеличением массовой доли сосны в породном составе общий выход целлюлозы повышается, а с увеличением доли березы этот показатель снижается;

вследствие несколько худшей делигнификации тонкомерной сосны при принятых в эксперименте условиях, более высокие величины жесткости (120 ... 130 п.е.) имеют образцы целлюлозы, полученные из смеси с большей долей сосны;

наиболее высокими показателями разрывной длины обладает целлюлоза из смеси, содержащей в основном еловую древесину, наименьшую прочность имеет целлюлоза из смеси, в состав которой входит более 50 % тонкомерной березы;

чем выше массовая доля еловой древесины в породном составе, тем выше показатель сопротивления целлюлозы продавливанию.

Пользуясь данными диаграммами можно предсказать свойства бисульфитной целлюлозы (выход, степень провара, механическая прочность) при известном составе исходного тонкомерного древесного сырья. Возможно и другое использование этих диаграмм – при определенных требованиях к свойствам бисульфитной целлюлозы можно выбрать необходимый породный состав исходного сырья.

Одним из вариантов переработки тонкомерной древесины в производстве целлюлозы является применение ее в качестве добавки при варке балансовой еловой древесины. В исследованиях использовали молодую тонкомерную древесину ели, сосны и березы. Доля добавки тонкомерной древесины к балансовой варьировалась от 10 до 40 %. Варки проводили по одинаковому режиму при конечной температуре 150 °С, т.е. при температуре, применяемой на большинстве целлюлозных заводов для варки бисульфитной целлюлозы (табл. 3).

Поскольку молодая тонкомерная древесина делигнифицируется медленнее спелой [1, 3, 4], влияние добавок ее при варке спелой древесины должно сказаться на скорости процесса варки. Добавка 10 % тонкомерной ели к спелой практически не изменяет результаты варок, но дальнейшее увеличение доли молодой древесины в исходном сырье несколько затрудняет процесс делигнификации, т.е. получается более жесткая целлюлоза, особенно при добавке 40 % тонкомерного сырья. В соответствии с изменением степени провара изменяется и выход целлюлозы. С увеличением в смеси доли тонкомерной древесины повышаются все показатели механической прочности целлюлозы.

Тонкомерная молодая древесина сосны, в отличие от спелой, может быть использована в качестве сырья для производства сульфитной целлюлозы [1]. Представляет интерес и возможность ее применения в качестве добавки при бисульфитной варке балансовой ели.

Добавка 10 % тонкомерной сосны не оказывает существенного влияния на результаты варки – выход, степень провара и прочностные пока-

Таблица 3

**Влияние добавки древесины молодой тонкомерной ели, сосны и березы
на результаты бисульфитной варки древесины спелой ели**

Состав исходного древесного сырья, %				Выход целлюлозы, % от исходной древесины		Показатели целлюлозы			
Ель		Сосна	Береза	общий		Степень провара, п.е.	Разрывная длина, м	Сопротивление	
спелая	молодая	молодая		общий	отсортированной			продавливанию, кПа	излому, ч.д.п.
100	–	–	–	52,4	51,1	100	8040	400	2100
90	10	–	–	52,6	51,4	102	8210	410	2090
80	20	–	–	51,9	50,3	105	8450	430	2280
70	30	–	–	52,1	51,0	107	8570	430	2080
60	40	–	–	52,8	50,6	112	8660	470	2560
–	100	–	–	51,2	50,6	110	8670	460	2390
90	–	10	–	52,8	51,6	104	7900	380	2120
80	–	20	–	54,0	50,4	112	8110	380	1850
70	–	30	–	54,7	50,5	117	8170	480	2300
60	–	40	–	54,6	48,8	119	8130	470	2380
–	–	100	–	55,3	50,1	122	8090	460	2320
90	–	–	10	52,2	50,9	102	8230	410	2160
80	–	–	20	52,0	51,3	100	8130	400	1840
70	–	–	30	51,4	50,3	96	7950	410	1690
60	–	–	40	51,0	50,5	95	7260	360	1470
–	–	–	100	51,2	50,0	90	7050	340	1360

затели получают на уровне соответствующих показателей целлюлозы только из еловой древесины. С увеличением доли сосны несколько повышается общий выход древесного остатка вследствие меньшей степени ее делигнификации, выход отсортированной целлюлозы уменьшается, а доля непровара возрастает с 1,2 % при использовании 10 % добавки до 5,8 % при добавке 40 % сосны. По прочностным показателям полученные образцы целлюлозы различаются незначительно.

Считается, что одной из основных пород древесины, удаляемых при рубках прореживания, является береза. Обычно лиственная древесина, в том числе и спелая березовая, при сульфитной варке делигнифицируется легче, чем древесина ели, что приводит к перевару лиственной составляющей при совместной варке древесины хвойных и лиственных пород. Поскольку древесина молодой тонкомерной березы делигнифицируется медленнее, чем спелая, было бы целесообразно использовать ее в качестве добавки при сульфитных (бисульфитных) варках балансовой ели.

Результаты бисульфитных варок смесей древесины спелой ели и молодой березы в различных соотношениях показывают, что добавка 10 ... 20 % тонкомерной березы практически не влияет на выход и качественные показатели целлюлозы, т.е. они соответствуют целлюлозе из 100 % ели. При дальнейшем увеличении доли березы в смеси наблюдается некоторое повышение степени делигнификации целлюлозы (уменьшение жестко-

Таблица 4

**Показатели качества целлюлозы опытно-промышленной выработки
(60 °, 75 г/м²)**

Показатель	Значение показателя для целлюлозы	
	небеленой	беленой
Степень провара, п.е.	65	–
Разрывная длина, м	7820	7260
Сопротивление:		
продавливанию, кПа	410	380
излому, ч.д.п.	1230	1040
Белизна, %	61	86
Массовая доля смол и жиров, %	1,3	0,6

сти, что связано с более легкой делигнификацией березовой древесины по сравнению с хвойной), незначительное снижение выхода целлюлозы в соответствии со степенью делигнификации, а также снижение показателей механической прочности.

Таким образом, добавка 10 ... 20 % тонкомерной древесины ели, сосны и березы к балансовой ели не ухудшает результаты бисульфитной варки.

С целью проверки полученных результатов лабораторных исследований на Вишерском ЦБК проведена опытно-промышленная выработка сульфитной целлюлозы из балансовой ели с добавкой 20 % древесины тонкомерной молодой ели. Такой состав древесного сырья не вызвал затруднений при проведении варки, промывки, сортирования и отбеливания целлюлозы; полученная целлюлоза имела достаточно высокие показатели механической прочности и не вызывала ухудшения качества выработанной из нее бумаги.

Результаты опытно-промышленной варки приведены в табл. 4

Как показали результаты исследований, при создавшемся дефиците древесного сырья в центральных районах России для получения бисульфитной целлюлозы может быть использована молодая тонкомерная древесина различных пород (ель, сосна, береза) как в виде смесей, так и в качестве добавки к балансовой еловой древесине (в количестве до 20 % от общего расхода древесного сырья).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковтун, Т.Н. Особенности сульфитной делигнификации молодой и спелой древесины сосны [Текст] / Т.Н. Ковтун, Ф.Х. Хакимова, А.П. Трейманис // Химия древесины. – 1989. – № 4. – С. 55–59.
2. Пен, Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства [Текст] / Р.З. Пен. – Красноярск, 1982. – 192 с.
3. Хакимова, Ф.Х. Об особенностях сульфитной делигнификации молодой тонкомерной ели [Текст] / Ф.Х. Хакимова, Т.Н. Ковтун, А.П. Трейманис // Строение древесины и его роль в процессах делигнификации: сб. докл. – Рига: Зинатне, 1990. – С. 6–9.

4. *Хакимова, Ф.Х.* Получение сульфитной целлюлозы из тонкомерной березы [Текст] / Ф.Х. Хакимова, Т.Н. Ковтун, А.П. Трейманис // Химия и технология целлюлозно-бумажного производства. – Л.: ЛТА, 1988. – С. 52–57.

Пермский государственный
технический университет

Поступила 29.05.06

F.Kh. Khakimova

**Bisulfite Pulp from Mixtures of Thin Wood of Various Species
and Spruce Pulpwood**

It is shown that young thin spruce, pine and birch timber cut when thinning could be used for producing bisulfite pulp both in mixtures of different composition and as the additive to spruce pulpwood.

УДК 628.356.64

Е.Н. Косарева, Н.И. Богданович

Косарева Елена Николаевна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Поморский государственный университет, аспирант кафедры лесохимических производств Архангельского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ в области биотехнологии.



Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесохимических производств Архангельского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 260 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.



**ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СТОЧНЫХ ВОД
ПОСРЕДСТВОМ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦБП***

Рассмотрены актуальные вопросы интегральной оценки загрязнения сточных вод ЦБП, особенности водного законодательства России в сравнении с развитыми странами; приведены методы биотестирования на предприятиях ЦБП.

Ключевые слова: токсичность, биотестирование, экотоксикологический контроль, тест-организмы.

В настоящее время в лабораториях ведущих стран мира методами аналитической химии может быть идентифицировано 5 ... 25 % всех органических веществ, попадающих в водоемы со сточными водами. Несмотря на постоянно растущее число химических веществ, используемых в производственных циклах и, соответственно, попадающих в поверхностные воды со сточными водами, в странах Западной Европы и Скандинавии в природных водных экосистемах регулярно контролируется только 30–40 показателей химического загрязнения [11].

В России наиболее технически оснащенные лаборатории, осуществляющие экоаналитический контроль вод, могут определять около 100 гидрхимических компонентов (т.е. имеют методики, средства измерений на их определение и др.), однако определяют, как правило, не более 25 показателей загрязнения из-за высокой стоимости анализов, плохой обеспеченности кадрами и т.д.

* Настоящая статья является первой публикацией по данной проблеме.

Действующая в России система установления нормативов на предельно допустимые сбросы (ПДС) индивидуальных загрязняющих веществ предполагает необходимость контроля всех присутствующих в сточных водах веществ. Расчет ПДС производят с учетом предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. Для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения установлены ПДК более 1625 загрязняющих веществ, для водоемов рыбохозяйственного назначения — более 1050 [18], но и этого количества явно недостаточно для полного контроля за сбросом загрязняющих веществ, особенно органических, у большей части которых имеются гомологи и изомеры. Попадая в окружающую среду, химические вещества непрерывно изменяют свой состав под влиянием солнечной радиации, биохимического окисления, взаимодействия друг с другом.

В сточных водах, кроме установленных веществ, могут присутствовать не только компоненты, которые непосредственно используют в технологии производства, но и сопутствующие промежуточные продукты, а также вещества:

а) образующиеся в процессе ферментативного биохимического окисления при биологической очистке и, следовательно, имеющие неизвестную химическую структуру;

б) с известной химической структурой, но не обнаруживаемые из-за отсутствия подходящих аналитических методов (характерно для подавляющего большинства органических соединений);

в) для которых существует соответствующая аналитическая техника, но она не обладает достаточной селективностью, из-за чего результат анализа может быть неправильным или сомнительным (эффект матрицы сточных вод).

Таким образом, существующая методология нормирования и аналитического контроля за составом сточных вод не отвечает современным требованиям экологического контроля к загрязнению окружающей среды, поскольку охватывает лишь незначительную часть реально присутствующих в сточной воде загрязняющих веществ; не учитывает вредность их комплексного воздействия на процессы самоочищения водоемов; достоверно обнаруживает только часть известных веществ, содержащихся в сточных водах; регулярно контролирует в сбросах незначительную долю обнаруживаемых аналитическими методами веществ; не выявляет эффектов синергизма и антагонизма химических соединений, присутствующих в сточных и большинстве природных вод.

Сложность аналитического контроля заключается не только в том, что с его помощью трудно контролировать основную долю присутствующих в исследуемой среде загрязняющих веществ (необходимо иметь эталоны всех гомологов и изомеров и дорогое аналитическое оборудование), но также в том, что необходимо работать с чрезвычайно малыми концентрациями веществ, так как в большинстве случаев их ПДК составляют $10^{-3} \dots 10^{-2}$ мг/дм³. Подготовка пробы к гидрохимическому анализу для целого ряда веществ предполагает продолжительные и многоступенчатые процедуры

(растворение, концентрирование, экстракция), при этом потери могут значительно превышать результаты анализа.

Состояние методического и приборного обеспечения гидрохимического контроля в России в настоящее время крайне неудовлетворительно. Переход к более надежному экологическому контролю качества окружающей среды возможен только при условии расширения перечня измеряемых обобщенных и групповых показателей загрязнения, обязательного использования методов биотестирования и необходимого приборного обеспечения лабораторий современными надежными средствами быстрой идентификации токсичных веществ.

До 1980-х годов во всем мире доминировал гидрохимический мониторинг качества вод, однако в настоящее время зарубежными специалистами в области охраны природы признана несостоятельность химического контроля в части предоставления совершенной и полной информации о качестве водных систем [21].

В развитых странах контроль качества вод, кроме гидрохимических определений, предусматривает проверку каждой пробы на токсичность. Этот показатель как норматив при контроле сточных вод и выдаче разрешений на их сброс в природные водоемы применяют такие страны, как Австралия, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Дания, Ирландия, Франция, Канада, Нидерланды, Норвегия, США, Швейцария, Швеция, Япония [11].

Несмотря на то, что в отдельных территориальных лабораториях РФ уже имеется более чем двадцатилетняя практика биотестирования природных и сточных вод, однако при осуществлении производственного и государственного контроля за соблюдением нормативов качества водной среды до настоящего времени традиционно недооценивается необходимость проведения токсикологического контроля в дополнение к гидрохимическому. Государственной стратегией РФ в области охраны окружающей среды и обеспечения устойчивого развития, утвержденной Указом Президента РФ от 4 февраля 1994 г. № 236, определена необходимость перехода при оценке качества окружающей среды от количественного нормирования к нормированию по экосистемным признакам с учетом влияния загрязнения на самое чувствительное звено экологической системы. Использование для этого показателей биотестирования как показателей оперативной интегральной диагностики трудно переоценить.

На фоне широко представленной отечественной и зарубежной научной литературы по водной токсикологии публикации о порядке осуществления экотоксикологического и производственного контроля за качеством вод малочисленны.

Впервые термин «экоаналитическая химия» применительно к контролю за объектами окружающей среды был употреблен в монографии [12]. После его преобразования в термин «экоаналитический контроль» его стали широко использовать в нормативной и методической терминологии природоохранных органов России для обозначения системы мероприятий по вы-

явлению и оценке источников и уровня загрязненности природных объектов загрязняющими веществами в результате их сбросов (выбросов) в окружающую среду природопользователями [17]. В развитие этой терминологии нам представляется корректным употребление понятия «экотоксикологический контроль» для обозначения системы слежения за источниками поступления токсичных веществ в окружающую среду.

Токсичность – это степень проявления ядовитого действия разнообразных соединений и их смесей, которые повреждают, ингибируют, стрессируют, вызывают генетические изменения или убивают организмы в воде, почве и воздухе [11]. Это один из важнейших факторов, определяющих качество воды, достаточно информативный, существенно дополняющий представление о степени опасности или безопасности воды при ее использовании, являющийся необходимой составной частью стандартного анализа комплексной системы контроля. Токсичность определяют методами лабораторного биотестирования – по тест-реакциям организмов, культивируемых в искусственно поддерживаемых стандартных условиях. Токсичность, устанавливаемая методами биотестирования, является интегральным показателем загрязнения природных сред. Как и все интегральные показатели, она имеет недостаток: не раскрывает загрязняющие вещества, присутствующие в пробе.

За *критерий токсичности* принимают достоверное количественное значение тест-параметра, на основании которого делается вывод о токсичности сточной воды или вещества. Среди тест-параметров наиболее часто используют смертность, выживаемость, плодовитость, подавление ферментативной активности тест-организмов. В результате процедуры лабораторного биотестирования при использовании классических методов устанавливают острую или хроническую токсичность исследуемой воды в экспериментах различной продолжительности.

Острый опыт – краткосрочная процедура биотестирования (с установленной в каждой методике продолжительностью экспозиции), определяющая острую токсичность исследуемой воды по выживаемости (смертности) тест-объектов. Острая токсичность наступает в том случае, если интенсивность воздействующего агента велика настолько, что компенсаторная и адаптационная реакции организма не успевают проявиться и он гибнет.

Хронический опыт – долговременная процедура биотестирования, определяющая хроническую токсичность исследуемой воды по статистически достоверному отклонению плодовитости тест-объектов от контроля. Результаты экспериментов по определению хронической токсичности отвечают на вопрос: обеспечит ли сохранность вида изменившаяся под влиянием исследуемых сточных вод плодовитость гидробионтов.

На основании проведенных нами экспериментов установлены кратность разбавления исследуемой воды, при которой наступает 50 %-ая гибель тест-организмов, и безвредная (недействующая) концентрация вещества или безвредная кратность разбавления исследуемой воды, при которой гибель организмов не превышает таковую в контроле. Данные о хронической ток-

сичности получают в длительном эксперименте, в котором также устанавливают безвредное разбавление.

В большинстве исследований результаты биотестирования совпадают с данными гидрохимического анализа. Нами протестированы [11] условно чистые воды (УЧВ) ОАО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат» (гидрохимические показатели не имеют отклонений от нормы, по результатам биотестирования исследуемая вода не оказывает ни острого, ни хронического токсического действия на тест-объекты (табл. 1, табл. 2, I квартал). Совпадение наиболее вероятно, если контролем учтена основная

Таблица 1

Результаты химического анализа УЧВ ОАО АЦБК

Показатель	Численное значение показателя
pH, мг/дм ³	7,4 / 7,5
Растворенный кислород, мгО ₂ /дм ³	7,2 / 7,1
ХПК, мгО ₂ /дм ³	93 ± 19 / 90 ± 16
Взвешенные вещества при температуре 105 °С, мг/дм ³	51 ± 5 / 53 ± 4
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,19 ± 0,08 / 0,23 ± 0,06
Азот аммонийный, мг/дм ³	1,7 ± 0,4 / 1,6 ± 0,2
Азот нитритный, мг/дм ³	0,0071 ± 0,0024 / 0,0084 ± 0,0041
Азот нитратный, мг/дм ³	0,210 ± 0,011 / 0,230 ± 0,014
Лигнин сульфатный, мг/дм ³	18 ± 5 / 19 ± 4
Метанол, мг/дм ³	0,24 ± 0,05 / 0,20 ± 0,04
Формальдегид, мг/дм ³	<0,025 / <0,025
Хлориды, мг/дм ³	23,2 ± 2,3 / 25,1 ± 2,3
Формальдегид, мг/дм ³	<0,025 / <0,025

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, в числителе приведены данные для I квартала, в знаменателе – для II.

Таблица 2

Результаты биотестирования УЧВ ОАО АЦБК

Тест-объект	Параметр	Численное значение параметра при степени разбавления воды		
		1	2	4
Водоросли	Отклонение от контроля, %: в остром опыте	<u>-6</u>	<u>+2</u>	<u>+9</u>
		-12	-3	+6
	в хроническом опыте	<u>-10</u>	<u>-6</u>	<u>+3</u>
		-18	-10	-1
Дафнии	Количество выживших цериодафний, % к контролю: в остром опыте	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>
		100	100	100
	в хроническом опыте	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>
		100	100	100

	90	100	100
Отклонение от контроля по плодовитости в хроническом опыте, %	$\frac{0}{-32}$	$\frac{+2}{-10}$	$\frac{-3}{-3}$

Примечание. Знак «-» – ингибирование, «+» – стимулирование.

масса гидрохимических веществ. Но могут быть и несоответствия результатов. Так, в табл. 1 за II квартал приведены данные гидрохимического анализа, характеризующие удовлетворительное качество сточных вод предприятия, в то время как по результатам биотестирования за этот же период (табл. 2) была выявлена их токсичность.

Как показал опыт на тест-объектах (водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. и цериодафнии *Ceriodaphnia affinis*), тестируемая вода не оказывает острого токсического действия (отклонение от контроля не превышает нормы: 20 %). Количество выживших цериодафний в остром и хроническом опытах так же соответствует контрольному варианту, но отклонение от контроля по плодовитости в хроническом опыте в сторону увеличения по сравнению с установленной нормой свидетельствует, что тестируемая вода может оказывать хроническое токсическое действие и должна быть отнесена к малотоксичной.

Несоответствие результатов биотестирования и гидрохимического анализа объясняется многими причинами. Например, в исследуемой воде могут присутствовать поллютанты, которые невозможно определить методами химического анализа или присутствие которых не предполагается и не измеряется и т.д. В этом случае при удовлетворительных гидрохимических результатах качества воды может быть выявлено наличие токсичности [15]. Несопоставимость данных может быть обусловлена эффектами синергизма и антагонизма химических соединений, присутствующих в сточных и природных водах. Ошибки определения при анализе токсичности вод должны быть сведены к минимуму, для чего регулярно (не реже одного раза в три месяца) необходимо контролировать чувствительность используемых тест-организмов к модельному («эталонному») токсиканту [1–9].

