

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

5

2003

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – проф. **О.М. Соколов**
Заместители главного редактора:
проф. **Е.С. Романов**, проф. **С.И. Морозов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **И.И. Гусев**, 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. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолева**, **В.В. Мусинский**, доц. **О. А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **В.И. Онегин**, проф. **Г.С. Ощепков**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **В.К. Попов**, проф. **С.М. Репях**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.Г. Санаев**, проф. **В.И. Санев**, проф. **В.А. Суслов**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, 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» № 5

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

Сдан в набор 15.10.2003. Подписан в печать 05.12.2003.
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,35. Усл. кр.-отт. 14,35.
Уч.-изд. л. 17,27. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 28 07 18,
факс: (818-2) 28 07 14, e-mail: forest@agtu.ru http://lesnoizhurnal.agtu.ru

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



СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.Г. Санаев.</i> Крупнейшему учебно-научно-производственному лесному комплексу России – 60 лет.....	7
<i>ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО</i>	
<i>Г.А. Чибисов, А.И. Нефедова.</i> Экологическая эффективность рубок ухода за лесом	11
<i>В.Ф. Цветков, Е.А. Сурина.</i> Запасы углерода в лесах Архангельской области. 17	
<i>А.М. Невидомов.</i> Проблема экологии пойменных лесов Волжского бассейна как важнейшая составная часть в решении общей экологической проблемы Волги.....	26
<i>А.Н. Жежкун.</i> Повреждение березовых насаждений навалами снега.....	36
<i>ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ</i>	
<i>М.М. Овчинников, Д.М. Шварц.</i> О прочности лесосплавных пучков.....	44
<i>А.С. Миляев.</i> Напряженное состояние берегового откоса, нагруженного реакцией анкерной опоры.....	49
<i>В. Штоллманн.</i> Навигация лесопромышленных роботов.....	57
<i>М.Ю. Смирнов.</i> Формирование состава лесовозного автопоезда.....	61
<i>МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ</i>	
<i>Ю.А. Варфоломеев, М.А. Амбросевич.</i> Метод экспертных оценок для выбора антисептика.....	68
<i>В.М. Костюкевич.</i> Логистический подход при анализе работы лесоперерабатывающего предприятия.....	75
<i>И.И. Иванкин.</i> К вопросу о начальном изгибе ленточной пилы в зоне резания 79	
<i>А.М. Копейкин, Е.Б. Сергеева, Е.В. Серых.</i> Исследование технологических характеристик лесопильной установки 2ЦДБ-60.....	82
<i>Д.В. Иванов.</i> Использование различного бревнопильного оборудования для производства пиломатериалов на малых предприятиях.....	86
<i>ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ</i>	
<i>А.П. Карманов, К.Г. Боголицын, Л.С. Кочева, Д.В. Кузьмин, В.Ю. Беляев.</i> Исследование физико-химических свойств лигнинов из древесины сосны и акации.....	93
<i>Ю.В. Чуркина, О.М. Соколов, М.Н. Васильев, Д.Г. Чухчин.</i> Исследование воздействия низкоэнталийной электронно-пучковой плазмы на торф.....	103
<i>Ю.Г. Хабаров, Н.А. Онохина, Л.В. Гусаков.</i> Получение железолигносульфонатных комплексов при обработке лигносульфоновых кислот железом в присутствии азотной кислоты.....	111
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>С.Е. Грязнов, Ю.В. Кузминых, Д. Керквит.</i> Экономическая оценка увеличения запасов углерода в лесных экосистемах.....	117

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Ю.Ю. Герасимов, Г.А. Давыдков, С.А. Кильпелайнен, А.П. Соколов, В.С. Сюнев.*
Перспективы применения новых информационных технологий в лесном комплексе..... 122
- Е.А. Питухин.* Исследование математической модели верхнего уровня при производстве целлюлозы..... 129