Результаты экотоксикологического контроля существенно дополняют данные гидрохимических анализов. При исследовании природных вод токсикологический контроль позволяет оценить состояние водоемов, выявить зоны максимального токсикологического загрязнения и, следовательно, определить состояние экосистемы в целом. Поиск вещества, вызывающего токсичность, всегда должен сопровождать токсикологический контроль, поскольку это позволит получать достоверный результат при оценке качества вод.

Какие вещества, присутствующие в исследуемой воде, ядовиты (токсичны) и в первую очередь должны привлекать внимание? Потенциально токсичные – вещества антропогенного происхождения, или промышленные поллютанты. Как правило, промышленные поллютанты более устойчивы к биодegradации, чем вещества природного происхождения, способны к

биоаккумуляции или накоплению в биологических объектах и биомагнификации, т.е. увеличению концентрирования на высших трофических уровнях. К потенциально токсичным веществам относятся тяжелые металлы, органические галогены, пестициды, инсектициды, гербициды, синтетические поверхностно-активные вещества, хлорированные растворители, полиароматические углеводороды и т.д.

Тяжелые металлы – наиболее распространенная группа токсичных трудноокисляемых загрязнений, присутствующих в сточных водах. В неочищенных сточных водах они представлены разнообразными химическими соединениями во взвешенной, коллоидной, растворенной и нерастворенной формах [10]. Токсичность соли металла зависит от токсичности как катиона, так и аниона [13]. Наиболее распространенные анионы, входящие в состав солей металлов в сточных водах предприятий ЦБП, – хлориды, нитраты и сульфаты – имеют примерно одинаковую токсичность, катионы металлов по своей токсичности значительно различаются. По ее убыванию их можно расположить в следующий ряд (Фрумин, 1995): $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Cu^{2+} > Pb^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Sn^{2+} > Ba^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Sr^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ [20]. Подобных рядов с противоречивыми данными о токсичности металлов достаточно много представлено в литературе, и эти противоречия объясняются тем, что авторы не всегда четко указывают соединения металлов, подвергающиеся исследованию на токсичность, которая может изменяться у различных соединений (табл. 3).

Токсичность неорганических соединений в порядке убывания можно представить следующим рядом: нитраты >хлориды >бромиды>ацетаты >иодиды > перхлораты>сульфаты >фосфаты >карбонаты >фториды >гидроксиды >оксиды [14].

Результаты лабораторных испытаний зависят от видовой специфики организмов, используемых для биотестирования. Естественно, что каждый вид имеет индивидуальные чувствительность и реакцию на воздействие

Таблица 3

Ряды токсичности металлов для различных гидробионтов

Организм	Ряд токсичности
Инфузория (Трунова, 1979)	Ag > Hg > Cu > Pb > Co > Cd
Водоросли (Nieboer, Richardson, 1980)	Hg > Cu > Cd > Fe > Cr > Zn > Co > Mn
Фитопланктон, мезо- и эвтрофные озера Швейцарии (Gahter, Schweiz, 1976)	Hg > Cu > Cd > Zn > Pb
Гетеротрофный планктон (Bossardetal, 1979)	Hg > Cu > Cd > (Zn Pb)
Рыбы (Nieboer, Richardson, 1980)	Ag > Hg > Cu > Pb > Cd > Al > Zn > Ni > Cr > Co > Mn > Sr
Рыбы (Skidmore, Firth, 1983)	Cd > Hg > Cu > Zn > Pb > Ni > Cr
Дафнии (по данным нескольких авторов, обзоры Грушко 1979, Метелев)	

и др., 1971)	Ag > Cd > Hg > Cu > Pb > Ni > Cr > Zn
Ракообразные (Skidmore, Firth, 1983)	Hg > Cd > Cu > Zn > Pb > Co > Ni

Примечание. В скобках указаны фамилия автора, установившего токсичность, и год.

токсических веществ. Для исследовательских целей используют более сотни различных методов биотестирования, однако для практического применения этот список ограничен лишь несколькими. Основной принцип практического лабораторного биотестирования природных и сточных вод, реализуемый в развитых странах, – применение одновременно 3-4 методов с тест-организмами, представляющими разные трофические группы (бактерии, водоросли, беспозвоночные, рыбы). В России при осуществлении экотоксикологического контроля предложено использовать не менее двух стандартных методов биотестирования с тест-организмами из разных систематических групп (табл. 4).

Методики биотестирования выбраны таким образом, чтобы использовать гидробионтов не только из разных трофических уровней, важных для водных экосистем, но и обладающих различной чувствительностью к разнообразным загрязнителям.

Результаты биотестирования можно использовать для принятия решений по сокращению сбросов загрязняющих веществ, выявления нарушений водного законодательства, проведения экологической экспертизы новых технологий, проектов по интенсификации очистки сточных вод. Промышленным предприятиям проведение токсикологического контроля позволяет сокращать затраты на природоохранные мероприятия за счет раннего выявления опасности сбрасываемых сточных вод и возможности осуществления селективного поиска наиболее опасных токсикантов, используемых при производстве продукции и попадающих в сточные воды. Контроль с помощью биотестирования дает возможность выявлять присут-

Таблица 4

Методы биотестирования, рекомендованные для экологического контроля

Метод	Область его применения
Определение токсичности воды по жизнедеятельности дафний <i>Daphnia magna</i>	Поверхностные, природные пресные, сточные и очищенные сточные, грунтовые, питьевые воды, водные вытяжки из почвы, донных осадков, отходов
Определение токсичности воды по жизнедеятельности цериодафний <i>Ceriodaphnia affinis</i>	То же
Определение токсичности воды, почв и донных отложений по ферментативной активности лиофилизированных мутантных бактерий	Поверхностные, природные пресные, сточные и очищенные сточные, грунтовые, питьевые воды,

<i>Escherichia coli</i>	водные вытяжки из почвы и донных осадков
Определение токсичности воды по хемотаксической реакции инфузорий <i>Paramecium caudatum</i>	То же
Определение токсичности воды по ингибированию темпа роста водорослей <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i>	Поверхностные, природные пресные, сточные и очищенные сточные воды
Определение токсичности воды по жизнедеятельности рыб <i>Poecilia reticulata</i> Peters или <i>Brachydanio rerio</i> Hamilton-Buchanan	То же

ствии токсичных веществ на уровне доз, оказывающих токсичное действие на живые организмы [16, 19].

В развитых странах (Германия, Дания, Ирландия, Нидерланды, Франция и др. [11]) при выдаче разрешения на сброс сточных вод в водные объекты предусмотрена последовательная и более обширная, чем в России, процедура предварительного комплексного изучения сточных вод на основании данных гидрохимических, токсикологических и биологических исследований.

Уровень достигнутых результатов по улучшению качества водоемов в этих странах за относительно короткий период (2–3 десятилетия) позволяет признать процедуру нормирования и контроля качества сбрасываемых сточных вод более совершенной, чем в России, и дает готовую, тщательно продуманную и отработанную систему предупреждения загрязнения водоемов и последовательного улучшения их качества.

Результаты биотестирования на токсичность оперативно сигнализируют об опасном воздействии химического загрязнения на жизнедеятельность водных организмов не только отдельных токсических веществ, но и их смесей, часто неизвестной природы и не выявляемых другими методами анализа. Таким образом, с помощью биотестирования может быть получена наиболее полная информация при минимальных затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.207–76. ГСИ. Прямое измерение с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 48 с.
2. ГОСТ 17.1.1.01–77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 36 с.
3. ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 36 с.
4. ГОСТ 8.001–80. ГСИ. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 36 с.

5. ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 40 с.
6. ГОСТ 15.1.5.05–85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 45 с.
7. ГОСТ 27065–86. Качество вод. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 40 с.
8. ГОСТ 8.010–90. ГСИ. Методики выполнения измерений [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 55 с.
9. ГОСТ Р. 1997. Проект. Система аккредитации аналитических лабораторий [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 70 с.
10. Грушко, Я. М. Ядовитые металлы и их неорганические соединения в промышленных сточных водах [Текст] / Я.М. Грушко. – М.: Медицина, 1972. – С. 172–184.
11. Жмур, Н.С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России [Текст] / Н.С. Жмур. – М.: Международный Дом Сотрудничества, 1997. – С. 6–19.
12. Кальвода, Р. Электроаналитические методы в контроле окружающей среды [Текст] / Р. Кальвода [и др.]. – М.: Химия, 1990. – С. 16–29.
13. Левина, Э.Н. Общая токсикология металлов [Текст] / Э.Н. Левина. – Л.: Медицина, 1972. – С. 28–45.
14. Внутренний оперативный контроль качества результатов количественного химического анализа [Текст]: метод. рекомендации. – М.: УНИИМ, 1994. – 65 с.
15. Методы биотестирования вод [Текст]. – Черноголовка: ГК ОП СССР, 1988. – 115 с.
16. Методы биотестирования качества водной среды [Текст] / Под ред. О.Ф. Филенко. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 129 с.
17. Нейман, Е.Я. Организация экоаналитического контроля в Российской Федерации [Текст] / Е.Я. Нейман // Экологическая химия. – 1993. – № 1. – С. 59–67.
18. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды [Текст]: учеб. пособие для инженера-эколога / Под ред. А.Ф. Порядина и А.Д. Хованского. – М.: НУМЦ Минприроды России, Издат. дом «Прибой», 1996. – С. 29–45.
19. Павленко, В.В. Оценка токсичности и мутагенности водных сред в экспериментах с дафниями [Текст] / В.В. Павленко, Т.П. Денисова, Н.А. Перевалова. – Иркутск: НИИ биологии Иркутского госуниверситета, 1986. – С. 36–41.
20. Теоретические основы биотестирования [Текст]. – Волгоград, ВНИИ 1983. – 87 с.
21. Van Loon, W.V.G.M. Monitoring water quality in the future. Volume 2: Mixture toxicity parameters. Research Institute of Toxicology (RITOX) [Text] / W.V.G.M van Loon, J.L.M. Hermens. – Utrecht, The Netherlands, 1995. – P. 116–118.
22. United States Environmental Protection Agency Method 1002.2. Oct.11.951034. No. 001 P 03 Cladoceran, Ceriodaphnia dubia, survival and reproduction test method [Text]. – 1994. – P. 72–75.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 26.10.05

E.N. Kosareva, N.I. Bogdanovich

**Ecotoxicological Control of Sewage by Biotesting Methods
at Pulp-and-paper Mills**

The actual questions of integral assessment of sewage contamination at pulp-and-paper mills are considered, as well as peculiarities of water pollution legislation of Russia in comparison with the developed countries. Biotesting methods at PPMs are provided.



УДК 676.019.264

М.В. Емельянова, Д.Г. Чухчин, Е.В. Новожилов

Емельянова Марина Викторовна родилась в 1980 г., окончила в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет 4 печатные работы, область интересов – процессы биотехнологии в ЦБП.



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области химической переработки древесины.



Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН, лауреат премии им. М.В. Ломоносова. Имеет около 140 научных трудов в области технологии комплексной переработки сульфитных и сульфатных шелоков, ферментных технологий в химической переработке древесины, технологий очистки сточных вод.



**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИПАЗЫ
В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Показана возможность использования липазы для обессмоливания лиственной химико-механической массы и лиственной сульфатной целлюлозы. Установлено снижение активности фермента в присутствии сульфатной целлюлозы вследствие сорбции липазы на волокно.

Ключевые слова: липаза, смола, химико-механическая масса, сульфатная целлюлоза, активность, сорбция.

К одной из развивающихся сфер применения ферментов в целлюлозно-бумажной промышленности относится борьба со смоляными затруднениями, возникающими при производстве механических масс, целлюлозы, бумаги и картона [5, 10]. Смолистые вещества древесины в процессе ее переработки претерпевают различные физико-химические изменения и образуют липкие отложения «вредной смолы» на рабочих поверхностях оборудования, снижая его производительность, а также ухудшая качество готовой продукции. Самые проблемные отложения на бумагоделательных машинах происходят из-за неполярной фракции – жиров, представляющих

собой в основном триглицериды насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Для снижения содержания смолы в целлюлозных волокнистых полуфабрикатах нами предложен фермент липаза, разрушающий жиры и ограничивающий таким образом возможность отложения вредной смолы.

Липаза *Resinase A2X** успешно используется в производстве механических масс из свежесрубленной древесины сосны на заводах Японии, Китая, США, Канады [12], а также для удаления из макулатуры типографской краски на основе растительных масел [4]. Менее известно о возможности ее использования в производстве целлюлозы. После сульфитной варки в кислой среде большая часть жиров остается в целлюлозе практически без изменений. При ферментной обработке липазой происходит значительное разрушение смолы сульфитной целлюлозы [11].

При сульфатной варке в щелочной среде жиры исходной древесины интенсивно омыляются с образованием солей жирных кислот. Тем не менее, из-за ограниченного доступа химикатов внутрь волокон в лиственной сульфатной целлюлозе часть жиров сохраняется. О глубоком залегании части смолы в волокне свидетельствует иногда наблюдаемое в производстве появление вредной смолы на стадии щелочной обработки в конце отбелики целлюлозы. Доказано [3, 10], что жиры, содержащиеся в смоле лиственной сульфатной целлюлозы, способны разлагаться под действием липазы.

Наша задача – оценить эффективность применения липазы в производстве различных целлюлозных волокнистых полуфабрикатов для удаления смолы и решения проблемы смоляных затруднений.

В исследовании использовали различные методы контроля: экстракцию смолы органическими растворителями, микроскопический контроль, титриметрическое определение активности липазы по отношению к трибутирину.

В России для производства механических масс используют мало-смолистые хвойные породы древесины: ель и пихту, из лиственных – наиболее широко осину. Было проверено действие фермента липазы *Resinase A2X* на хвойную химико-механическую массу (ХММ) Сокольского ЦБК и осиновую химико-термомеханическую массу (ХТММ) Сясьского ЦБК. Механические массы обрабатывали липазой следующих в условиях: рН 7,0, температура 60 °С, концентрация массы – 8 %, продолжительность обработки – 2 ч, расход фермента – 0,3 и 0,6 кг/на 1 т ХММ или ХТММ. Затем механическую массу промывали водой, обрабатывали хелатом (трилон Б) и отбеливали в одну ступень пероксидом водорода в условиях: температура 60 °С, концентрация массы – 8 %, продолжительность обработки – 2 ч, концентрация H_2O_2 в растворе – 17 г/л.

Как видно из данных табл. 1, обработка липазой хвойной ХММ не привела к снижению содержания экстрактивных веществ, что объясняется

* Выражаем благодарность компании «Novozymes A/S» (Дания) за предоставление образцов ферментов липазы и ксиланазы.

относительно невысокой долей жиров в смоле древесины ели и пихты (табл. 1). Использование липазы в количестве 0,3 ... 0,6 кг/т при обработке

Таблица 1

**Эффективность обессмоливания механических масс липазой
Resinase A2X (с отбелкой H_2O_2)**

Механическая масса	Расход фермента, кг/т	Экстрактивные вещества	Белизна
		%	
Хвойная ХММ:			
исходная	–	0,86	65,4
обработанная липазой	0,3	0,87	65,0
«	0,6	0,88	64,3
Лиственная ХТММ:			
исходная	–	0,88	73,9
обработанная липазой	0,3	0,76	74,1
«	0,6	0,57	73,5

ХТММ из лиственной древесины с последующей отбелкой H_2O_2 обеспечило снижение содержания смолы в беленой механической массе на 14 ... 35 %.

Микроскопическим методом нами [3] было подтверждено эффективное действие липазы на смолу, выделенную из хвойной и лиственной древесины, сульфитной хвойной и сульфатной лиственной целлюлозы. Визуально наблюдаемое уменьшение количества смоляных частиц под действием липазы наглядно свидетельствует о разрушении жиров смолы во всех указанных образцах.

При отбелке лиственной сульфатной целлюлозы периодически возникают смоляные затруднения. Представляло интерес проверить возможность применения липазы для избавления от вредной смолы в производстве этого вида целлюлозы.

На ряде предприятий для улучшения белимости сульфатной целлюлозы уже применяют ферменты класса ксиланаз [6]. Параметры обработки целлюлозы ксиланазой совпадают с параметрами эффективного действия липазы, поэтому нами была исследована возможность совместного применения этих ферментов.

Сульфатную лиственную целлюлозу (число Каппа 14,8) отбирали на Архангельском ЦБК после промывки на фильтре. В условиях АЦБК небеленую целлюлозу хранят в башнях высокой концентрации, в их нижней части разбавляют фильтратом с отбелки и направляют в бассейн низкой концентрации, затем в массный бассейн, после чего обрабатывают ксиланазой в течение 50 ... 60 мин в поглотительной колонке и отбельной башне и промывают на фильтре.

Моделируя производственные условия, выдерживали небеленую целлюлозу в течение 2 ч при температуре 70 °С и концентрации массы 8 %, затем массу разбавляли водой до концентрации 3,5 % и выдерживали в те-

чение 40 мин при температуре 55 °С. После этого, не промывая массу, внесли ферменты и вели обработку в течение 1 ч при температуре 55 °С. Расход ксиланазы *Pulprzyme* HC составлял 0,5 кг/т целлюлозы, расход липазы *Resinase* A2X – 0,3 кг/т целлюлозы. В некоторых опытах (табл. 2) после

Таблица 2

**Обработка лиственной сульфатной целлюлозы ферментами
Pulprzyme HC и *Resinase* A2X [4]**

Условия обработки (фермент–продолжительность)	Содержание смолы в целлюлозе, %		Число Каппа целлюлозы после D ₀ -Щ
	после обработки ферментами	после стадий D ₀ -Щ	
<i>Pulprzyme</i> – 60 мин	0,61	0,54	4,0
<i>Pulprzyme</i> / Щ – 60 мин / 40 мин	0,39	0,43	3,8
<i>Pulprzyme</i> + <i>Resinase</i> – 60 мин	0,61	0,47	4,2
(<i>Pulprzyme</i> + <i>Resinase</i>) / Щ – 60 мин / 40 мин	0,27	0,29	4,0

ферментной обработки без промывки проводили стадию щелочения (Щ). Целлюлозу промывали водой, одну часть ее отбирали для анализов, а другую отбеливали по сокращенной схеме D₀-Щ (расходы: диоксида хлора (по активному хлору) – 18 кг/т целлюлозы; NaOH – 10 кг/т целлюлозы).

Содержание смолы в небеленой лиственной сульфатной целлюлозе составляло 0,99 % (при экстракции этанолом) и уменьшилось до 0,61 % при обработке ксиланазой и промывке водой (табл. 2). Таким образом, значительная часть смолы перешла в фильтрат при промывке целлюлозы. После отбелики этого образца целлюлозы по схеме D₀-Щ наблюдалось дальнейшее снижение содержания смолы до 0,54 %. В условиях производства деструкция смолы в процессе многоступенчатой отбелики в сочетании с применением ПАВ и промывкой массы после каждой ступени приводит к тому, что в беленой целлюлозе остается обычно 0,20 ... 0,25 % смолы.

Для растворения наиболее вредной смолы, расположенной на поверхности целлюлозных волокон, после ферментной стадии было опробовано щелочение. Лучшие результаты дала совместная обработка липазой и ксиланазой в сочетании с щелочением: содержание остаточной смолы в целлюлозе оказалось в 1,5–2 раза ниже, чем при использовании только ксиланазы (табл. 2). Повышение pH среды обеспечило не только растворение, но и стабилизацию смолы, присутствующей в растворе в эмульгированном состоянии. Наглядным показателем эффективности такой технологии явился достигнутый уровень содержания смолы в небеленой и полубеленой лиственной целлюлозе – 0,27 ... 0,29 %. Это практически столько же, сколько в беленой целлюлозе в конце процесса отбелики. Фильтрат после промывки небеленой целлюлозы содержал основную часть растворенных компонентов смолы. Значительная доля этого фильтрата возвращалась на разбавление массы и из-за неполной отмывки вместе с целлюлозной массой поступала на

отбелку. На первой стадии отбелки D_0 в кислой среде это приводило к обратному осаждению части смолы на волокно.

Чтобы уменьшить вероятность смоляных затруднений, необходимо проводить щелочение и максимально полно выводить фильтрат от промывки небеленой целлюлозы из производственного цикла. Положительный эффект щелочной обработки проявляется также в некотором снижении числа Каппа целлюлозы после стадий D_0 -Щ (табл. 2). Этот эффективный способ контроля смолы может быть рекомендован предприятиям.

Ферментная обработка сульфатной лиственной целлюлозы смесью ксиланазы и липазы имеет свои особенности. Необходимое для действия ферментов образование фермент-субстратного комплекса приводит к их иммобилизации на целлюлозных волокнах. Так, в конце стадии обработки сульфатной целлюлозы ксиланазой более 90 % фермента находилось в массе [9]. Однако специфическая адсорбция ксиланазы на сульфатной целлюлозе носит в значительной степени обратимый характер, так как при последующей промывке в фильтрат переходит около 55 % фермента. Остальное его количество вместе с целлюлозой поступает на отбелку.

Ксилан находится как на поверхности, так и внутри целлюлозных волокон. Ферменты имеют довольно большие размеры (не менее 20 кДа), что ограничивает возможность их проникновения во внутренние пространства клеточных стенок. Важно отметить, что ксиланаза при удалении поверхностно расположенного ксилана раскрывает структуру волокна, что может способствовать более эффективному действию липазы. В то же время, при совместном применении липазы и ксиланазы число Каппа полубеленой целлюлозы несколько больше, чем при использовании только ксиланазы. Осаждение липазы на поверхности целлюлозных волокон может ограничивать действие ксиланазы и мешать последующей делигнификации целлюлозы отбеливающими реагентами.

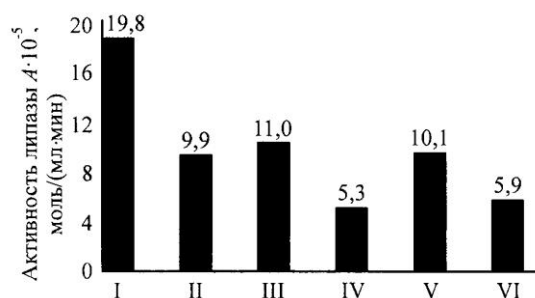
Для более детального изучения процессов, протекающих при взаимодействии липазы с сульфатной целлюлозой, было исследовано действие этого фермента на трибутирин в присутствии целлюлозы. Трибутирин, являющийся триглицеридом масляной кислоты, в наших экспериментах использовался как аналог жиров. Он применяется в качестве стандартного вещества при оценке активности липазы. Метод основан на расчете скорости, с которой фермент гидролизует трибутирин до масляной кислоты, количество которой определяют титрованием 0,1 н раствором NaOH.

К небеленой лиственной сульфатной целлюлозе Котласского ЦБК и образцам этой целлюлозы, взятым с разных ступеней отбелки, добавляли липазу. Суспензию целлюлозы концентрацией массы 0,2 % выдерживали 15 мин при периодическом перемешивании для иммобилизации фермента на волокне. Отдельно готовили мелкодисперсную эмульсию трибутирина с максимально возможной площадью поверхности раздела фаз, диспергируя трибутирин в ультразвуковом дезинтеграторе UD-2 (Польша). Сразу после смешивания суспензии целлюлозы с сорбированной липазой и эмульсии трибутирина проводили определение активности фермента при температуре

30 °С, рН 7,0, концентрациях целлюлозы, фермента и трибутирина соответственно 0,2, 0,0002 и 1 %.

Как видно из приведенных диаграмм (см. рисунок), активность иммобилизованной на целлюлозе липазы снижается по сравнению с контрольной пробой с $20 \cdot 10^{-5}$ до $(5 \dots 11) \cdot 10^{-5}$ моль/(мл·мин). Причиной этого может являться блокирование активных центров фермента при его

Активность A липазы, иммобилизованной на сульфатной лиственной целлюлозе после варки и различных ступеней отбелки: I – контроль, II – небеленая целлюлоза, III – КЩО, IV – D₁, V – Щ₂, VI – D₂



8*

сорбции на волокно. Активность липазы может также уменьшаться вследствие осаждения трибутирина на целлюлозу. Однако в условиях опыта трибутирин по отношению к ферменту был взят с большим избытком, поэтому его количества в растворе и на поверхности волокна было вполне достаточно для взаимодействия с липазой.

Быстрое уменьшение остаточной активности фермента в растворе при добавлении целлюлозы часто рассматривают как прямое доказательство его сорбции на волокне [2]. Активность липазы в присутствии целлюлозы, взятой после варки или после щелочных стадий отбелки, в 2 раза ниже, а в присутствии целлюлозы после кислых ступеней – в 4 раза ниже, чем в контроле. Вероятно, это связано с различной сорбционной способностью этих образцов целлюлозы по отношению к липазе. Липаза, имеющая гидрофобный субстратный центр, как и смола, сорбируется в большей степени на целлюлозе после кислой обработки, чем после щелочной. В любом случае снижение активности липазы в присутствии целлюлозы является нежелательным, так как уменьшает эффективность действия фермента.

Иммобилизованные ферменты широко используют в биотехнологических процессах для катализа реакций деструкции субстрата в растворенном состоянии [1]. Иммобилизация обеспечивает высокую стабильность работы фермента. Например, иммобилизованная β -глюкозидаза при обработке гидролизатов целлюлозы в реакторе колонного типа при температуре 40 °С в течение двух недель сохраняла не менее 95 % активности [2]. Однако далеко не всегда этот прием дает нужный эффект. В отдельных случаях в зависимости от вида адсорбента активность фермента после иммобилизации снижалась на 70 ... 90 %. Это объяснялось стерическими затруднениями доступа субстрата к активному центру фермента. Фактически фермент имеется в достаточном количестве, однако наблюдается его псевдоинактивация,

связанная с потерей мобильности прочно адсорбированного фермента или его неспецифической адсорбцией на носителе.

При изучении адсорбции органических веществ нейтрально-сульфитного (моносльфитного) щелока целлюлозными волокнами было установлено [7], что сульфатная небеленая целлюлоза обладает высокой сорбционной способностью по отношению к гемицеллюлозам, лигнину, компонентам смолы. На сульфитную целлюлозу преимущественно пересаживались частично разрушенные гемицеллюлозы. Нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза с выходом около 80 % от древесины, близкая по химическому составу к ХММ, не обладала способностью сорбировать вещества нейтрально-сульфитного щелока. Липаза как фермент, взаимодействующий с гидрофобными веществами, имеет соответствующие структуры, обладающие гидрофобными свойствами. С их помощью она, как и частицы смолы, может связываться с сульфат-целлюлозными волокнами. Ранее осаждение липазы на волокна и прочное связывание с ними отмечено при обработке сульфитной целлюлозы [11]. О сорбции липазы на сульфатную целлюлозу в наших опытах (табл. 2) свидетельствовало увеличение содержания в ней общего азота на 67 % по сравнению с обработкой целлюлозы одной ксиланазой.

Липаза применяется в водорастворимой форме, при этом катализ идет на границе жир–вода и разворачивание глобулы фермента с образованием активной формы происходит на поверхности жировых молекул. Как показал контроль за смолой при окрашивании Суданом IV, ее компоненты в волокнах лиственной сульфатной целлюлозы расположены крайне неравномерно. При хорошем распределении фермента в суспензии целлюлозы имеет место элемент случайности – весьма вероятно адсорбция липазы не только на субстрате – жирах, которые доступны действию фермента, но и неспецифическая сорбция его на целлюлозных волокнах, приводящая к исключению молекул фермента из процесса катализа.

Выводы

Сорбция липазы лиственной сульфатной целлюлозой снижает активность фермента в 2-3 раза. Использование липазы в иммобилизованном на волокне состоянии малоэффективно, так как жиры находятся не в окружающей жидкости, а в основном локализованы внутри целлюлозных волокон. Лучший результат дает совместное применение ксиланазы и липазы с последующей щелочной обработкой целлюлозы и промывкой ее водой. Достаточно эффективное действие липазы на смолу различных видов ХММ связано не только с более высоким содержанием в них жиров, но и, в определенной степени, с тем, что сорбционная способность полуфабрикатов высокого выхода ниже, чем у сульфатной и сульфитной целлюлозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин, И.В. Иммуобилизованные ферменты и клетки [Текст] / И.В.Березин // Биотехнология. – 1985. – № 2. – С. 113–116.
2. Гусаков, А.В. Биокатализаторы на основе грибных целлюлаз: фундаментальные и прикладные аспекты [Текст]: автореф. дис. ... докт. хим. наук / А.В. Гусаков; МГУ. – М., 2005. – 59 с.
3. Емельянова, М.В. Действие фермента *Resinase A2X* на смолу древесины и целлюлозы [Текст] / М.В. Емельянова, Е.В.Новожилов, Д.Г. Чухчин // Современная наука и образование в решении проблем экономики Европейского Севера: материалы Междунар. научно-техн. конф., посвященной 75-летию АЛТИ–АГТУ. – Архангельск, 2004. – Т. 1. – С. 209–211.
4. Емельянова, М.В. Совместное применение ксиланазы и липазы в схеме отбелки сульфатной лиственной целлюлозы [Текст]/ М.В. Емельянова, Е.В. Новожилов // Наука – Северному региону: сб. научн. тр. – Архангельск, 2005. – Вып.62. – С. 72–74.
5. Лапин, В.В. Биотехнологии в целлюлозно-бумажной промышленности [Текст]/ В.В. Лапин // Целлюлоза, бумага, картон. – 2003. – № 11-12. – С. 20–23.
6. Новожилов, Е.В. Международный семинар по биотехнологии в АГТУ [Текст] / Е.В. Новожилов, Н.И. Богданович // Лесн. журн. – 2004. – № 3. – С. 144–145. – (Изв. высших учебн. заведений).
7. Новожилов, Е.В. О сорбции гемицеллюлоз моносльфитного щелока целлюлозой [Текст] / Е.В. Новожилов, Г.Ф. Прокшин, Б.Д. Богомолов // Химия древесины. – 1978. – № 6. – С. 63–67.
8. Петерсен, Х.Х. Применение ферментов в технологии переработки макулатуры [Текст] / Х.Х. Петерсен // Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры: науч. тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. – Караваево, 2006. – С. 31–34.
9. Bernier, R.L. Fate of residual xylanase after treatment and bleaching of softwood kraft pulp [Text] / R.L. Bernier [et al.] // Bioresource Technology 50. – 1994. – P. 79–83.
10. Biotechnology in Pulp and Paper Industry [Text] / Volum editor: K.-E. Ericsson. – 1997. – 40 p.
11. Fischer, K. Adsorption of lipase on pulp fibers during biological pitch control in paper industry [Text] / K.Fischer, K. Messner // Enzyme Microb. Technol. – 1992. – Vol.14, June. – P. 470–473.
12. Fujita, Y. Recent advances in Enzymatic Pitch Control [Text] / Y.Fujita [et al.] // Tappi Journal. – April, 1992. – P. 117–122.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 8.11.05

M.V. Emeljanova, D.G. Chuhchin, E.V. Novozhilov

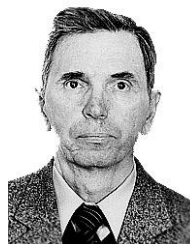
Prospects of Using Lipase in Pulp-and-paper Production

The possibility of using lipase for deresination of hardwood chemical-mechanical mass and hardwood sulphate pulp is shown. The decrease of enzyme activity in the presence of sulphate pulp resulting from lipase sorption on fiber is established.

УДК 676. 082. 5 + 546. 221. 1

Л.Н. Григорьев, О.А. Шанова, Т.А. Александрова

Григорьев Лев Николаевич родился в 1941 г., окончил в 1965 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор технических наук, профессор кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов С.-Петербургского технологического университета растительных полимеров. Имеет более 140 научных трудов в области химической очистки выбросов в атмосферу и утилизации промышленных отходов.



Шанова Ольга Александровна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СПбГТУРП. Имеет 6 научных работ в области экологического мониторинга выбросов в атмосферу.



Александрова Татьяна Александровна родилась в 1983 г., окончила в 2005 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, магистрант кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СПбГТУРП. Имеет 1 научную работу в области адсорбционной очистки выбросов.



**ОБРАЗОВАНИЕ СЕРОВОДОРОДА
ПРИ ОБЖИГЕ КАУСТИЗАЦИОННОГО ШЛАМА**

Показано, что образование сероводорода в процессе обжига каустизационного шлама в значительной степени обусловлено присутствием в нем сульфида и гидросульфида кальция.

Ключевые слова: обжиг, каустизационный шлам, сероводород, загрязняющие вещества, дымовые газы.

При решении вопросов сокращения выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу предпочтение отдается, как правило, методам и способам санитарной очистки. Несмотря на общее признание актуальности технологических способов сокращения выбросов, развитие их происходит медленно. Большинство исследователей [6] утверждают, что затраты на реализацию технологических методов в разы и даже на один-два порядка могут быть меньше, чем на реализацию системы очистки для одного и того же источника выбросов.

Анализ работ в этом направлении позволяет отметить, что эффективный и надежный результат может быть получен только при наличии сведений о механизме образования ЗВ во взаимосвязи с условиями протекания конкретного технологического процесса.

Один из крупных источников загрязнения атмосферного воздуха на сульфатно-целлюлозных заводах – известерегенерационные печи (ИРП). Одним из компонентов дымовых газов, отводимых из ИРП, является сероводород (СВ). На ряде предприятий отрасли по выбросам СВ установлены временно согласованные нормативы (ВСВ), что обуславливает необходимость проведения мероприятий по их сокращению до уровня предельно допустимых выбросов (ПДВ). Для ИРП производительностью 100 т известняка/сут выход СВ изменяется (по данным предприятий, полученным при анализе проб газов, отобранных после скруббера Вентури) в диапазоне 0,093 ... 3,010 г/с. В соответствии с [4] выброс СВ может достигать 2,5 г/с. Предлагаемые в отрасли решения по снижению выбросов СВ с использованием средств газоочистки представляются достаточно сложными в эксплуатации, требуют значительных финансовых затрат и не вызывают в настоящее время интерес у предприятий, хотя позволяют не только достичь нормативов ПДВ по СВ, но и вернуть в производство уловленный СВ в виде сульфида натрия.

Основные усилия предприятий по снижению выбросов СВ направлены на интенсификацию процесса промывки каустизационного шлама путем использования больших объемов воды. При этом считается, что основной причиной выделения СВ при обжиге шлама является присутствие в нем остаточного сульфида натрия. Однако анализ данных предприятий и литературных данных [7] позволяет отметить, что увеличение расхода воды при промывке шлама не способствует заметному снижению выбросов СВ. Определенное снижение выбросов СВ наблюдается при использовании для промывки горячей воды; однако снижение выхода СВ в ИРП в этом случае обусловлено выделением его в большей степени при промывке из под колпака вакуум-фильтра.

Представляется, что имеется другая причина выделения СВ при обжиге шлама в ИРП. Основанием для этого, кроме отмеченного, является сомнение в заметной адсорбционной активности такого материала, как карбонат кальция – основной компонент шлама.

Для выяснения адсорбционной активности каустизационного шлама (отобранного на ОАО «Светогорский ЦБК») методом газоадсорбционной хроматографии была определена величина его удельной поверхности: $S_{уд} = (4,34 \pm 0,71) \text{ м}^2/\text{г}$. Максимальное количество сульфида натрия a_m , которое может быть адсорбировано по физическому механизму, определяли по формуле [2]:

$$a_m = S_{уд} / (N\omega),$$

где $N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$;

ω – посадочная площадь (м^2), занимаемая молекулой сульфида натрия на поверхности, $\omega = 1,091 (M/(\rho N))^{2/3}$;

M – молекулярная масса сульфида натрия;

ρ – плотность шлама, $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$.

При подстановке получаем $a_m = 4,34/6,02 \cdot 1910 \cdot 10^{-18} = 0,00055 \times 10^{-5}$ моль/г = $0,0431 \cdot 10^{-2}$ мг/г.

При производительности известерегенерационной печи 100 т $\text{CaCO}_3/\text{сут}$ (2064 г/с) выход сероводорода (в собственных единицах) составит $0,0431 \cdot 10^{-2} \cdot 2064 \cdot 34/78 = 0,387$ мг/с, что намного меньше фактического выброса.

В целях подтверждения того, что присутствие сульфида натрия не является основной причиной выделения СВ при обжиге шлама, был выполнен дополнительный расчет. В его основу положено допущение, что адсорбируется только тот сульфид, который входит в состав адсорбированной воды. При этом принимали $\omega = 0,128$ nm^2 [3]. Расчет, аналогичный предыдущему, показал, что объем адсорбированной воды $a_m = 0,00148$ мкл/г. При концентрации сульфида натрия 20 ... 30 г/л масса адсорбированного ком-

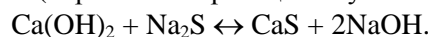
Таблица 1

Значения потенциалов Гиббса ΔG и концентрационных констант равновесия K_p для реакций I и II

Температура, К	ΔG , кДж/моль		K_p	
	I	II	I	II
298	-4,63	-8,26	6,50	28,19
313	-6,24	-	11,05	-
333	-8,75	-	23,72	-
353	-11,28	58,04	46,52	$4,01 \cdot 10^8$

понента составит $(20 \dots 30) \cdot 0,00148 = 0,00029 \dots 0,00043$ мкг/г, выход сероводорода – $(0,00029 \dots 0,00043) \cdot 2064 \cdot 34/78 = 0,264 \dots 0,395$ мг/с. Следовательно, при этом варианте расчета получается практически такой же, минимальный по отношению к фактическим данным, результат.

Учитывая полученные данные, можно допустить, что образование СВ при обжиге шлама не связано с процессом физической адсорбции и обусловлено протеканием (параллельно реакции каустизации) реакции I:



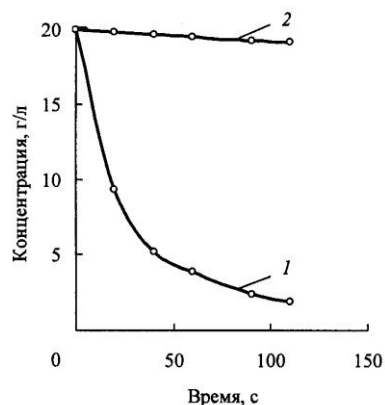
При этом основное количество плохо растворимого сульфида кальция поступает на осветление, затем, совместно с карбонатом кальция, на промывку и далее в ИРП. Термодинамические расчеты (табл.1) показывают возможность протекания данной реакции.

Для подтверждения этого экспериментально были получены данные по кинетике расщедования карбоната натрия при его взаимодействии с гидроксидом кальция (реакция II). Условия проведения опытов: температура – $(20,0 \pm 1,5)$ °С; концентрация карбоната натрия в исходном растворе – $(20,00 \pm 0,04)$ г/л; концентрация гидроксида кальция в исходной суспензии – $(90,00 \pm 0,05)$ г/л; объем реактора – 0,2 л; отношение высоты слоя суспензии к диаметру – 2,5 : 1; перемешивание осуществляли путем подачи в нижнюю часть реактора (диаметр выпускного отверстия 0,5 мм) потока баллонного азота. Азот из реактора поступал в обратный холодильник, затем в поглотит-

тель с пористой пластинкой, заполненный индикаторным раствором для фиксирования проскока сульфидной серы. Скорость подачи азота и геометрические размеры активной части реактора обеспечивали протекание реакции в кинетической области. Контроль за процессом в различные периоды времени осуществляли за счет анализа на карбонат-ион предварительно отфильтрованных проб раствора.

Характер изменения концентрации карбоната натрия во времени при реакции каустизации приведен на рисунке. Сравнительная оценка уравнений, пригодных для описания кинетической кривой (см. рисунок), показала, что наилучшие результаты получены при применении уравнения второго порядка. В этом случае константа скорости реакции каустизации $k_1 = 0,417$ л/моль·с; относительная погрешность расчета не превысила 9,6 %.

Изменение концентрации Na_2CO_3 (кривая 1) и Na_2S (кривая 2) во времени при каустизации шлама



При использовании для расчета константы скорости реакции уравнения первого порядка относительная погрешность составила 42,1 %.

Характер изменения концентрации сульфида натрия при взаимодействии его с гидроксидом кальция экспериментально выявить не удалось вследствие отсутствия надежной методики отдельного определения сульфидов кальция и натрия в растворе. В связи с этим был использован расчетный метод. В основу расчета было положено соотношение [8], связывающее значения констант скорости с константами равновесия для сходных реакций:

$$\lg \frac{k_2}{k_1} = \rho \lg \frac{K_2}{K_1},$$

где k_1, k_2 — константы скорости для изучаемого компонента и компонента, выбранного в качестве стандартного (вещество сравнения);

K_1, K_2 — концентрационные константы равновесия соответствующих реакций;

ρ — постоянная для данного ряда реакций.

Примем в качестве стандартного компонента сульфит-ион, при взаимодействии которого с ионами кальция образуется сульфит кальция. Для этой реакции расчетное значение $\Delta G = 18,00$ кДж/моль, $K_1 = 1447$. Ис-

пользуем приведенное выше соотношение для определения величины ρ с учетом полученных для реакции каустизации данных: $\lg(0,417/3,4 \cdot 10^5) = \rho \lg(28,2/1447)$. Получим $\rho = 3,45$. Далее применим это соотношение для определения константы скорости расходования сульфида натрия k_0 , полагая ее близкой второму порядку:

$$\lg(k_0/0,417) = 3,45 \lg(6,50 / 28,20); k_0 = 0,0026 \text{ л/(моль}\cdot\text{с)}.$$

Имея k_0 , можно рассчитать концентрацию сульфида натрия и эффективность ее снижения в различные моменты времени:

$$k_0 = \frac{1}{\tau} \frac{\eta}{c(1 - \eta)},$$

где τ – время, с;

c – начальная концентрация сульфида натрия.

Таблица 2

Данные для построения кинетической кривой расходования сульфида натрия

Время, с	Эффективность превращения Na ₂ S, %	Текущая концентрация Na ₂ S, г/л
10	0,40	19,92
20	0,80	19,84
40	1,60	19,68
60	2,34	19,53
90	3,50	19,30
110	4,20	19,16

Результаты расчетов (табл. 2) позволили построить кинетическую кривую расходования сульфида натрия (см. рисунок), из которой видно, что скорость образования сульфида кальция чрезвычайно мала по сравнению со скоростью образования карбоната кальция.