ИСТОРИЯ НАУКИ

- А.С. Ярунов, В.В. Петрик.* Из истории развития подсочки леса..... 138

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- Н.А. Бабич, Б.А. Семенов.* История лесного хозяйства России..... 145
- Н.П. Чупров.* Лесоустройство..... 146

ЮБИЛЕИ

- В.В. Торопов, Г.А. Годовалов, Н.А. Кряжевских.* Сергей Вениаминович Залесов (к 50-летию со дня рождения)..... 148





CONTENTS

<i>V.G. Sanaev.</i> The Greatest Educational-scientific-production Forest Complex of Russia is 60 Years.....	7
<i>FORESTRY</i>	
<i>G.A. Chibisov, A.I. Nefedova.</i> Ecological Efficiency of Thinning.....	11
<i>V.F. Tsvetkov, E.A. Surina.</i> Carbon Stock in Arkhangelsk Region Forests.....	17
<i>A.M. Nevidomov.</i> Ecology Problem of Flood Plain Forests in the Volga Basin as Important Constituent in Solving General Ecological Problem of the Volga	26
<i>A.N. Zhezhkun.</i> Damage of Birch Stands by Snow Bulks.....	36
<i>WOODEXPLOITATION</i>	
<i>M.M. Ovchinnikov, D.M. Shvarts.</i> On Strength of Wood Floating Bundles.....	44
<i>A.S. Milyaev.</i> Stressed State of Bank Slope under Anchor Bearing Pressure.....	49
<i>V. Shtollmann.</i> Navigation of Forest-industrial Robots.....	57
<i>M.Yu. Smirnov.</i> Logging Truck Train Formation.....	61
<i>MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE</i>	
<i>Yu.A. Varfolomeev, M.A. Ambrosevich.</i> Method of Expert Appraisal for Choosing Antiseptics.....	68
<i>V.M. Kostyukevich.</i> Logistic Approach in Analysis of Woodworking Company Operation.....	75
<i>I.I. Ivankin.</i> To Question of Initial Bandsaw Bending in Cutting Zone.....	79
<i>A.M. Kopeikin, E. B. Sergeeva, E. V. Serykh.</i> Analysis of Technological Characteristics of Sawing Unit 2ZDB-60	82
<i>D.V. Ivanov.</i> Use of Different Log-sawing Equipment for Producing Sawn Timber by Small Companies.....	86
<i>CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD</i>	
<i>A.P. Karmanov, K. G. Bogolitsyn, L. S. Kocheva, D. V. Kuzmin, V. Yu. Belyaev.</i> Analysis of Physical-and-chemical Properties of Pine and Acacia Lignins.....	93
<i>Yu.V. Churkina, O.M. Sokolov, M.N. Vasiljev, D.G. Chukhchin.</i> Study of Influence of Low-enthalpy Electron-beam Plasma on Peat.....	103
<i>Yu. G. Khabarov, N.A. Anokhina, L.V. Gusakov.</i> Producing Iron-lignosulphonate Complexes under Iron Treatment of Lignosulfonic Acids in Nitric Acid Environment.....	111
<i>ECONOMICS AND MANAGEMENT</i>	
<i>S.E. Griaznov, Yu.V. Kuzminykh, D. Kerkvliet.</i> Economic Appraisal of Carbon Stock Growth in Forest Ecosystems.....	117
<i>COMPUTERIZATION OF TRAINING AND TECHNOLOGICAL PROCESSES</i>	
<i>Yu. Gerasimov, G.A. Davydov, S. A. Kilpelainen, A. P. Sokolov, V. S. Syunyov.</i> Prospects of Applying New Information Technologies in Forest Complex.....	122
<i>E.A. Pitukhin.</i> Analysis of Top Level Mathematical Model for Pulp Production.....	129

HISTORY OF SCIENCE

A.S. *Yarunov*, V.V. *Petrik*. From History of Tapping Development..... 138

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

N.A. *Babich*, B.A. *Semenov*. History of Forestry in Russia..... 145

N.P. *Chuprov*. Forest Organization..... 146

JUBILEES

V.V. *Toropov*, G. A. *Godovalov*, N. A. *Kryazhevskikh*. Sergey Veniaminovich
Zalesov (by 50th Birthday)..... 148

УДК 378.962:06.091.5



В.Г. Санаев,
профессор, ректор МГУЛ

КРУПНЕЙШЕМУ УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ ЛЕСНОМУ КОМПЛЕКСУ РОССИИ – 60 ЛЕТ

17 октября 2003 г. состоялись торжества, посвященные 60-летию со дня возобновления деятельности Московского государственного университета леса (до 1993 г. – Московский лесотехнический институт).