За $\tau = 110$ с концентрация сульфида кальция в собственных единицах составляет $(20,00 - 19,16) \cdot 72/78 = 0,77$ г/л. С учетом растворимости CaS в условиях опытов (0,20 г/л [5]) в осадок переходит 0,57 г/л.

Учитывая высокую селективность протекания реакции каустизации можно допустить, что характер изменения концентрации карбоната в присутствии сульфида натрия остается прежним. При этом становится возможным определить количество осажденного сульфида кальция относительно карбоната кальция (как это следует из рисунка, в данном случае за 110 с образуется карбоната кальция, с учетом его растворимости, $20,00 - 1,88 - 0,06 = 18,06$ г/л), т.е. $0,57/18,06 = 0,03$ г/г. Это значение позволяет рассчитать выход СВ при известной производительности ИРП по каустизационному шламу. Например, при производительности ИРП 100 т/сут имеем: $0,03 \cdot 100000 \cdot 34/(24 \cdot 3600 \cdot 72) = 0,016$ кг/с = 16,0 г/с. Учитывая растворимость сульфида кальция, а также то, что шлам подвергается осветлению, при котором в осветлитель вводится определенный объем свежей жидкости (например, осветленный зеленый щелок), и затем промывке водой, очевид-

но, что данное значение будет существенно ниже. В частности, если исходить из того, что промывка осуществляется, как правило, при коэффициенте промывки не менее 0,9, выход сульфида кальция может снизиться до 1,8 г/с и менее, что согласуется с литературными и производственными данными.

Авторы представляют, что приведенные выше данные не являются окончательными; для выяснения механизма образования СВ необходимы дополнительные эксперименты. Однако представленная информация может быть учтена при выборе способа сокращения выбросов СВ из ИРП.

Изменение причины образования СВ не влияет на его выход при обжиге шлама в ИРП : загрязненность дымовых газов при этом не изменяется. Однако, если образование сероводорода обусловлено присутствием в шламе сульфида кальция (и частично гидросульфида в составе влаги), то отпадает необходимость применения большого количества воды при промывке вследствие того, что сульфид кальция, в отличие от сульфида натрия, представляет собой достаточно плохо растворимое соединение. Полученная информация может быть использована при разработке технологических мероприятий по сокращению выхода СВ (например таких, как окисление сульфида кальция). Окислительная обработка шлама, как предложение по сокращению выбросов СВ, известна достаточно давно [1, 7], однако инженерная разработка данного предложения до настоящего времени отсутствует. Применение для окислительной обработки шлама бункеров-накопителей, в которые подается воздух, не обеспечивает получения требуемого результата, о чем свидетельствуют данные замеров и тот факт, что все предприятия оснащены такими бункерами. Кроме того, следует иметь в виду, что параметры процесса окисления сульфида кальция и сульфида натрия могут существенно отличаться, особенно в случае, когда скорость растворения сульфида кальция меньше скорости его окисления.

Использование температурного фактора для снижения выбросов СВ не представляется возможным, так как проведение каустизации при температуре ниже 80 °С заметно снижает эффективность процесса (см. табл. 1). В работах [1, 7] отмечается возможность снижения выбросов СВ непосредственно при обжиге шлама в ИРП путем ввода в печь молекулярного кислорода. В этом случае также важно знать, в какой форме присутствует в шламе сульфид. Выбор места ввода кислорода в печь во многом зависит от того, содержатся ли в шламе сульфиды натрия или кальция, отличающиеся своей реакционной способностью по отношению к диоксиду углерода и водяному пару.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братчиков, Г.Г. Очистка газовых выбросов в целлюлозно-бумажной промышленности [Текст] / Г.Г. Братчиков. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 256 с.
2. Грег, С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость [Текст]: [пер. с англ.] / С. Грег, К. Синг. – М.: Мир, 1984. – 306 с.
3. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники [Текст] / Н.В. Кельцев. – М.: Химия, 1984. – 592 с.

4. *Максимов, В.Ф.* Очистка и рекуперация промышленных выбросов [Текст]: учеб. [для вузов] / В.Ф. Максимов [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 416 с.
5. *Некрасов, Б.В.* Основы общей химии [Текст]. Т.2 / Б.В. Некрасов. – М.: Химия, 1973. – 688 с.
6. *Сигал, И.Я.* Защита воздушного бассейна при сжигании топлива [Текст] / И.Я. Сигал. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.
7. *Ситтиг, М.* Защита окружающей среды в целлюлозно-бумажной промышленности [Текст]: [пер. с англ.] / М. Ситтиг. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 280 с.
8. *Эммануэль, Н.М.* Курс химической кинетики [Текст] / Н.М. Эммануэль, Д.Г. Кнорре. – М.: Высш. шк., 1974. – 400 с.

С.-Петербургский государственный технологический
университет растительных полимеров

Поступила 20.02.06

L.N. Grigorjev, O.A. Shanova, T.A. Alexandrova

Hydrogen Sulphide Formation in Process of Lime Sludge Burning

It is shown that hydrogen sulphide formation in the process of lime sludge burning is caused to a considerable extent by the presence of calcium sulphide and hydrosulphide in the sludge.

УДК 676.017

Е.В. Дьякова, В.И. Комаров, Е.С. Носкова

Дьякова Елена Валентиновна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства. Имеет более 20 печатных работ в области исследования свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 300 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Носкова Елена Сергеевна родилась в 1977 г., окончила в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства. Имеет 1 печатную работу в области исследования свойств деформативности и прочности бумаги и картона.



УСТОЙЧИВОСТЬ К ИНИЦИИРОВАНИЮ И РОСТУ ТРЕЩИН В СТРУКТУРЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Показана возможность использования энергетической характеристики (J -интеграл) для оценки качества бумаги и картона; приведена методика испытания и процедура расчета величины J -интеграла для целлюлозно-бумажных материалов. Установлено влияние различных технологических факторов на трещиностойкость тарного картона.

Ключевые слова: механика разрушения, трещиностойкость, вязкость разрушения, коэффициент Пуассона, анизотропия, картон-лайнер

Для оценки качества полимерных и композитных материалов широко используют методы механики разрушения. Основополагающие постулаты механики разрушения гласят, что твердые тела всегда имеют дефекты

структуры, служащие источниками трещин, и разрушение этих тел является процессом развития трещин под действием приложенных нагрузок. Преимуществом механики разрушения перед традиционными методами оценки качества материала является использование количественных обобщенных критериев, связывающих критическое напряжение разрушения с длиной трещины, т.е. с дефектом структуры, обуславливающим разрушение [1].

Применение теории механики разрушения к бумаге и бумажным структурам вызывает интерес практиков. Это напрямую связано с проблемами обрывов при прохождении бумажного полотна через транспортную систему печатных и копировальных устройств, обрывов на КДМ и дефектов растрескивания наружных плоских слоев гофрированного картона при рилевке и фальцовке, наполнения и транспортирования бумажных мешков и т.д.

Структура бумаги, как и любого другого материала, содержит дефекты, которые являются причиной снижения разрушающего напряжения. В первом приближении к дефектам можно отнести трещины кромки полотна, складки кромки полотна, костру и узелки волокон в структуре, которые вызывают возникновение трещиноподобных дефектов при натяжении полотна бумаги в процессах прессования, сушки и каландрирования.

Одно из важнейших свойств материала в соответствии с положением механики разрушения – трещиностойкость, т.е. устойчивость к инициации и росту трещин, случайно образующихся или специально нанесенных [8, 9].

Раскрытие и рост трещин происходит по одному из трех типов (рис. 1). При нормальных напряжениях возникает трещина типа I (отрыв), перемещение ее берегов (краев) происходит перпендикулярно плоскости трещины; при плоском сдвиге – трещина типа II (сдвиг), перемещение ее берегов происходит в плоскости трещины и перпендикулярно ее фронталь-

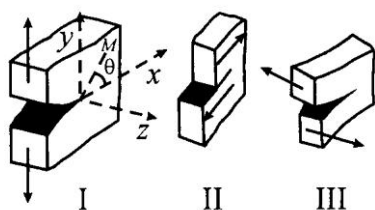


Рис. 1. Типы разрушения при различных видах напряженного состояния: I – нормальный отрыв при растяжении; II – скол при продольном сдвиге; III – раздир при поперечном сдвиге

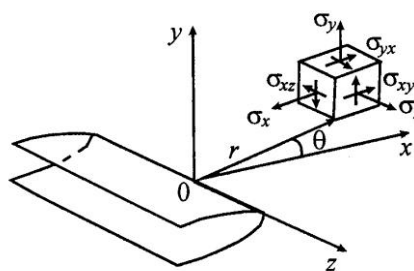


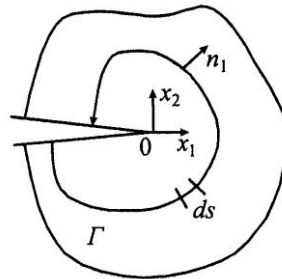
Рис. 2. Система координат и компонента напряжений у вершины трещины

ной линии; при антиплоском сдвиге – трещина типа III (срез или раздир), перемещение ее берегов совпадает с плоскостью трещины и параллельно ее направляющей кромке [3]. Система координат, принимаемая при рассмотрении роста трещины, представлена на рис. 2.

Для оценки процесса раскрытия трещины в структуре бумаги в работах [15, 17, 26], опубликованных в 1960–1979 гг., предложено использовать положения линейной упругой механики разрушения. Однако позднее было показано [21], что для практического применения этих положений размер образцов должен быть очень большим. Авторы [20] пришли к заключению, что при испытании на растяжение на краю образующейся в бумаге трещины имеют место пластические деформации, и сделали вывод – для оценки структуры бумаги, в которой образуются трещины вне линейно-упругой области, лучше использовать энергетическую характеристику – J -интеграл.

Параметр J – не зависящий от пути контурный интеграл [14]. Он представляет собой обобщенную энергетическую характеристику, оценивающую поток энергии через произвольный замкнутый контур, окружающий вершину трещины (рис. 3).

Рис. 3. Определение поведения траектории для определения J -интеграла



J -интеграл определяется выражением

$$J = \int_{\Gamma} \left(W dy - \vec{T} \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} ds \right),$$

где Γ – произвольный замкнутый контур, окружающий вершину надреза (трещины), вдоль которого осуществляется интегрирование в направлении против часовой стрелки;

W – энергия деформации единицы объема материала;

\vec{T} – вектор напряжений, действующих на границе области, ограниченной контуром Γ , $T_i = \sigma_{ij} n_j$;

σ_{ij} – компоненты напряжений;

n_i – внешняя нормаль к контуру Γ ;

\vec{u} – вектор перемещений на контуре Γ ;

ds – малый элемент контура Γ .

Энергию деформации единицы объема материала рассчитывают по уравнению:

$$W = W(x, y) = W(\varepsilon) = \int_0^{\varepsilon} \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij} .$$

Целлюлозно-бумажные материалы, как и большинство реальных материалов, являются вязкоупругими. Для качественного и количественного описания такого материала пользуются механическими моделями, составленными путем различного комбинирования идеально упругого и вязкого элемента. Таким образом, $J_1 = J_1^{уп} + J_1^{вн}$. Пластический компонент $J_1^{вн}$ не принимают в расчет при низких нагрузках, но его вклад в разрушение при высоких нагрузках является доминирующим [28].

В механике разрушения показано [1], что трещина получает возможность распространяться в том случае, когда параметр J достигнет или превысит критическую величину J_C :

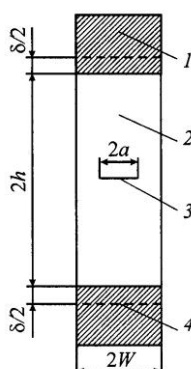
$$J \geq J_C .$$

Левая часть этого неравенства определяется численными методами, чаще с помощью метода конечных элементов. В методе конечных элементов сплошное тело, имеющее бесконечное число степеней свободы, разбивают на элементы ограниченной протяженности и, используя характеристики отдельных элементов, описывают поведение системы в целом [14].

Правая часть неравенства – основная характеристика трещиностойкости, которая определяется экспериментально. В настоящее время существуют стандартные методики проведения испытаний, к которым можно отнести испытания на компактное напряженное состояние и на трещиностойкость при трехточечном изгибе. Однако следует иметь в виду, что эти стандартные методики разработаны лишь для металлов и сплавов [19].

Растущий интерес у производителей бумаги и картона к показателю трещиностойкости как характеристике качества структуры целлюлозно-бумажных материалов привел к разработке фирмой «Lorentzen & Wettre» прибора для определения J_{IC} [25].

Рис. 4. Образец для испытаний на трещиностойкость: 1 – участок образца, закрепляемый в зажиме разрывной машины; 2 – участок образца, подвергаемый нагружению; 3 – надрез; 4 – удлинение образца при испытании



В 1995 г. в скандинавских странах введен в действие стандарт SCAN-P77:95, в котором приведена методика испытаний и процедура расчета величины J -интеграла [24]. На кафедре технологии ЦБП АГТУ в лабора-

тории физики бумаги разработан алгоритм расчета характеристик вязкости разрушения по данному стандарту [16].

В стандарте на определение трещиностойкости бумаги и картона приняты следующие определения: *трещиностойкость* J_{IC}^b – прирост совершенной работы на прирост длины надреза в испытуемом образце, содержащем надрез, когда испытуемый образец растягивается до удлинения, равного критическому; *индекс трещиностойкости* J_{IC}^w – трещиностойкость, отнесенная к массе 1 м^2 ; *удлинение* δ – увеличение длины испытуемого образца; *критическое удлинение* δ_c – удлинение при максимальной силе, т.е. деформация разрушения.

Для определения трещиностойкости бумаги и картона проводят две серии испытаний на растяжение с постоянной скоростью 100 мм/мин и при расстоянии между зажимами разрывной машины 100 мм . В первой серии испытывают образцы шириной 15 мм , во второй – шириной 50 мм с надрезом в центре длиной 20 мм перпендикулярно продольной оси образца (рис. 4).

Затем устанавливают связь между величиной J -интеграла и удлинением. По экспериментальным данным испытаний на трещиностойкость находят критическое удлинение. Трещиностойкость определяется как величина J -интеграла при среднем критическом удлинении (рис. 5).

По результатам испытаний на растяжение образцов шириной 15 мм , вырезанных в машинном (MD) и поперечном машинном (CD)

Рис. 5. Определение величины J -интеграла при среднем критическом удлинении δ_c

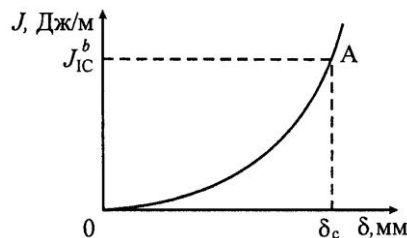


Рис. 6. Принцип вычисления величин характеристик при испытании на растяжение: δ_N – номинальное удлинение; c – максимальный наклон касательной; $\bar{\delta}_T$ – среднее удлинение при разрыве (4 – отброшенная кривая)



направлениях, из производственного материала или из лабораторных отливок, строят типичную среднюю кривую «нагрузка – удлинение», по которой рассчитывают параметры материала.

На рис. 6 показан принцип расчета параметров материала на основании экспериментальных данных на растяжение. Перед построением средней

кривой отбрасывают выпадающие кривые (кривая 4), которые имеют удлинение при разрыве меньше, чем 90 % среднего удлинения. Все расчеты выполняют при нулевом удлинении каждой кривой, т. е. в точке, где касательная к кривой с наклоном, равным максимальному, пересекает ось удлинения δ . Для оставшихся кривых определяют минимальное (номинальное) удлинение δ_N (кривая 1), рассчитывают среднее удлинение при разрыве $\bar{\delta}_T$. Номинальное усилие F_N определяют по средней кривой как усилие при номинальном удлинении δ_N . Кроме того, для средней кривой определяют максимальный наклон c путем проведения прямой линейной регрессии по ряду величин «сила – удлинение» с шагом увеличения удлинения 0,1 мм. Линейная регрессия должна содержать, по крайней мере, 10 значений «сила – удлинение».

Далее рассчитывают работу удлинения, определяемую как площадь U под кривой от нулевого δ_0 до номинального $\square \delta_N$ удлинения:

$$U = \int_0^{\delta_N} F(\delta) d\delta,$$

и переходят к расчету параметров материала:

$$p = \frac{F_N \left(\frac{F_N}{c} - \delta_N \right)}{U - F_N \delta_N + \frac{F_N^2}{2c}} - 1; \quad k = \frac{\delta_N - \frac{F_N}{c}}{\left(\frac{F_N}{c} \right)^p}.$$

Степень анизотропии для жесткости при растяжении $A(E)$ находят по уравнению

$$A(E) = \frac{E_{MD}^b}{E_{CD}^b}.$$

Рассчитывают параметр α при испытании образцов материала в машинном и поперечном машинном направлениях:

$$\alpha_{MD} = 0,293 \sqrt{\frac{1}{A(E)}}; \quad \alpha_{CD} = 0,293 \sqrt{A(E)}.$$

Для лабораторных отливок $\alpha = 0,293$.

Параметр материала Φ определяют согласно уравнению

$$\Phi = \frac{kl^{p-1}(2-\alpha)(\alpha^2-\alpha+1)^{\frac{p-1}{2}}}{2 \cdot 0,914^p}.$$

Безразмерные функции f_1 и f_2 рассчитывают по уравнениям

$$f_1 = 0,5617 \left(\frac{E_1^b}{E_2^b} \right)^{-0,19}; \quad f_2 = 0,5 + 0,512 \operatorname{tgh}(0,206 p).$$

В дальнейших расчетах используют результаты испытаний образцов с надрезами. Для каждого испытуемого образца регистрируют кривую «на-

грузка – удлинение» (рис. 7), по которой определяют нулевое δ_0 и критическое δ_c удлинение.

Для каждого испытуемого образца рассчитывают критическое напряжение σ_c^b путем решения следующего уравнения:

$$\frac{\delta_c}{2} = \frac{1 - \nu_{12}\nu_{21}}{E_2^b} \sigma_c^b h + \Phi h \left(\frac{1 - \nu_{12}\nu_{21}}{E_2^b} \sigma_c^b \right)^p,$$

где $\nu_{12}\nu_{21} = 0,293^2$ – произведение коэффициентов Пуассона в машинном и поперечном машинному направлениях.

Рассчитывают параметр β по уравнению

$$\beta = \frac{h(1 - \nu_{12}\nu_{21})}{E_2^b} \sigma_c^b$$

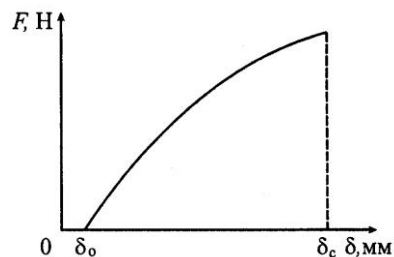
и его среднюю величину $\bar{\beta}$.

Относительное напряжение σ_0^b находят как

$$\sigma_0^b = \varepsilon_0 \frac{E_2^b}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})},$$

где ε_0 – относительная деформация для бумаги, принимают $\varepsilon_0 = 0,003$.

Рис. 7. Кривая нагрузка – удлинение для образца, испытываемого на трещиностойкость



Далее рассчитывают трещиностойкость

$$J_{IC}^b = \frac{\bar{\beta}^2 E_2^b}{h(1 - \nu_{12}\nu_{21})} f_1 + \frac{2ph}{p+1} \Phi \sigma_0^b \varepsilon_0^p \left(\frac{\bar{\beta}}{\varepsilon_0 h} \right)^{p+1} f_2$$

и индекс трещиностойкости (Дж·м/кг):

$$J_{IC}^w = \frac{1000 J_{IC}^b}{w}.$$

Расчеты с использованием вышеприведенного алгоритма выполняют на ЭВМ. Результаты вычислений могут быть распечатаны на принтере или выведены в файл в формате *rtf*.

Ошибка в определении трещиностойкости складывается из ошибки определения средней кривой нагрузка – удлинение и ошибки критического удлинения. Принимают, что ошибка кривой $F - \delta$ незначительна. Ошибку трещиностойкости определяют следующим образом:

1) приблизительно рассчитывают изменение трещиностойкости по уравнению

$$V_J = 4 \left(\frac{\bar{\beta} E_2^b}{h(1 - \nu_{12}\nu_{21})} f_1 + \frac{ph}{\bar{\beta}} \Phi \sigma_0^b(\varepsilon_0)^p \left(\frac{\bar{\beta}}{\varepsilon_0 h} \right)^{p+1} f_2 \right)^2 V_\beta;$$

2) рассчитывают коэффициент вариации трещиностойкости (%) по уравнению

$$CV_J = 100 \frac{\sqrt{V_J}}{J_{IC}}.$$

В обсуждаемой выше методике большим приближением является принятие величины коэффициента Пуассона для всех видов испытуемых материалов равным 0,293. В работе [7] предложена методика, позволяющая рассчитывать коэффициент Пуассона для полимерных материалов. В работе [11] показана возможность использования данной методики при испытаниях на растяжение целлюлозно-бумажных материалов.

Известно, что под воздействием одноосного растяжения при разрушении полимерного материала одновременно происходят крейзование и образование полосы сдвига [2]. При деформировании целлюлозно-бумажных материалов наблюдается и пластическая деформация, которая, как можно предположить, также определяется этими механизмами разрушения структуры. Поэтому качественная оценка их вкладов в пластическую составляющую деформации, а значит, и в прочность вообще, представляется важной для интерпретации процессов деформации и разрушения.

Исходным уравнением предлагаемой методики является соотношение

$$\left(\frac{\Delta V}{V} \right) / \left(\frac{\Delta L}{L} \right) = 1 - 2\nu, \quad (1)$$

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 (1) определяет вклад крейзования в пластическую деформацию образца [2]. Если левая часть равна 1, то единственным механизмом является крейзование ($\nu = 0$), а при ее равенстве нулю вся пластическая деформация обусловлена сдвиговой вынужденной эластичностью ($\nu = 0,5$). При промежуточных значениях соотношение, стоящее в левой части уравнения (1), равно относительной доле крейзования в пластической деформации. Таким образом, это уравнение позволяет однозначно дифференцировать вклады крейзования и сдвиговой вынужденной эластичности при условии известности ν .

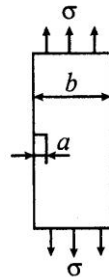
Испытанию подвергают образец с надрезом. По мере увеличения длины надреза a в структуре образца происходит изменение напряженного

состояния: первоначальное плосконапряженное состояние переходит в плоскодеформированное, для которого нормальное напряжение в поперечном направлении не равно 0. Важной характеристикой такого перехода является соотношение a/b , которое в случае полимерного материала равно 0,1. Возрастание a/b вызывает значительное снижение прочности материала (рис. 8).

Плоское напряженное состояние характеризуется тем, что в твердом теле в сечении с трещиной действуют только компоненты напряжений σ_x , σ_y , и σ_{xy} (см. рис. 2), а компоненты напряжений $\sigma_z = \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0$, т. е. все компоненты напряжений действуют в одной плоскости (xy). При этом смещение точек твердого тела в области вершины трещины происходит во всех трех направлениях. Следовательно, при плоском напряженном состоянии деформированное состояние твердого тела в окрестностях вершины трещины является объемным.

Плоское деформированное состояние характеризуется тем, что смещение точек твердого тела и вершины трещины происходит только в направлении осей x и y , в направлении оси z оно затруднено, т. е. деформация совершается только в одной плоскости (xy). При этом в области вершины трещины компоненты напряжений действуют во всех трех направлениях,

Рис. 8. Образец для испытаний:
 a – длина надреза, b – ширина образца



т. е. при плоской деформации напряженное состояние является трехмерным (объемным) [10].

Определяем необходимый для дальнейших расчетов коэффициент Пуассона:

$$\frac{\omega_{p1}}{\omega_{p2}} = \left(\frac{1-\nu}{1-2\nu} \right)^2, \quad (2)$$

где ω_{p1} и ω_{p2} – плотности энергии деформации соответственно в плосконапряженном и плоскодеформированном состояниях,

$$\omega_{p1} = \frac{\sigma_1^2}{2E}; \quad \omega_{p2} = \frac{\sigma_2^2}{2E}; \quad (3)$$

σ_1 и σ_2 – напряжение разрушения соответственно при плосконапряженном и плоскодеформированном состояниях;

E – модуль Юнга.

Из уравнений (2), (3) при условии $E = \text{const}$ можно получить зависимость

$$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \left(\frac{1-\nu}{1-2\nu} \right)^2. \quad (4)$$

Величина $\sigma_2 = \text{const}$ и равна асимптотическим значениям σ_p^a . Тогда, определив σ_p при $a = 0$ (т. е. σ_1), можно по уравнению (4) вычислить ν .

Таким образом, определение величины J -интеграла при испытании целлюлозно-бумажного материала дает возможность получить информацию о размерах трещины, которая вызовет разрушение (при известном типе нагрузки), а также о величине критической нагрузки (если известен размер дефектов), что позволяет корректировать параметры процессов производства. Авторы работы [27] отмечают, что трещиностойкость, т.е. сопротивление материала развитию трещин, является таким же фундаментальным свойством материала, как и модуль упругости.

На кафедре технологии ЦБП АГТУ в течение ряда лет ведется работа по оценке влияния технологических факторов на деформативность и прочность тароупаковочных материалов.

Сравнительные данные трещиностойкости картонов-лайнеров массой 150 г/м^2 четырех крупнейших отечественных производителей представлены в табл. 1 [18].

Трещиностойкость картона сильно зависит от межволоконных сил связи и собственной прочности волокон, используемых в композиции. Известно, что способность вторичных волокон к размолу и образованию межволоконных сил связи ограничена вследствие ороговения их поверхности. Определение собственной прочности волокон (нулевой разрывной длины) показало, что у картона Караваевской бумажной фабрики, производимого из

Таблица 1

Трещиностойкость картона-лайнера

Характеристика	Значение характеристики картона различных производителей			
	АЦБК	КЦБК	КБФ	СЛПК
Трещиностойкость, кДж/м:				
в направлении MD	3290	2230	1750	2960/2880
« CD	970	890	760	1060/1020
Индекс трещиностойкости, кДж/м:				
в направлении MD	21,9	14,9	11,7	19,7/19,2
« CD	6,5	6,0	5,1	7,1/6,8
Коэффициент анизотропии:				
для трещиностойкости	3,39	2,51	2,30	2,79/2,82
для индекса трещиностойкости	3,37	2,48	2,29	2,77/2,82

Примечания. 1. АЦБК – Архангельский ЦБК, КЦБК – Котласский ЦБК, КБФ – Караваевская бумажная фабрика, СЛПК – Сыктывкарский ЛПК. 2. В числи-

теле приведены данные для обычного картона-лайнера, в знаменателе – для картона с белым покровным слоем.

макулатурных волокон, эта характеристика в среднем на 30 % ниже, чем у крафт-лайнера, изготавливаемого на АЦБК. Поэтому находит объяснение тот факт, что самую низкую трещиностойкость как в машинном, так и в поперечном машинному направлении имеет картон, изготовленный из макулатуры (КБФ), самую высокую – из хвойной сульфатной целлюлозы высокого выхода с содержанием лиственной полуцеллюлозы в композиции массы до 20 % (АЦБК).

Сыктывкарский картон в направлении, поперечном машинному, имеет наибольшие значения трещиностойкости, в машинном направлении уступает только картону АЦБК. Определяющей особенностью технологии производства картона на СЛПК является использование в композиции небеленой и беленой сульфатной лиственной и хвойной целлюлозы нормального выхода.

Испытания картонов различных производителей показали, что картон с повышенными характеристиками жесткости должен обладать и соответствующим уровнем трещиностойкости для снижения обрывов на машине, а также во избежание растрескивания в процессах рилевки и биговки. Трещиностойкость картона с различной массой 1 м^2 представлена в табл. 2.

Наиболее простой способ придания гофрокартону требуемой жесткости – увеличение массы 1 м^2 картона для плоских слоев. Однако возможность его использования ограничена, с одной стороны, увеличением расхода полуфабрикатов, а с другой – наличием верхнего предела массы 1 м^2 , который регламентируется затруднениями при рилевании гофрокартона и появлением трещин по линиям рилевки при сгибании [5, 6]. Помимо этого в последнее время наметилась тенденция к производству материала пониженной массы 1 м^2 , в том числе и тарного картона. При этом следует учитывать на-

Таблица 2

Рекомендуемый уровень трещиностойкости для крафт-лайнера

Масса 1 м^2 , г	J_{IC} , кДж/м	
	MD	CD
125	2500...2800	800...900
140	2900...3200	900...1000
150	3000...3300	1000...1200
175	4500...5000	1100...1300
200	5000...5500	1600...1800

Таблица 3

Влияние анизотропии на трещиностойкость крафт-лайнера

Масса 1 м^2 , г	Угол вырезки, град	K	J_{IC} , кДж/м	J_{IC}^w , кДж·м/г
125	MD	3,9	2160	17,28

150	15	2,6	1995	15,96
	30	1,8	1672	13,38
	45	1,1	1165	9,32
	60	0,6	1085	8,68
	75	0,3	904	7,23
	CD	0,3	373	2,99
	MD	3,7	2392	15,95
	15	2,8	3169	21,13
175	30	2,0	2265	15,10
	45	1,0	1974	13,17
	60	0,6	1626	10,85
	75	0,4	1402	9,35
	CD	0,3	447	2,98
	MD	3,5	2499	14,28
	15	2,5	3858	22,05
	30	1,7	2997	17,13
	45	1,0	2227	12,73
	60	0,6	1962	11,22
	75	0,4	1750	10,00
	CD	0,3	495	2,83

грузки, испытываемые гофрированным картоном в процессе эксплуатации. В противном случае снижение массы 1 м^2 может привести к нежелательным воздействиям на упаковываемую продукцию при ее транспортировке и хранении.

Степень анизотропии структуры материала в сильной степени влияет на трещиностойкость. Для оценки влияния анизотропии структуры на трещиностойкость испытывали крафт-лайнер АЦБК массой 1 м^2 : 125, 150 и 175 г. Образцы для испытаний вырезали под разными углами относительно машинного направления полотна (табл. 3)[4].

Коэффициент анизотропии K может быть вычислен как отношение величины характеристики, определенной в заданном направлении (MD или под заданным углом к MD), к величине трансверсальной характеристики по отношению к заданному направлению:

$$K = \frac{Y_i}{Y_{i+90^\circ}},$$

где Y – заданная характеристика;

i – угол по отношению к направлению MD;

$i + 90^\circ$ – направление испытания трансверсального образца.

Данные табл. 3 подтверждают теоретические представления о снижении механических свойств бумаги и картона при увеличении отклонения угла вырезки образцов от машинного направления вне зависимости от массы 1 м^2 .

Известно, что плоские слои гофрированного картона в процессе эксплуатации ящиков подвергаются большим деформациям в поперечном направлении, это объясняется условиями его получения на гофроагрегате. По-

этому производителям картона-лайнера необходимо стремиться к снижению анизотропии материала.

В последнее время в бумажной промышленности наблюдается устойчивая тенденция роста потребления вторичного волокнистого материала (макулатура) для производства гофрокартона. Из работ [22, 23] следует, что вторичный волокнистый материал является крайне неоднородной полидисперсной системой, состоящей из волокон с различной длиной и толщиной, полученных различными способами из различных пород древесины. Предлагается бумажную массу из вторичного материала условно делить на коротковолокнистую и длинноволокнистую фракции.

Длинноволокнистая фракция характеризуется заметно большей средней длиной волокна, низкой степенью помола и потенциально высокими прочностными свойствами. Коротковолокнистая фракция представляет собой обрывки и фрагменты сильноороговевших волокон, которые имеют высокую степень помола, небольшую среднюю длину, недостаточные бумагообразующие свойства и особое свойство – укорочение в процессе размола вследствие повышенной хрупкости. Совместный размол коротко- и длинноволокнистой фракций приводит к еще большему измельчению коротких и недостаточной обработке длинных волокон. Приготовленная таким образом бумажная масса характеризуется невысокими бумагообразующими свойствами, что в первую очередь проявляется в понижении способности к обезвоживанию и образованию межволоконных сил связи. Таким образом, уменьшаются скорость бумагоделательной машины и механическая прочность материала.

Для реализации селективной обработки коротко- и длинноволокнистой фракций вторичного волокна с целью повышения бумагообразующих свойств необходимо фракционирование, т. е. получение двух волокнистых фракций с разными свойствами. После фракционирования коротковолокнист

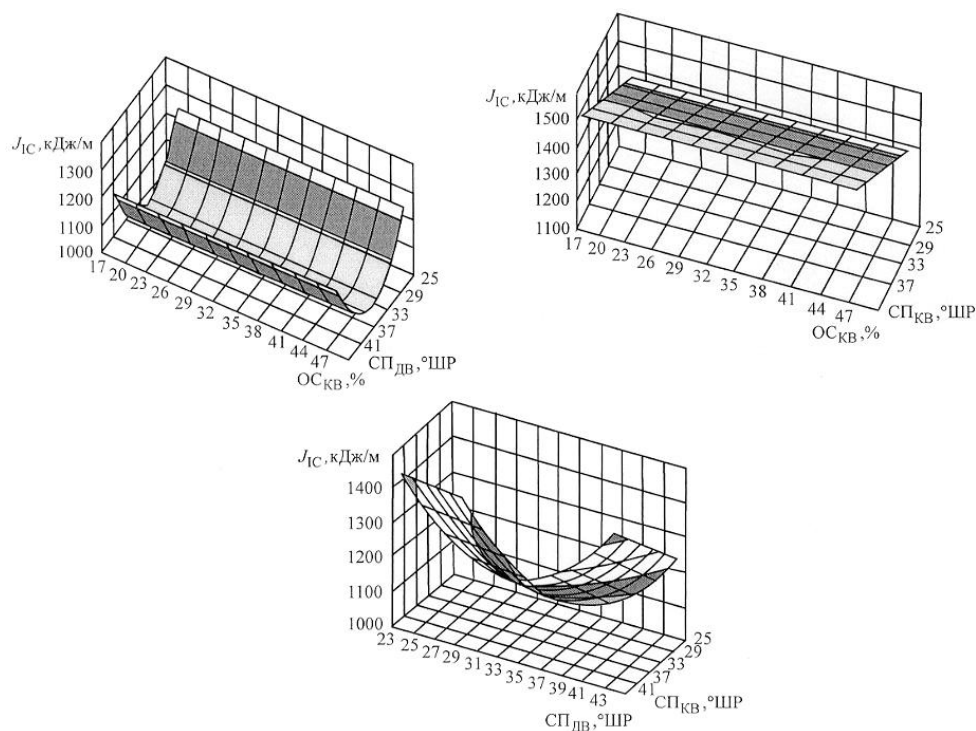


Рис. 9. Влияние параметров процессов фракционирования и размола на трещиностойкость тест-лайнера

тый материал в зависимости от его физической характеристики и технологического назначения либо вообще не подвергают размолу, либо размалывают отдельно. Длинноволокнистая фракция диспергируется и размалывается в целях гомогенизации бумажной массы и повышения ее прочности [13].

На рис. 9 приведены результаты исследования зависимости трещиностойкости тест-лайнера от параметров фракционирования и размола вторичного волокна [12].

Данный эксперимент позволил определить технологические параметры, обеспечивающие получение тест-лайнера с максимально возможной в данной технологии трещиностойкостью $J_{IC} = 1500$ кДж/м: степень помола длиноволокнистой фракции ($SP_{ДВ}$) – 35 °ШР; степень помола коротковолокнистой фракции ($SP_{КВ}$) – 25 °ШР; относительное содержание короткого волокна ($OC_{КВ}$) – 35 %.

Таким образом, контроль трещиностойкости материала позволяет на практике принимать решения об оптимизации технологического процесса: необходимой эффективности сортирования в целях уменьшения размеров типичных дефектов, относительном содержании в структуре длиноволокнистого полуфабриката или длиноволокнистой фракции для нивелирования воздействия дефектов; о параметрах процесса размола для заданного

изменения свойств волокон; модернизации бумагоделательной машины для уменьшения колебаний характеристик качества бумажного полотна и размеров дефектов кромок; об использовании для производства менее дорогостоящих полуфабрикатов; о снижении массы 1 м^2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабаевский, П.Г.* Трещиностойкость отвержденных полимерных композиций [Текст] / П.Г. Бабаевский, С.Г. Кулик. – М.: Химия, 1991. – 336 с.
2. *Бакнелл, К.Б.* Ударопрочные пластики [Текст] / К.Б. Бакнелл. – Л.: Химия, 1981. – 328 с.
3. *Бартенев, Г.М.* Прочность и механизм разрушения полимеров [Текст] / Г.М. Бартенев. – М.: Химия, 1984. – 280 с.
4. *Белоглазов, В.И.* Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки [Текст] / В.И. Белоглазов, А.В. Гурьев, В.И. Комаров; под ред. В.И. Комарова. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 252 с.
5. *Варенцов, П.Н.* Изучение растяжения гофрированного картона при рилевании и перегибах [Текст] / П.Н. Варенцов, Г.А. Карпова, И.В. Головизина // Совершенствование технологии тарного картона и картонной тары: сб. трудов ВНИПИЭИлеспром. – М., 1986. – С.34–41.
6. *Варенцов, П.Н.* Растяжение гофрированного картона при рилевании и перегибах [Текст] / П.Н. Варенцов, Г.А. Карпова // Бум. пром-сть. – 1986. – № 2. – С. 5–7.
7. *Козлов, Г.В.* Оценка вкладов механизмов пластической деформации в ударную прочность полимеров [Текст] / Г.В. Козлов, В.Н. Белоусов, А.К. Микитаев // Докл. АН СССР. – 1984. – № 2. – С. 338–342.
8. *Комаров, В.И.* J-интеграл – характеристика структуры целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1997. – № 5-6. – С. 26–29.
9. *Комаров, В.И.* Вязкоупругость целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1997. – № 6. – С. 25–44. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. *Комаров, В.И.* Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 440 с.
11. *Комаров, В.И.* Расчет коэффициента Пуассона при испытании на растяжения целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров, Я.В. Казаков // Лесн. журн. – 1993. – № 5–6. – С. 133–136. – (Изв. высш. учеб. заведений).
12. *Комаров, В.И.* Формирование свойств тест-лайнера в процессе производства [Текст] / В.И. Комаров, Н.И. Яблочкин, Д.А. Дулькин, И.Н. Ковернинский. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 162 с.
13. *Ламбергер, Э.* Фракционирование макулатуры – средство к управлению качеством и его улучшению // Материалы фирмы «Voith». – М.: 1985. – 15 с.
14. *Нотт, Дж.Ф.* Основы механики разрушения [Текст] / Дж.Ф. Нотт. – М.: Металлургия, 1978. – 256 с.
15. *Пейдж, Д.* Теоретические исследования механизма сопротивления разрыву бумаги при растяжении [Текст] / Д.Пейдж // Tappi. – 1969. – № 4. – С. 674–681.
16. Программа для расчета характеристик вязкости разрушения целлюлозно-бумажных материалов согласно SCAN-P 77:95 (J_INTEGRAL) [Текст]: свид.

2001610527 РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ / Я.В. Казаков, В.И. Комаров; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО АГТУ (RU). – № 2001610251/69; заявл. 11.03.01; опублик. 10.05.01, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

17. *Сет, Р.С.* О работе разрушения бумаги [Текст] / Р.С. Сет // Тappi. – 1979. – № 3. – С.105.

18. *Сысоева, Н.В.* Разработка технологии производства крафт-лайнера повышенной жесткости [Текст]: дис... канд. техн. наук / Н.В. Сысоева. – Архангельск, 2003. – 146 с.

19. *Фудзи, Т.* Механика и разрушение композиционных материалов [Текст] / Т. Фудзи, М. Дзако. – М.: Мир, 1982. – 232 с.

20. *Choi, D.* Progressive deformation at the crack tip in paper during Mode I fracture. Part I – bond paper [Text] / D. Choi, J.L. Thorpe // Tappi. – 1992. – N 10. – P. 127–134.

21. *Fellers, C.* Furniture foughness a new paper property [Text] / C. Fellers // Paper Testing and Processes Optimization: Catalog. Lorentzen and Wettre, 1994. – P. 92–98.

22. *Mc Kee, R.C.* Effekt of repulping on sheet properties and fiber characteristics [Text] / R.C. Mc Kee // Paper Trade Journal. – 1971.– Vol. 155, N 24. – P. 34–40.

23. Papermaking Science and Technology. Book 7. Recycled Fiber an Deinking [Text] / Book editor L. Gottshing, H. Pakarinen. – Jyvaskila, Finland, 2000. – 649 p.

24. Papers and Boards. Fracture Toughness. Scandinavian pulp, paper and board. Testing Committee [Text]: SCAN–P77:95. – 8 p.

25. Paper Testing and Process Optimization Catalog [Text]. – Lorentzen and Wettre, 1994. – 200 p.

26. *Seth, R.S.* Fracture resistance: a failure criterion for Paper [Text] / R.S. Seth, D.H. Page // Tappi. – 1975. – N 9. – P. 112–117.

27. *Seth, R.S.* Measurement of in-plane fracture toughness of paper [Text] / R.S. Seth // Tappi. – 1995. – N 10. – P. 177–183.

28. *Wellmar, P.* Crack Tip Characterization in Paper [Text] / P. Wellmar, C. Fellers, F. Nilsson, L. Delhage // Journal of Pulp and Paper Science. – 1997. – Vol. 23, N 6. – P. 169–176.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 10.05.06

E.V. Djakova, V.I. Komarov, E.S. Noskova

Stability to Crack Initiating and Growth in Structure of Pulp-and-paper Materials

The possibility of using energy characteristic (J -integral) for paper and board quality estimation is shown; the technique for testing and calculation procedure of J -integral value for pulp-and-paper materials is provided; the influence of different technological factors on fracture strength of containerboard is established.



УДК 630*652

Е.С. Романов, И.В. Лаврова

Романов Евгений Самуилович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики отраслей Архангельского государственного технического университета, заслуженный экономист РФ, действительный член РАЕН. Имеет более 180 печатных научных работ в области экономики лесного сектора, экономической эффективности инвестиций, экономических особенностей лесозаготовительной промышленности.



Лаврова Инна Владимировна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры экономики отраслей АГТУ. Имеет 11 научных работ по проблемам экономической эффективности в лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности.



МНОГООБРАЗИЕ ФОРМ ОГРАНИЧЕНИЙ ДОСТУПНОСТИ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ*

Показан относительный характер доступности (недоступности); приведены примеры разного рода их проявлений.

Ключевые слова: лесные ресурсы, доступность (недоступность), относительность ограничения.

В работе [3] мы предложили структурировать понятие доступности (недоступности) лесных ресурсов по семи проявлениям. При их обсуждении были вопросы по позиции «проявления недоступности экономические – со стороны результата». Мы видим ее в связи между выходом пиломатериалов из сырья и спросом на пиловочник. Выход пилопродукции, кроме всего прочего (оборудование, поставки, квалификация станочника и др.), зависит от качества сырья, его диаметров. Априори ясно, что пиловочник большей толщины менее доступен по выходу сортиментов из лесосечного фонда. Это, в свою очередь, может служить основанием для повышения цены более крупного пиловочника, что, однако, ограничивает спрос на него вплоть до недоступности. Короче, стремление переработчика получить лучший результат наталкивается на ограничение доступности ресурса; и поскольку оно проявляется через цену, то отнесено к разряду экономических.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ и администрации Архангельской области в рамках проекта № 06-02-48203 а/с «Пути расширения зон экономической доступности полноценного сырья для лесопильного производства в Архангельской области».

Для нас это проявление – одно из главных, поскольку исследование называется «Пути расширения зон экономической доступности полноценного сырья». Влияние размеров пиловочного сырья на доступность лесных ресурсов и конкретную зависимость между выходом пиломатериалов и диаметром пиловочника на Соломбальском ЛДК (г. Архангельск) в условиях рамного лесопиления изучала И.В. Лаврова [1]. Далее рассмотрены другие проявления ограниченной доступности ресурсов древесного сырья.

1. На практике экономическая доступность ресурса – это лишь образное выражение для тех факторов и ситуаций, когда конкретному предпринимателю невыгодно приобретать этот ресурс. Находящийся вблизи существующей дороги или судоходной реки и физически вполне доступный ресурс может оказаться недоступным экономически, если чрезмерно удален от пункта, куда его хотел бы доставить предприниматель. В этом случае ресурс, экономически доступный для одного предпринимателя, может оказаться недоступным для другого. Точно так же доступное сегодня может оказаться недоступным завтра, и наоборот. Иными словами, экономическая доступность или недоступность ресурса – понятие относительное сразу в нескольких смыслах: в пространстве, по времени, для субъектов предпринимательства.

Когда говорят о недоступности, например пиловочника в Архангельской области, то имеют в виду ситуацию, в которой для данного участка, массива лесного фонда вообще не находится предпринимателей, желающих или согласных в данное время их осваивать. Изменяются обстоятельства, появятся новые «игроки», и участок может стать экономически доступным. Примерно так же обстоит дело с нормативными ограничениями лесопользования, которые устанавливает государство.

Прежде чем идентифицировать конкретные участки как экономически доступные в Архангельской области, можно, по нашему мнению, выделить зоны абсолютно недоступные. На данный момент условно это леса Архангельской области, которые не предполагается вводить в эксплуатацию ни в одной из имеющихся стратегических долгосрочных программ, например до 2050 г. Все остальные леса области можно попытаться разделить на относительно экономически доступные и недоступные. Таким образом, можно сделать вывод, что речь всегда идет об относительной доступности (недоступности).

Когда говорят о высокой доле России в мировых лесных ресурсах, то кто-то умалчивает, а кто-то и не знает, что огромные запасы лиственницы в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке все еще экономически недоступны. Остается надеяться, что это недоступность относительная, временная.

2. Руководитель Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) Министерства природных ресурсов РФ В. Рошупкин в 2006 г. неоднократно высказывался о намерении Рослесхоза постепенно снижать избыточные ограничения на лесопользование. Он констатировал, что в передовых (по его словам) лесопромышленных странах доля лесов, где разрешены рубки, достигает 98 % (Финляндия, Германия и др.), а в среднем находится на уровне 90 %, тогда как в России она составляет лишь 42 % земель лесного фонда. Агентством проводится инвентаризация действующих ограничений, сопоставление их с зарубежной практикой. Предусматривается, в частности, устранить как устаревшие нормы ограничения применению современных многооперационных машин на лесосеке (харвестеры, форвардеры) [2]. В нашей классификации [3] это ограничение выступает как экологическая недоступность по существу и институциональная по форме (нормативные акты). Другой шаг Рослесхоза в снятии институциональных ограничений – допустить оставление

коммерческой древесины на корню. В Костромской области уже осуществляется пилотный проект [2]. В прошлом это называлось несплошными рубками, оставлением недорубов. В. Рощупкин заявил также, что доступность лесных ресурсов зачастую ограничивают сами арендаторы: работая неэффективно, они закрывают доступ новым лесопользователям, готовым к серьезному инвестированию. Руководитель Рослесхоза пообещал изымать лесные участки у нерадивых арендаторов-лесопользователей и выставлять на новые аукционы. Он выразил надежду, что такую же позицию займут губернаторы, получив с 01.01.2007 г. полномочия по ведению лесного хозяйства.

Это примеры институциональной недоступности «со стороны собственности» [4]. Сюда же с введением в действие нового Лесного кодекса придется отнести ограничение доступности лесного фонда из-за принятия лесного аукциона как единственной формы предоставления аренды. Все действующие арендаторы, вплоть до таких достаточно крупных, как архангельский «Титан», опасаются, что в России найдется немало более состоятельных претендентов, которые на аукционах «перехватят» лесные площади ради целей, далеких от ЛПК. Проницательный политик, хорошо знающий ситуацию в лесном секторе, вологодский губернатор В.Е. Позгалев предостерегает, что «принятие нового лесного закона может разрушить сформировавшийся за десять лет класс лесопромышленников и приведет к переделу лесного бизнеса» [6]. Леса, доступные для крупных собственников, станут недоступными для средних и мелких.

3. Самое простое, осязаемое представление о доступности (недоступности) природных ресурсов связано с наличием транспортной инфраструктуры. В лесном деле в настоящее время этот простой, зримый фактор становится все более труднопреодолимым. Дефицит лесовозных дорог имел место и в СССР, но социалистическая экономика все же находила пути и средства его смягчения. Частная собственность разделила лесопромышленников, сделала их конкурентами. Мы по инерции все еще пользуемся термином «комплекс», а на самом деле лесопромышленного комплекса уже давно нет, есть разношерстный, разнокалиберный набор собственников: в России более 30 тыс., в Архангельской области – свыше 1300 (только зарегистрированных). Вряд ли это множество может объединяться для строительства дорог общего пользования (например в сторону Лешуконья, Мезени), для дноуглубительных работ на р. Сев. Двине и т. п. Став самостоятельными, присваивая себе прибавочный продукт, они продолжают рассчитывать на государство.

В Рослесхозе разработана целевая программа «Леса России», где есть специальный раздел «Дороги». Руководитель агентства В. Рощупкин сообщил, что этой программой предусмотрено в ближайшие годы построить в России за счет федерального бюджета 6,3 тыс. км лесовозных дорог. Архангельская область входит в первую тройку регионов, которые могут рассчитывать на федеральные бюджетные ассигнования. Об этом писали в середине 2005 г., тогда же стало известно, что области выделят на 2006 г. 140 млн р., однако позже выяснилось, что если финансирование и состоится, то в лишь в 2007 г. В своем ежегодном послании на 2006 г. губернатор Архангельской области Н.И. Киселев заявлял, что область будет участвовать в строительстве лесовозных дорог, но и это обещание осталось невыполненным. Нет свидетельств участия администраций других регионов в этой работе.

Все это вполне объяснимо условиями частной собственности, в которой находятся 97 % российских лесопромышленных предприятий. Надо так и говорить: «в условиях частной собственности», а не расплывчато «в условиях рыночной экономики». Лесовозный транспорт – внутреннее дело частного предприятия, и непо-

нятно, почему горе-лесопрмышленники не просят у государства денег еще и на другие цели. В то же время в прессе рядом с сетованиями на непоступление федеральных и региональных средств читаем, что ОАО «Соломбальский ЛДК» и ОАО «Лесозавод № 3» построили в 2004 г. около 20 км дорог, затратив 82 млн р. Не просит денег ООО «ИлимСеверЛес», обеспечивающее сырьем Котласский ЦБК. Как веский аргумент приведем еще одно высказывание В.Е. Позгалева: «Строительство лесовозных дорог на лесных площадях, переданных в аренду, должно осуществляться за счет лесопользователей-арендаторов, а на свободных (от аренды – *Е.Р., И.Л.*) площадях – за счет средств федерального бюджета» [6].

4. Большую роль в решении проблем доступности лесных ресурсов в России сыграл лесосплав. Ни в одной другой стране его объемы, разнообразие технологий не получили такого развития. В нашем исследовании вопросами лесосплава непосредственно занимается д-р техн. наук, проф. В.Я. Харитонов [5]. Здесь отметим лишь некоторые экономические и институциональные моменты. Поистине роковую роль сыграли принятые еще в СССР (в 1988 г.) решения о ликвидации молевого сплава. Последовавшее за тем крушение социалистической экономики стало для лесосплава губительным: распалась система органов, без которых лесосплав невозможен; этот вид деятельности оказался совершенно нерыночным. По свидетельству одного из бывших руководителей Северного речного пароходства, его флот растащили 160 мелких частных судовладельцев. Дноуглубительные работы государство сочло неактуальными. В итоге громадные лесные массивы, где нет железных и шоссейных дорог, стали экономически недоступными. Отлично зная, что доставка сырья в Архангельск, Онегу и др. сплавом намного дешевле, чем по суше, частные лесопромышленники тем не менее не собираются объединять усилия и хотя бы частично возродить лесосплав, разумеется, с соблюдением современных экологических требований. По существу ограничение здесь происходит не со стороны лесосплава как вида транспорта, а по причине разобщенности собственников-лесопереработчиков между собой и с собственниками-речниками. В отличие от ситуации с лесовозными дорогами лесосплав не является чисто внутренним делом предпринимателя. Без объединяющей роли государства (в лице регионов) возрождение лесосплава маловероятно. Но в принципе оно возможно и в определенных масштабах желательно. Этим резервом расширения доступности лесных ресурсов нельзя пренебрегать.

5. Такие явления, как истощенность лесосырьевых баз, отсутствие дорожно-строительных материалов, заболоченность, пересеченная местность и т. п., выступают как вполне очевидные ограничения – ресурсные, эксплуатационные. Они тоже относительны: лесфонд, невыгодный для лесозавода, да еще и отдаленного, доступен во всех смыслах для ближайшего ЦБК; совершенствование лесопильного оборудования сделало доступным сырье с кривизной и т. д. Недоступность будет стимулировать научно-технический прогресс. Глубокая переработка древесного сырья сделает невыгодное ныне выгодным в будущем, расширит границы доступных лесных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврова, И.В. О влиянии размерно-качественных характеристик пиловочного сырья на доступность лесных ресурсов [Текст] / И.В. Лаврова // Экономические и социальные проблемы развития Европейского Севера: сб. науч. тр. – Архангельск, 2006. – С. 72–76.
2. Наша задача – обеспечить потребителя качественным ресурсом [Текст] // Рос. лесн. газета. – 2006. – № 29-30. – С. 4.

3. *Романов, Е.С.* Структуризация понятия доступности лесных ресурсов [Текст] / Е.С. Романов, И.В. Лаврова // Лесн. журн. – 2006. – № 3. – С. 120–125. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Романов, Е.С.* Институциональные факторы доступности лесных ресурсов [Текст] / Е.С. Романов // Экономические и социальные проблемы развития Европейского Севера: сб. науч. тр. – Архангельск, 2006. – С. 123–125.

5. *Харитонов, В.Я.* Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого сплава [Текст] / В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов // Лесн. журн. – 2007. – № 1. – С. 45–52. – (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Что необходимо исправить в Лесном кодексе? // Лесн. регион. – 2006. – 2 окт. – С. 2.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 21.11.06

E.S. Romanov, I.V. Lavrova

Variety of Limitation Forms for Accessibility to Forest Resources

The relative character of accessibility (inaccessibility) is shown; the examples of different forms of their manifestation are provided.

УДК 338.24

В.К. Резанов, В.В. Шихалев, А.В. Скурская

Резанов Владимир Константинович родился в 1953 г., доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и управления в отраслях химико-лесного комплекса Тихоокеанского государственного университета. Имеет более 100 печатных работ по проблемам устойчивого развития лесного комплекса, добровольной сертификации лесопользования, прогнозирования использования и воспроизводства лесных ресурсов, управлению инвестициями, формам организации производства.



Шихалев Василий Васильевич родился в 1982 г., преподаватель и аспирант Дальневосточной академии государственной службы. Имеет 11 печатных работ по проблемам концентрации лесозаготовок и управления инвестиционным потенциалом.



Скурская Александра Викторовна родилась в 1979 г., аспирант Тихоокеанского государственного университета. Имеет 10 печатных работ по вопросам совершенствования лесных платежей, их дифференциации.



МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ 10 МНОГОЛЕСНОГО РЕГИОНА*

Приведены результаты исследования по договору с Министерством лесной промышленности Хабаровского края. Рассмотрены формы концентрации лесозаготовительного производства.

Ключевые слова: концентрация, интеграция, лесозаготовки, лесной бизнес.

Анализ предыдущих исследований форм концентрации производства позволяет выделить три подхода к изучению этого явления: технологический, основанный на технологическом принципе [3, 4, 12, 13], типологический, базирующийся на исследовании типов предприятий [2, 6, 16], системный – на системной методологии [1, 7, 8].

В соответствии с системным подходом, Т.С. Лобовиков подчеркивал, что концентрацию следует рассматривать как полиморфный процесс, протекающий в качественно различных формах, степень развития которых определяется своей системой факторов и условий; своим специфическим путем достигается и уровень эффективности производства.

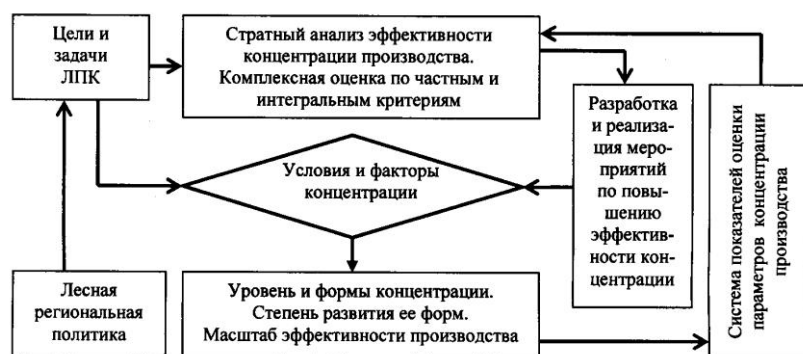
* В порядке постановки.

При этом предполагалось, что развитие концентрации производства идет от простых форм к более сложным, что естественно и вытекает из сути системной методологии. Правда, нигде не провозглашалась возможность, направленность и цикличность перехода форм концентрации производства из одного состояния в другое, а лишь качественно исследовались ее формы – ауктивная, агрегативная и ассоциативная.

На наш взгляд, логическим продолжением системного является синергетический подход [9, 10, 11]. Его содержание, в отличие от системного подхода, состоит в целеустремленности развития концентрации. Для проявления концентрации присущ универсальный характер, наполненный спецификой функционирования предприятий и наличием форм концентрации. Развертывание процессов концентрации восходит от простых форм к более сложным и с множеством различий по направленности, цикличности и нелинейности трансформации форм. При этом на стадии становления развитие концентрации идет от ауктивной формы через агрегативную к ассоциативной и от нее к созданию комплекса как единого целого, объединяющего широкий спектр производств и процессов по воспроизводству и использованию лесных ресурсов, а на стадии сохранения порядка происходит дробление комплекса на обособленные производственные единицы, которые затем образуют иную целостность на качественно новых интеграционных основах.

Принципиальный подход к управлению концентрацией производства должен основываться на понятии «синергизм управления», а его содержание заключается в усилении системных или синергетических эффектов как внутри предприятия, так и за его пределами.

Наши исследования направлены на развитие классификации синергизмов управления на основе этапов жизненного цикла товаров (петли качества) и с учетом основных функций производства. Виды синергизмов управления отождествляются



Принципиальная схема механизма управления концентрацией лесозаготовительного производства

с соответствующими видами ассоциативной формы концентрации*, т. е. получает дальнейшее развитие содержание ассоциативной формы концентрации

* В частности, ассоциативно-закупочная форма концентрации заключается в централизации закупок материально-технических ценностей, а ассоциативно-сбытовая связана с централизацией и концентрацией коммерческой деятельности. Ассоциативно-операционная форма обусловлена комплексной организацией лесозаготовок, а ассоциативно-управленческая – интеграцией

лесозаготовительного производства, сформулированное ранее Т.С. Лобовиковым. Принципиальная схема механизма управления параметрами концентрации лесозаготовительного производства представлена на рисунке, а состав модели управления включает в себя следующие элементы: оценку уровня концентрации производства с учетом ее форм и степени интеграции отдельных производственных процессов, принципы и систему показателей многокритериальной оценки эффективности концентрации, стратный анализ параметров концентрации, планирование (прогнозирование) параметров концентрации на основе экономико-математических моделей, приоритеты роста эффективности концентрации производства, направления интеграции и организационно-экономические механизмы управления.

В качестве определяющего показателя измерения уровня концентрации производства нами принят годовой объем вывозки древесины. Показатели развития форм концентрации предназначены для описания «качества» концентрационных процессов и представлены соотношениями их форм. При этом интегральная оценка эффективности концентрации производства строится на следующих методических положениях:

- осуществляется на основе интегральных показателей (синтетик) и означает принятие управленческих решений в соответствии с уровнем «рисковой» балльной скоринговой оценки, отражающей финансовую устойчивость предприятий; налогового бремени, характеризующего бюджетную эффективность хозяйствования; инвестиционного потенциала предприятия;

- опирается на частные экономические, социальные и лесоводственные показатели;

- является многокритериальной и интегральной.

Стратный анализ заключается в выделении главных факторов развития концентрации и определении ее влияния на эффективность устойчивого развития лесного комплекса. В данном случае стратификационные срезы (страты) включают в себя систему граней анализа.

Рыночный срез предполагает оценку взаимосвязи параметров экономической концентрации рынка и производства. При этом рыночная экономическая концентрация описывается системой абсолютных и относительных показателей, среди них наиболее распространенные коэффициенты Герфиндаля-Гиршмана, Холла-Тайдмана, Джини, кривая Лоренца и др. [5, 15]. Основным результатом рыночного анализа состоит в построении экономико-статистических моделей, отражающих взаимосвязь параметров (коэффициентов) экономической концентрации рынка и концентрации производства (уровня и эффективности).

Ресурсный срез означает сопоставление концентрации производства и производственных ресурсов. Это связано с тем, что в экономической концентрации различают концентрацию ресурсов производства (средства производства, рабочая сила, финансы и т. д.), производства и факторов управления [14]. Результат ресурсного анализа состоит в оценке взаимосвязей показателей концентрации

управленческих функций. Ассоциативно-владельческая форма состоит в соединении различных видов собственности и концентрации капитала, а ассоциативно-инвестиционная – в концентрации инвестиций. Ассоциативно-подготовительная и ассоциативно-вспомогательная формы связаны с централизацией и интеграцией подготовки и обслуживания производства. Экологический синергизм представляет собой ассоциативно-экологическую форму [17].

ресурсов (стоимость основных фондов или фондовооруженность, численность ППП) и производства (объем вывозки).

Продуктовый срез представляет собой сравнительный анализ параметров концентрации лесозаготовок (круглые лесоматериалы) и деревообработки (продукты переработки древесины). Продуктовый анализ производится по натуральным показателям объема производимой продукции в разрезе товарных позиций по разным отраслям и на основе соответствующих долей. Можно также определить уровневые показатели этих параллельно развивающихся процессов, т. е. оценить их сопряженность, например по темпам роста масштаба производства разных продуктов или по темпам роста (уровню) их эффективности.

Типологический срез означает сравнительную оценку параметров концентрации производства по соответствующим типам предприятий. Желателен анализ показателей концентрационных процессов и по типам инвестиционного потенциала. Однако последнее осталось пока за пределами нашего исследования. Основная идея анализа заключается в обосновании лучшего типа предприятия.

Видовой срез представляет анализ показателей концентрации производства в рамках ее форм – ауктивной, агрегативной и ассоциативной, а масштабный – оценку ее параметров по группам предприятий (мелкие, средние, крупные). Иными словами, основной результат среза анализа состоит в оценке формы концентрации и объема предприятия как факторов, определяющих эффективность концентрации.

Интеграционный срез включает в себя оценку взаимосвязи степени интеграции производства, отдельных его процессов и сторон с уровнем эффективности функционирования предприятий. Основная идея «интеграционного» анализа заключается в измерении степени интеграции и оценке взаимосвязи показателей интеграции процессов производства внутри предприятия и за его пределами с уровнем и эффективностью концентрации производства.

Пространственный и временной срезы предполагают анализ концентрации лесозаготовительного производства на территории административных районов Хабаровского края или насыщенность предприятиями и объемами производства, оценку динамики параметров концентрационных процессов, темпов роста количества предприятий и их объемов, а также эффективность.

Анализ тенденций развития рыночной экономической концентрации во взаимосвязи с концентрацией лесозаготовительного производства свидетельствует об уменьшении разницы в размерах крупных и мелких предприятий. Сегодня в Хабаровском крае процессы экономической концентрации характеризуются ростом размеров лесозаготовительных предприятий и сосредоточением производства на крупных предприятиях отрасли.

В ходе стратного анализа и оценки эффективности концентрации нами определены приоритеты в развитии лесозаготовительного производства, которые включают в себя выделенные предпочтительные группировки предприятий, оценку благоприятных и неблагоприятных факторов и условий их развития, а также направленность и содержание управляющего воздействия.

На наш взгляд, на основании синергизмов управления должна строиться политика, устремленная на усиление интеграционных процессов в лесном комплексе. Выделение синергизмов управления и соответствующих им форм ассоциативной концентрации позволяет определить области анализа проблемы, отличающиеся различными факторами и условиями развития, и направления повышения эффективности производства на основе развития направлений интеграции.

Управление параметрами концентрационных процессов в ЛПК края следует осуществлять на основе селективной региональной лесной политики, составной частью которой является распределение лесных ресурсов.

Хозяйственный механизм должен гармонично сочетать рыночные и государственные методы регулирования и включать в себя институциональный, правовой, организационный, экономический, социальный и экологический субмеханизмы.

Организационно-экономический механизм управления лесным комплексом строится на балансе экономических и административных методов, включает в себя переговорный процесс и отражает полиформизм гражданско-правовых или договорных отношений, связанных с допуском арендаторов (концессионеров), инвесторов к лесным ресурсам.

Для этого необходимо со стороны государства, посредством применения различных форм организации лесопользования, способов, условий и критериев выделения участков лесного фонда, состава участников лесных отношений, обеспечить реализацию факторов устойчивого развития лесного комплекса – повышения инвестиционной активности, комплексности использования древесины, роста концентрации и интеграции производства.

Эти факторы успеха должны найти подобающее отражение в системе условий, требований и критериев организационно-правовой доступности участков лесного фонда, под которой мы понимаем соответствие предъявляемых государством и обществом требований к освоению и использованию лесных ресурсов, возможностям и исходным характеристикам бизнеса, претендующего на данный ресурс.

Считаем целесообразным дифференцировать участников аукционов и конкурсов по масштабности их деятельности, направлению инвестиций и характеру переработки древесины следующим образом:

– малый бизнес – малые предприятия с численностью ППП до 50 человек и мелкие – годовой объем вывозки до 50 тыс. м³. Переработка первичная, уровень которой рассчитывается с учетом поставок на переработку другим предприятиям, включая потребности муниципальных образований;

– средний бизнес – предприятия с годовым объемом вывозки от 50 и до 100 тыс. м³. Переработка механическая (производство высококачественных пиломатериалов, мебельных и других полуфабрикатов), а также химико-механическая (различные плитные материалы, в том числе шпон и фанера). На первых порах уровень переработки также рассчитывается с учетом поставок на переработку другим предприятиям, включая потребности муниципальных образований;

– крупный бизнес – предприятия с годовым объемом вывозки от 100 тыс. м³ и выше. Переработка механическая (производство высококачественных пиломатериалов, мебельных и других полуфабрикатов), химико-механическая (различные плитные материалы, в том числе шпон и фанера), а также химическая. Уровень переработки рассчитывается без учета поставок на переработку другим предприятиям, включая потребности муниципальных образований.

Таким образом, реализация предложенной модели управления параметрами концентрационных процессов может обеспечить устойчивое развитие ЛПК многолесного региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гурьев, В.В.* Исследование влияния форм концентрации производства на его экономические показатели [Текст]: автореф. дис. ... канд. экон. наук / В.В. Гурьев. – Л.: ЛТА, 1977.
2. *Ефимов, А.Н.* Концентрация, специализация, кооперирование и комбинирование в машиностроении [Текст] / А.Н. Ефимов, Л.М. Жукова. – М.: Высш. шк., 1969. – 96 с.
3. *Калита, Н.С.* Социалистические производственные объединения [Текст] / Н.С. Калита, Г.И. Манцуров. – М.: Экономика, 1972. – 207 с.
4. *Карлик, Е.М.* Экономическая эффективность концентрации и специализации производства в машиностроении [Текст] / Е.М. Карлик, А.П. Градов. – Л.: Машиностроение, 1970. – 271 с.
5. *Князева, И.В.* Антимонопольная политика в России [Текст] / И.В. Князева. – М.: «Омега-Л», 2006. – 526 с.
6. *Лившиц, Р.С.* Эффективность концентрации производства в промышленности СССР [Текст] / Р.С. Лившиц. – М.: Наука, 1971. – 327 с.
7. *Лобовиков, Т.С.* К определению форм концентрации производства и ее уровня [Текст] / Т.С. Лобовиков // Лесн. журн. – 1969. – № 1. – С. 132–137. – (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Лобовиков, Т.С.* Формы и показатели концентрации производства: техн. информ. ЛТА [Текст] / Т.С. Лобовиков. – Л., 1968. – 18 с.
9. *Резанов, В.К.* Адаптивное управление трансформацией и развитием лесопользования [Текст] / В.К. Резанов. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 351 с.
10. *Резанов, В.К.* Систематизация синергизмов управления как основополагающий элемент модели управления интеграционными процессами в лесопромышленном комплексе многолесного региона [Текст] / В.К. Резанов, В.В. Шихалев // Современные проблемы экономического развития предприятий, отраслей, комплексов, территорий: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2006. – С. 325–328.
11. *Резанов, В.К.* Системно-синергетический подход к исследованию параметров концентрации лесозаготовительного производства [Текст] / В.К. Резанов // Там же. – С. 289–294.
12. *Сазонтов, Г.А.* Социально-экономические проблемы концентрации и размещения промышленного производства [Текст] / Г.А. Сазонтов. – М.: Экономика, 1971. – 263 с.
13. *Сачко, Н.С.* Концентрация производства в промышленности [Текст] / Н.С. Сачко. – М.: Экономика, 1968. – 208 с.
14. Управление процессом концентрации и специализации производства / под ред. А.С. Гусарова. – М.: Наука, 1981. – 132 с.
15. *Фойерштак, Р.* Развитие статистики концентрации в производящем секторе [Текст] / Р. Фойерштак // Экономика и статистика. – 1983. – № 5.
16. *Шилин, И.Г.* Оптимизация размеров производства в промышленности [Текст] / И.Г. Шилин. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 214 с.
17. *Шихалев, В.В.* Классификация форм и видов концентрации лесозаготовительного производства [Текст] / В.В. Шихалев // Современные проблемы экономического развития предприятий, отраслей, комплексов, территорий: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2006. – С. 325–328.

V.K. Rezanov, V.V. Shikhalev, A.V. Skurskaya

**Model of Concentration Processes Control in Forest Complex
of Polyforest Region**

The research results according to the agreement with Ministry of Forest Industry of Khabarovsk Region are provided. The forms of forest-harvesting production concentration are considered.



КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 630*36.004:518.5

Л.В. Щеголева

ПРОЦЕСС ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ БИОМАССЫ ДЕРЕВА

Предложена постановка и математическая модель задачи оптимизации материальных потоков в сквозных технологических процессах лесозаготовительной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности с учетом вовлечения вторичных ресурсов.

Ключевые слова: лесопромышленный комплекс, оптимизационные математические модели, вторичные ресурсы.

Стратегической целью развития всех отраслей лесной промышленности в условиях рыночной экономики становится получение максимального экономического эффекта от использования имеющегося запаса древесины [1, 3], что, в свою очередь, предполагает переработку всей биомассы дерева.

Основная задача настоящей статьи – разработка математической модели для выбора наиболее эффективной схемы технологических процессов и объемов материальных потоков (лесоматериалы, щепа, целлюлоза и т. д.) от одних производств к другим с учетом вторичных ресурсов древесного сырья. Под вторичными ресурсами будем понимать остающиеся на местах проведения лесозаготовительных работ и пригодные для промышленного использования ресурсы, а также отходы производства и потребления, которые образуются на предприятиях и могут быть использованы в других технологических процессах в качестве сырья [2].

Рассмотрим заготовку круглых лесоматериалов. При проведении лесосечных работ получают бревна и отходы (сучья, ветки, обломки стволов, корни и т. д.). Часть отходов может быть использована в качестве вторичных ресурсов, остальное относится к безвозвратным потерям. Круглые лесоматериалы разделяют по породам, сортам, толщине и длине. Различные варианты этих характеристик называют сортаментами. Объем выхода лесоматериалов каждого вида, а также вторичных ресурсов определяется размером участка заготовки, объемом расчетной лесосеки и технологией рубки.

Сортаменты и вторичные ресурсы могут быть реализованы для последующей переработки (лесопиление, производство щепы, древесных плит, целлюлозы, спирта и т. д.), за пределы региона (в том числе, и за границу), для потребления в том виде, в котором были заготовлены, использованы в качестве топлива.

Введем следующие обозначения:

K – множество видов лесоматериалов и вторичных ресурсов; назовем лесоматериалы и вторичные ресурсы продукцией как результат производства;

N – множество производств по переработке и обработке лесоматериалов и вторичных ресурсов;

N' – множество потребителей лесоматериалов, вторичных ресурсов, продукция которых не участвует в дальнейшей технологической цепочке;

N'' – множество различных участков заготовки;

x_{ijk} – объем потока продукции вида k от производства с номером i к производству с номером j , $k \in K$, $i \in N''$, $j \in N \cup N'$;

w_{ik} – объем выхода лесоматериалов или вторичных ресурсов вида k на участке заготовки с номером i , $k \in K$, $i \in N''$;

s_i – затраты на заготовку 1 м^3 на участке i ;

p_{ijk} – стоимость реализации 1 м^3 лесоматериалов или вторичных ресурсов вида k , заготовленных на участке i , производству или потребителю с номером j , $k \in K$, $i \in N''$, $j \in N \cup N'$; стоимость для одного вида лесоматериалов, заготавливаемых на одном участке, будет одинаковой в пределах одного класса потребителей (в качестве различных классов потребителей можно выделить: обработку лесоматериалов; переработку лесоматериалов и вторичных ресурсов; покупателей продукции, находящихся за пределами региона; предприятия, использующие продукцию в качестве топлива).

Тогда имеем:

$\sum_{i \in N''} \sum_{k \in K} \sum_{j \in N \cup N'} p_{ijk} x_{ijk}$ – доход от производства лесоматериалов и вторичных ресурсов;

$\sum_{i \in N''} \sum_{k \in K} s_i w_{ik}$ – затраты на производство лесоматериалов и вторичных ресурсов.

Ограничения:

1. Все, что будет реализовано для переработки, обработки и потребления, должно равняться объему производства для каждого участка заготовки и каждого вида лесоматериалов и вторичных ресурсов (это означает также полное освоение расчетной лесосеки):

$$\sum_{j \in N \cup N'} x_{ijk} = w_{ik}.$$

2. Если на участке используют различные технологии рубок, то каждую из них можно выделить в отдельное производство со своим объемом расчетной лесосеки.

Рассмотрим *лесопиление*. Сырьем для лесопиления являются круглые лесоматериалы определенной породы, сорта и крупности. На выходе получают пиломатериалы разных видов (брус, доска и т. д.) и вторичные ресурсы (опилки, горбыль, рейки, кора и т. д.).

Пиломатериалы и вторичные ресурсы могут быть реализованы для последующей переработки на технологическую щепу, целлюлозу, мебель и т. д., а также для потребления внутри и за пределами региона.

Лесопильное производство включает следующие основные операции: окорка, распиловка, торцевание, сушка и др. Для каждой из этих операций можно определить номенклатуру сырья и получаемых в результате производства продукции и вторичных ресурсов. Операции можно разделить в пространстве и времени. Например, сушку выполняют на территории лесопильного производства, домостроительного предприятия или мебельной фабрики.

Рассмотрим *производство целлюлозы*. Сырьем для этого являются круглые лесоматериалы определенной породы, сорта и варианта крупности, а также технологическая щепка или древесная масса. На выходе получают целлюлозу.

Она может быть реализована для последующей переработки на бумагу, картон, мешки и т. д., а также для потребления внутри и за пределами региона.

Производство целлюлозы можно разделить на несколько последовательных операций, включающих рубку щепы (или производство древесной массы), ее варку и т. д. Щепу заготавливают на территории нижнего склада, лесопильного предприятия, целлюлозного комбината.

Рассмотрим *производство древесностружечных плит*. Сырьем для него являются круглые лесоматериалы определенной породы, сорта и варианта крупности, стружка, измельченные древесные частицы. На выходе получают плиты разных размеров.

Плиты могут быть реализованы для последующей переработки на мебель и т. д.; для потребления внутри и за пределами региона.

Изготовление древесностружечных плит можно разделить на несколько последовательных операций: измельчение древесного сырья, прессование и т. д. Эти операции можно выполнять на лесосеке, нижнем складе, лесопильном предприятии или предприятии по производству плит.

Аналогично можно рассмотреть и другие производства (производство фанеры, бумаги, спирта, смолокурение, дегтекурение и т. д.).

Для каждого из них выделяют следующие ограничения:

1. Объемы производства определяются портфелем заказов на каждый вид продукции. Все заказы должны быть выполнены, однако продукции может быть произведено и больше, чем определено заказами (например, по технологическим причинам).

2. Ограничение баланса между сырьем и готовой продукцией:

в качестве сырья могут выступать несколько видов продукции, которые полностью взаимозаменяемы; все сырье, поступившее в производство, будет преобразовано в продукцию некоторого вида, которая будет транспортирована на другие производства;

в условиях взаимозаменяемости видов сырья могут быть наложены ограничения на пропорции потребления сырья каждого вида.

Рассмотрим *потребителей* лесоматериалов и других видов продукции. В качестве потребителей могут выступать покупатели продукции, расположенные за пределами региона. В качестве места их расположения выбирают пункты пересечения дорог, по которым осуществляют перевозку продукции, с границей региона.

Кроме того, в качестве потребителей могут выступать предприятия, использующие вторичные ресурсы – как топливо, а также места утилизации отходов, не ставших вторичными ресурсами. Последние можно обозначить как одно производство, расстояние до которого от другого производства в некоторых случаях равно нулю, стоимость реализации этому производству тоже равна нулю.

Таким образом, входящие в лесопромышленный комплекс производства можно отнести к одному из трех типов: производства без использования сырья, получаемого в результате деятельности других производств, – начальные; производства без выхода продукции – конечные; остальные – внутренние.

Все производства связаны между собой потоками продукции разных видов, образуя схему технологических процессов, характеризующуюся объемами потоков продукции и зависящими от них финансовыми показателями.

Построим математическую модель такой системы и введем обозначения:

N – множество внутренних производств;

N' – множество конечных производств;

N'' – множество начальных производств;

K – множество всех видов продукции, которая может выступать и в качестве сырья, и в качестве выхода;

K'_j – множество видов продукции, являющейся сырьем для производства с номером j , $K'_j \subseteq K$, $j \in N \cup N'$;

K''_j – множество видов продукции, выпускаемой производством с номером j , $K''_j \subseteq K$, $j \in N \cup N''$;

w_{ik} – объем выхода лесоматериалов или образующихся вторичных ресурсов вида k на участке заготовки с номером i , $i \in N''$, $k \in K''_i$;

v_{jk} – объем выпуска продукции вида k на производстве с номером j , определяемый портфелем заказов, $j \in N$, $k \in K''_j$;

b_{jk} – коэффициент выхода продукции вида k в производстве с номером j , $j \in N$, $k \in K''_j$;

a_{jk} – коэффициент пропорциональности потребления сырья вида k для производства с номером j , $0 < a_{jk} < 1$, $j \in N$, $k \in K'_j$;

s_{ik} – затраты на выпуск 1 м^3 продукции вида k на производстве с номером i ;

p_{ijk} – стоимость реализации 1 м^3 произведенной на производстве с номером i продукции вида k , транспортируемой на производство с номером j .

Управляемыми факторами задачи будут объемы потоков продукции между производствами:

x_{ijk} – объем продукции вида k , передаваемый от производства с номером i производству с номером j , где $i \in N \cup N''$, $j \in N \cup N'$, $k \in K''_i \cap K'_j$.

Рассмотрим ограничения модели.

1. Объем вывезенной с начального производства с номером i продукции с номером k должен быть равен заданной величине w_{ik} :

$$\sum_{j \in N \cup N'} x_{ijk} = w_{ik}, \quad i \in N'', \quad k \in K''_i.$$

2. Объем вывезенной с внутреннего производства с номером j продукции с номером k должен превышать заданную величину v_{jk} :

$$\sum_{h \in N \cup N'} x_{jkh} \geq v_{jk}, \quad j \in N, \quad k \in K''_j.$$

3. Объем полученной (приобретенной) в качестве сырья для внутреннего производства с номером j взаимозаменяемой продукции, умноженный на коэффициент выхода продукции, должен быть равен объему вывезенной продукции с номером k :

$$b_{jk} \sum_{i \in N \cup N''} \sum_{f \in K'_j} x_{ijf} = \sum_{h \in N \cup N'} x_{jkh}, \quad j \in N, \quad k \in K''_j.$$

4. Объемы привезенной взаимозаменяемой продукции для внутреннего производства должны находиться в некоторой пропорции по отношению друг к другу:

$$\sum_{i \in N \cup N''} \sum_{k \in K'_j} x_{ijk} = a_{jk} \sum_{h \in N \cup N''} \sum_{f \in K'_j} x_{hif}; \quad j \in N, \quad k \in K'_j.$$

В качестве критерия оптимальности можно выбрать минимизацию затрат, связанных только с транспортировкой продукции, и затрат на производство и транспортировку продукции; максимизацию прибыли и минимума из прибыли всех производств.

Рассмотрим критерий, заключающийся в максимизации прибыли:

$$\sum_{i \in N \cup N''} \sum_{k \in K} \sum_{j \in N \cup N'} p_{ijk} x_{ijk} - \sum_{i \in N \cup N''} \sum_{k \in K} \sum_{j \in N \cup N'} s_{ik} x_{ijk} \rightarrow \max,$$

где $\sum_{k \in K} \sum_{j \in N \cup N'} p_{ijk} x_{ijk}$ – доход, полученный от реализации продукции, выпущен-

ной на производстве с номером i , $i \in N \cup N''$;

$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N \cup N'} s_{ik} x_{ijk}$ – затраты на выпуск продукции на производстве с номером

i , $i \in N \cup N''$.

Построенная модель позволяет получить в результате решения оптимизационной задачи наиболее оптимальную с точки зрения выбранного критерия схему технологических процессов, включающую заготовку, обработку, переработку и потребление лесоматериалов и вторичных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петров, А.П.* Экономика комплексного использования древесины [Текст] / А.П. Петров, Т.С. Лобовиков. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 168 с.
2. *Шегельман, И.Р.* Лесная промышленность и лесное хозяйство: словарь [Текст] / И.Р. Шегельман. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. – 176 с.
3. *Шегельман, И.Р.* Региональная стратегия развития лесопромышленного комплекса [Текст] / И.Р. Шегельман, Ю.И. Пономарев. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. – 160 с.

Петрозаводский государственный университет

Поступила 22.09.05

L.V. Shchegoleva

Production Process with Use of Secondary Resources of Tree Biomass

Problem definition and mathematical model for optimization of material flows in straight-through technological processes of forest-harvesting, woodworking and pulp-and-paper industry are proposed taking into account the involvement of secondary resources into the production.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630*114.29/228

Н.Н. Неволин, И.В. Евдокимов

Неволин Николай Николаевич родился в 1949 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт. Имеет 25 печатных работ в области изучения роста и продуктивности искусственных насаждений.



Евдокимов Игорь Владимирович родился в 1974 г., окончил в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного хозяйства Вологодской государственной молочнохозяйственной академии. Имеет более 30 печатных работ, связанных с изучением биологической продуктивности таежных лесов, искусственного лесовосстановления и истории лесного хозяйства Европейского Севера.

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И МЫШЬЯК
В РАСТИТЕЛЬНОСТИ СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО**

Рассмотрено накопление тяжелых металлов и мышьяка растительностью сосняка черничного II класса бонитета.

Ключевые слова: тяжелые металлы, биоиндикаторы, растительность, аккумуляция.

Стационарный мониторинг процесса загрязнения лесных объектов тяжелыми металлами на территории Вологодской области в настоящее время не ведется. Наши исследования проведены на территории Кадуйского лесхоза в 64-летнем чистом по составу сосняке черничном искусственного происхождения. Анализы растительных образцов, взятых в III декаде июня 2001 г., выполнены в аккредитованной испытательной лаборатории центра агрохимической службы «Вологодский».

Мхи и лишайники относятся к биоиндикаторам. Они активно поглощают растворенные в атмосферных осадках химические вещества и сохраняют их на протяжении всей жизни. Кумулятивная способность мхов может быть использована для картирования территории регионов по уровням загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Среднее содержание элементов в растительности фоновых районов европейской территории России составляет в мхах: свинца – 12; кадмия – 0,48; мышьяка – 0,43; ртути – 0,11 мг/кг сухой массы; в лишайниках: свинца – 8,4; кадмия – 0,23; мышьяка – 0,21; ртути – 0,14 мг/кг; в травах: свинца – 1,5; кадмия – 0,15; мышьяка – 0,26; ртути – 0,01 мг/кг [1].

Травянистые растения являются источником поступления металлов в пищевые цепочки. По нашим данным (см. таблицу), содержание свинца в зеленых мхах Кадуйского лесхоза в 21 раз ниже значений фоновых районов европейской части России, кадмия – в 26 раз. Лишайники депонируют в 30 раз меньше свинца, всего 0,28 мг/кг. Из всех изученных нами растений сосняка черничного больше всех свинца аккумулирует вереск обыкновенный – 0,97 мг/кг. Поэтому мы предлагаем использовать этот кустарничек, наряду с мхами, как биоиндикатор чистоты лесных экосистем. По накоплению в растениях сосняка черничного искусственного происхождения химические элементы

Содержание тяжелых металлов в растительности сосняка черничного,

мг/кг воздушно-сухой пробы

Образец	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn
Хвоя сосны:						
однолетняя	114	9,4	66,0	0,190	0,092	630
двухлетняя	218	6,6	64,0	0,470	0,014	680
трехлетняя	204	10,2	48,0	0,120	0,130	1040
четырёхлетняя	252	1,5	61,0	0,110	0,012	1010
Среднее	197	6,9	59,7	0,220	0,032	885
Черника	185	9,2	35,0	0,036	0,011	1030
Брусника	11,9	1,2	38,0	0,013	0,015	990
Вереск обыкновенный	Не определяли			0,970	0,010	Не определяли
Ландыш майский	«			0,022	0,007	«
Седмичник европейский	«			0,086	0,011	«
Иван-чай	175	8,6	11,0	0,240	0,094	500
Линнея северная	106	2,2	39,0	0,150	0,005	420
Плаун булавовидный	86	1,3	85,0	0,450	0,026	790
Зеленые мхи	666	7,3	52,5	0,560	0,018	316
Лишайники	377	5,0	38,5	0,280	0,052	155

располагаются в следующие ряды по мере уменьшения: хвоя: $Mn > Fe > Zn > Cu > Pb > Cd$; кустарнички: $Mn > Fe > Zn > Cu > Pb > Cd$; травы: $Mn > Fe > Zn > Cu > Pb > Cd$; зеленые мхи: $Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > Cd$; лишайники: $Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > Cd$.

Трех-четырёхлетняя хвоя сосны отличается самой интенсивной аккумуляцией марганца – до 1010 ... 1040 мг/кг. Высокие показатели депонирования этого элемента характерны и для кустарничков – брусники и черники (990 ... 1030 мг/кг). И. Д. Юркевич и Э. П. Ярошевич [2] получили аналогичные данные для условий Белоруссии. По их исследованиям, эти растения накапливают до 755 ... 1105 мг/кг марганца.

Приведенные данные свидетельствуют о весьма незначительном загрязнении растительности сосняка черничного тяжелыми металлами, что связано с проблемой сертификации лесной продукции.

Результаты нашего исследования расширяют представление о фоновом уровне загрязнения лесов региона и могут послужить началом создания банка данных для комплексной экологической оценки окружающей среды региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор фонового состояния окружающей природной среды в СССР за 1985 год [Текст]. – М., 1986. – 202 с.
2. Юркевич, И.Д. Содержание микроэлементов в почве и растениях некоторых сосновых биогеоценозов в Белоруссии [Текст] / И.Д. Юркевич, Э.П. Ярошевич // Лесоведение. – 1973. – № 6. – С. 11–17.

Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия

Поступила 21.11.06

N.N. Nevolin, I.V. Evdokimov

Heavy Metals and Arsenic in Bilberry Pine Forest Vegetation

Accumulation of heavy metals and arsenic by vegetation of bilberry pine forest of second growth class is considered.



ЮБИЛЕИ

УДК 061.75

**С.-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ
75 ЛЕТ ГОТОВИТ ИНЖЕНЕРОВ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ**

С.-Петербургскому государственному технологическому университету растительных полимеров (СПбГТУРП) в 2006 г. исполнилось 75 лет. Это достаточно солидный возраст для технического высшего учебного заведения. Много было сделано, но еще больше впереди.

В связи с присвоением в 1993 г. вузу статуса технологического университета достаточно широко известное название Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности (ЛТИ ЦБП) было изменено на новое. Сложности перестроечного периода не помешали нам сохранить самое главное. Несмотря на необходимую широту направлений подготовки, университет был и остается специализированным и поэтому единственным в нашей стране вузом, осуществляющим комплексную подготовку инженерно-технических кадров для глубокой химической переработки древесного сырья.

За 75 лет подготовлено более 30 тыс. дипломированных специалистов для ЦБП и других отраслей. Свыше 1000 выпускников занимали и занимают руководящие должности в промышленности. Значительная часть инженеров, работающих на предприятиях целлюлозно-бумажного и топливно-энергетического комплексов, на других предприятиях России и стран СНГ, являются выпускниками СПбГТУРП. Более 40 % студентов вуза являются потомственными бумажниками: детьми и внуками наших выпускников. Университет имеет тесные контакты с нашими выпускниками-партнерами, работающими в США, Канаде, Швеции, Германии, Финляндии, Бразилии и др.; традиционно осуществляет подготовку иностранных студентов из Китая, Судана, Непала, Зимбабве и др.

Сегодня в СПбГТУРП большая часть ученых – специалисты ЦБП России. В штате профессорско-преподавательского состава около 350 человек (75 % – кандидаты и доктора наук), из них более 50 – профессора и доктора наук. В настоящее время на 11 факультетах университета ведется подготовка 5 тыс. студентов всех форм обучения по 15 специальностям и 46 специализациям высшего профессионального образования, 7 направлениям бакалавриата и 4 направлениям магистратуры. Работают 5 образовательных центров, 30 кафедр, из которых 13 – выпускающие.

Вуз является профильным университетским центром, имеющим богатый научный, кадровый и технический потенциал, занимается подготовкой и переподготовкой кадров на принципах непрерывной многоуровневой системы, включающей в себя довузовскую подготовку, бакалавриат, подготовку специалистов, магистратуру, аспирантуру и докторантуру. При СПбГТУРП имеется два филиала (г. Кувшиново, г. Сегежа), которые работают со студентами дневной и заочной форм обучения.

Довузовскую подготовку в университете осуществляет Межрегиональный координационный центр довузовского образования. Он включает подготовительные

курсы, подготовительное отделение и филиалы, расположенные в городах, градообразующими предприятиями которых являются предприятия лесоперерабатывающей отрасли (города и поселки Ленинградской, Новгородской, Архангельской, Вологодской, Тверской, Нижегородской и Калужской областей, Республики Карелия и др.). По результатам выездных экзаменов, которые проводятся по месту подготовки, школьники участвуют в общеуниверситетском конкурсе для поступления на очную и заочную формы обучения.

Для осуществления непрерывной подготовки специалистов ЦБП при университете создана ассоциация лесопромышленных техникумов России. В рамках этой программы вуз проводит курсы повышения квалификации для преподавателей техникумов, оказывает им методическую помощь и осуществляет прием достойных выпускников техникумов в университет.

С 1998 г. при университете проводится обучение лиц, имеющих среднее техническое образование и работающих на предприятиях ЦБП, по индивидуальным программам. При составлении учебных планов учитывается специфика работы предприятия, отражающаяся на углубленном изучении некоторых спецдисциплин. Три года отводится на освоение теоретического курса и полгода на сдачу государственного экзамена, написание и защиту дипломного проекта. Это представляет интерес для предприятий ЦБП, так как обучение проводится по месту работы без отрыва от производства с использованием компьютерной техники, интернета, специализированных лабораторий предприятий. Такое взаимодействие предприятий с университетом становится важнейшим фактором их стабильной работы в рыночных условиях.

В период обучения студенты имеют возможность получить второе высшее образование, а в виде дополнительного образования – углубленно изучить иностранный язык, освоить информационные технологии и т.д. Наиболее талантливые студенты могут продолжить обучение в аспирантуре.

В соответствии с требованиями Правительства, которое определило приоритетные направления развития образовательной системы РФ, вуз работает над повышением качества профессионального образования; обеспечением его доступности; развитием современной системы непрерывного профессионального образования; повышением инвестиционной привлекательности сферы образования.

Для обеспечения качества учебного процесса и повышения конкурентоспособности преподаватели вуза участвуют в научных исследованиях и разработках по профилю преподаваемых дисциплин с максимальным привлечением к этой работе студентов.

Исходя из этого в университете особое внимание уделяется сохранению специфики ведущего технологического университета по глубокой химической переработке растительных полимеров, базирующейся на принципах фундаментальности, высоком качестве обучения, на непрерывности и преемственности в образовании и науке, единстве обучения и исследований, инновационном развитии, партнерстве, толерантности и воспитании, стабильности развития международных, межнациональных и межконфессиональных отношений. Постоянно контролируется и совершенствуется уровень преподавания в целях увеличения возможностей для студентов заниматься самообразованием, обеспечения высоких дидактических качеств профессорско-преподавательского состава, внедрения новых методов и технологий в учебный процесс. С учетом мировых тенденций развития экономики ведущих стран, основанных на наукоемких технологиях, базой для развития которых являются университеты, тесно интегрированные с производством, внедряется гибкая

система управления учебным процессом на основе образовательного маркетинга, информационно-технологических систем, систем управления качеством образования, создан Учебно-научно-производственный комплекс (УНПК) – инновационный комплекс для подготовки высококвалифицированных кадров ЦБП.

В соответствии с миссией университета одной из важнейших задач деятельности СПбГТУРП является формирование сообщества стратегических партнеров, заинтересованных во взаимовыгодном сотрудничестве в области целевой подготовки высококвалифицированных кадров, модернизации производства и повышения качества выпускаемой продукции, укреплении материально-технической базы учебного процесса.

СПбГТУРП, Всероссийский научно-исследовательский институт целлюлозно-бумажной промышленности, Государственный институт по проектированию целлюлозно-бумажных предприятий, Петрозаводский завод бумагоделательного машиностроения, С.-Петербургский картоно-полиграфический комбинат и ФГУП «С.-Петербургский топливно-энергетический комплекс» на основе долгосрочных двухсторонних договоров сотрудничества в образовательной, научной и инновационной сферах приступили к подготовке высококвалифицированных кадров, созданию технологий и оборудования по комплексной глубокой химической переработке древесины, необходимых для модернизации предприятий.

Основные задачи стратегического партнерства:

прогноз потребностей рынка труда и трудоустройство выпускников (на базе центра содействия занятости и трудоустройства выпускников);

совместная разработка содержания и реализация образовательных программ для целевой подготовки специалистов;

поддержка учебного процесса, в том числе и кадрами;

привлечение преподавателей, студентов и аспирантов к научным исследованиям и разработкам, направленным на повышение рентабельности предприятия;

оценка качества выпускников и образовательной среды университета.

В рамках стратегического партнерства между университетом и предприятиями разработаны соглашения, включающие программы подготовки специалистов для предприятия; технически обеспеченные базы для проведения технологических эксплуатационных и преддипломных практик студентов; совместные НИОКР с участием студентов вуза; совместные новые и переоснащенные учебно-научные лаборатории в вузе и на предприятиях; долгосрочную программу подготовки для предприятия кадров высшей квалификации; организационное, материально-техническое и финансовое содействие по привлечению к научной работе студентов и аспирантов, подготавливаемых вузом для предприятия; образование коллегиальных экспертно-аналитических и совещательных органов, координирующих взаимодействие вуза и предприятия; совместные структуры научно-образовательного или инновационного профиля, в том числе базовые кафедры с новой функциональной нагрузкой и организационно-экономической моделью.

Такая система партнерских отношений призвана максимально приблизить обучение к производственному процессу и обеспечить обратную связь университета с работодателями, без которой невозможно дальнейшее развитие инженерного образования в интересах отрасли.

Соглашения о стратегическом партнерстве предполагают участие вузовских ученых и целевых студентов в разработке новых или модернизации используемых производственных технологий для предприятий — стратегических партнеров вуза. Для систематизации этой работы в вузе на базе предприятий – стратегических

партнеров создается УНПК по взаимодействию с промышленными предприятиями в области обучения, науки и предпринимательства, одной из задач которого является курирование научно-исследовательской части (НИЧ). Задача УНПК и НИЧ заключается в подборе исполнителей проектов из числа преподавателей и сотрудников университета по взаимодействию с промышленными предприятиями, а также определение оптимальной кооперации с имеющимися малыми предприятиями вуза. Важнейшее значение имеют подбор и подготовка менеджеров проектов, поэтому основные функции УНПК – обучение и тренинг менеджеров инновационных проектов, в том числе, приглашенных со стороны под конкретные проекты, чем должен заниматься и занимается Образовательный центр при факультете экономики и менеджмента. В качестве одного из элементов информационного обеспечения стратегического партнерства в УНПК и НИЧ создана постоянно обновляемая база данных по перспективным разработкам. Такая деятельность УНПК позволяет осуществлять кадровое обеспечение внедрения новой техники и технологий на предприятиях – партнерах вуза.

Вкладывая ресурсы в развитие университета, предприятия – стратегические партнеры участвуют в оценке качества выпускников, учебных программ и планов, выработке рекомендаций по развитию новых форм профессиональной подготовки специалистов, оценке качества научных исследований в вузе, подбору преподавателей. Участие представителей предприятий – стратегических партнеров в управлении образованием планируется осуществлять через их работу в экспертных советах вуза по научно-образовательным направлениям и в государственных аттестационных комиссиях. Они по статусу являются коллегиальными органами ученого совета вуза с преобладающим участием представителей промышленности из числа стратегических партнеров. Основные задачи экспертных советов – экспертиза и анализ действующих и разрабатываемых основных и дополнительных образовательных программ различного уровня; анализ учебных планов, учебно-методического и материально-технического обеспечения учебного процесса; оценка качества и выработка рекомендаций по совершенствованию подготовки дипломированных специалистов, бакалавров, магистров и аспирантов; выработка рекомендаций по открытию новых образовательных направлений, специальностей и специализаций включая аспирантуру и докторантуру; формирование независимых экспертных оценок состояния и направлений развития приоритетных для вуза направлений фундаментальных и прикладных исследований; экспертиза тематических планов НИОКР факультетов на этапах формирования и ежегодного анализа результатов; анализ состояния и перспектив развития науки, техники и наукоемкого производства по профильным для университета направлениям на региональном и международном уровнях; выработка рекомендаций по совершенствованию содержания и форм организации научной и научно-технической деятельности, составление аналитических прогнозов по профильным отраслям промышленности.

Таким образом, через действующие экспертные советы вуз получает механизм реализации обратной связи с реальным сектором экономики, осуществления мониторинга профильных для вуза сегментов рынка труда и образовательных услуг, эффективной и оперативной адаптации к изменяющемуся спросу, активного воздействия на рынок труда и образовательных услуг, осуществления опережающей подготовки кадров для наукоемких и высокотехнологичных отраслей промышленности.

Для более эффективного процесса обучения в рамках послевузовского образования в 2006 г. в СПбГТУРП на базе существующих факультетов повышения

квалификации создано новое структурное подразделение – Институт комплексного развития, обучения, научения и адаптации «КРОНА». Основная задача этого института создать эффективную и динамичную систему дополнительного профессионального послевузовского образования по всем специализациям в сфере лесопромышленного и топливно-энергетического комплексов России.

Научно-информационный центр университета насчитывает около 1 млн наименований литературы, располагает лучшим в России научно-техническим фондом по ЦБП. Он обеспечивает максимальное использование в учебном процессе и научно-исследовательских работах информационных ресурсов и технологий, основанных на использовании компьютерной, аудиовизуальной и организационной техники. За последнее пятилетие профессорами университета издано 138 наименований учебников, десятки с грифом Минобразования РФ, научных и учебно-методических материалов. Работы, подготовленные проф. Э.Л. Акимом и другими профессорами, материалы международных организаций, симпозиумов и конференций позволяют совместно с редакцией журнала «Целлюлоза. Бумага. Картон» приступить к изданию электронных учебников.

В университете при кафедре вычислительной математики и информатики открыта мультимедийная лаборатория, основное назначение которой – издание электронных учебников и циклов лекций. Одновременно с этим при поддержке компании «International Paper Svetogorsk», TAPPI, европейской экономической комиссии ООН, ФАО ООН, Минобразования РФ, правительства Ленинградской области, аппарата полномочного представителя президента РФ по СЗФО на кафедре технологии целлюлозы и композиционных материалов в 2000 г. создана лаборатория «Информационные технологии в лесном комплексе». В лаборатории собрана уникальная база данных по состоянию лесов мира, мировых и региональных рынков лесных товаров, последним достижениям науки и техники в лесном комплексе, обучающим программам, видеофильмам и т.д.

Научные исследования в СПбГТУРП органически связаны с учебным процессом: подготовка специалистов в университете осуществляется с использованием результатов научных исследований по ряду фундаментальных и прикладных направлений. Основной их особенностью является фундаментальная проработка и направленность на достижение конкретного результата, создание новых технологий комплексной переработки древесины и других природных полимеров, разработка новых видов продукции, снижение материало- и энергоемкости существующих производств с обеспечением экологической безопасности. Объем научных исследований университета в 2006 г. составил 12 млн руб.

Университет – участник нескольких государственных международных программ. Разрабатываются принципиально новые малоотходные, высокоинтенсивные и экологически безопасные технологии для лесного комплекса России и осуществляется их практическая реализация. В 2004 г. университет стал победителем конкурса поддержки научно-исследовательской работы аспирантов вузов Федерального агентства по образованию.

В условиях интеграции российской целлюлозно-бумажной промышленности, ее отраслевой и вузовской науки в мировую экономическую систему СПбГТУРП имеет связь с крупнейшими корпорациями мира, национальными и международными лесными и целлюлозно-бумажными ассоциациями. Самая крупная в мире целлюлозно-бумажная компания «International Paper», осуществляющая производство целлюлозно-бумажной продукции более чем в 30 странах мира, на

договорной основе привлекает специалистов университета к решению экологических и технологических проблем ее предприятий.

СПбГТУРП совместно с ОАО ЦНИИБ и ОАО ВНИИБ является исполнителем важного инновационного проекта «Корректировка мелованных составов и уточнение технологических параметров производства мелованного картона на экспериментальной установке «Диксон».

Университет по контракту работает с территориальным экологическим фондом Ленинградской области и выполняет оценку воздействия деятельности целлюлозно-бумажных комбинатов на состояние окружающей среды.

Ряд работ (новые методы контроля процесса варки целлюлозы, диагностика электрооборудования, модернизация выпарных станций, компьютерный раскрой бумажного полотна) вуз проводит с компанией «Илим Палп Энтерпрайз» и другими предприятиями.

Научная деятельность университета неразрывно связана с его участием в разнообразных международных программах. Большое внимание СПбГТУРП уделяет взаимодействию с международными структурами, прежде всего со структурами Организации Объединенных Наций, являясь членом Комиссии по химии растительного сырья, членом Консультативного комитета по бумаге и древесным продуктам и сотрудничая с Экономической комиссией ООН для Европы (ЕЭК ООН). Вуз продолжает участвовать в подготовке международного издания «Ежегодный обзор рынка лесных товаров», готовит для ФАО ООН ежегодные доклады о состоянии российского лесного сектора. Результаты научной деятельности университета широко представлены на конференциях в России и за рубежом.

Более 20 лет СПбГТУРП является базовой организацией при проведении международных научных экологических лагерей для школьников и студентов из городов Северо-Западного региона, где находятся предприятия ЦБП.

Для студентов и сотрудников, занимающихся спортом, есть учебно-спортивный комплекс и спортивно-оздоровительная база на Карельском перешейке, где культивируется более 16 видов спорта. Многие студенты-спортсмены входят в состав сборных команд С.-Петербурга и России.

Университет – единственный технический вуз города, который располагает удобными выставочными залами, где каждые полтора-два месяца меняются выставки произведений популярных художников. В уютных залах музея истории СПбГТУРП развернута экспозиция, представляющая большой интерес для студентов и преподавателей, школьников и ветеранов, деловых людей, зарубежных гостей.

С 1982 г. существует уникальная традиция – организуются выпуски «Устного журнала», где студенты и преподаватели встречаются с известными деятелями культуры. Более 200 артистов, писателей, режиссеров и других известных людей побывали в нашем прекрасном актовом зале.

Рассчитывая и впредь быть кузницей инженерных кадров и центром научного прогресса в использовании растительных полимеров, наш университет открыт для сотрудничества и партнерства.

**В.А. Суслов, В.С. Куров, П.В. Луканин,
А.Н. Иванов, А.Л. Ашкалунин**

С.-Петербургский технологический
университет растительных полимеров

V.A. Suslov, V.S. Kurov, P.V. Lukanin, A.N. Ivanov, A.L. Ashkalunin

Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers Has Been Training Engineers for Russian Pulp-and-paper Industry for 75 Years