История нашего вуза началась в 1919 г., когда он был открыт в Москве. Институт стал первым высшим учебным заведением, осуществлявшим подготовку инженеров не только по лесопользованию, лесоразведению и охране лесов, но и в области их промышленной эксплуатации, заготовки, транспортировки и переработки древесины. Первым ректором МЛТИ был профессор В.Э. Классен. Преподавательскую работу вели выдающиеся отечественные ученые, в том числе академики С.А. Чаплыгин, А.Ф. Иоффе, Н.Н. Лузин, В.Н. Образцов, что способствовало привлечению в вуз талантливой молодежи.

Однако в те сложные годы материальная база вуза была слабой, поэтому его деятельность прерывалась дважды: с 1926-го по 1930-й и с 1936-го по 1943-й гг., когда институт пытались перевести в Ленинград.

Но еще тогда началось создание учебной базы в Мытищинском районе Московской области. В 1943 г. в поселке Строитель гостеприимно рас-

пахнулись двери Московского лесотехнического института, приглашая всех, кто решил связать свою жизнь с лесными отраслями. На студенческую скамью сели и пришедшие с фронтов Великой Отечественной вчерашние солдаты и командиры. На преподавательскую работу вернулись многие выпускники МЛТИ 20-х годов, среди них Б.Д. Ионов, назначенный директором института, ученые Ленинградской лесотехнической академии. Гордостью института того времени были академик ВАСХНИЛ А.С. Яблоков, профессора А.Н. Митинский и Н.Н. Чулицкий, доценты В.Г. Осадчиев, В.С. Лебедев, А.Н. Сулимов, Т.В. Хованский и многие другие.

На мытищинской земле институт обрел постоянную прописку, свой родной дом. Именно поэтому с 1943 г. мы ведем отсчет третьего открытия МЛТИ, ставшего затем МГУЛеса.

К юбилею руководство университета, профессорско-преподавательский состав и студенты готовились заранее. Достойным подарком всему коллективу к этой знаменательной дате стало получение в июне с.г. государственной лицензии на осуществление образовательной деятельности на очередной пятилетний срок, выданной Министерством образования РФ после тщательной проверки всех направлений работы университета. В соответствии с этим документом университет впервые получил право готовить специалистов не только по инженерным, но и по рабочим специальностям, пользующимся особым спросом в деревообрабатывающей промышленности.

В канун праздника состоялось юбилейное заседание совета Учебно-методического объединения по образованию в области лесного дела, возглавляемого Московским государственным университетом леса и объединяющего 50 вузов всей страны, в которых есть лесные специальности. Ранее советом УМО было принято решение о разработке межотраслевой программы развития лесного образования России в рамках Концепции модернизации российского образования на период до 2010 г.. По нашему глубокому убеждению, в реализации этой концепции должны принимать самое активное участие потребители нашей продукции, работодатели – государственные учреждения разных уровней, предприятия и хозяйства лесной отрасли всех организационно-правовых форм.

Реализация такой программы предполагает разработку новых подходов к оценке качества образования. В основу системы оценки должны быть положены два основных критерия: соответствие получаемых знаний современным мировым требованиям в области высшего профессионального образования, а также востребованность специалистов данной квалификации на российском и мировом рынках труда. Именно на эти показатели ориентируется в своей работе и наш вуз, являющийся одним из крупнейших учебно-научно-производственных комплексов страны. Работа, проводимая УМО и Научно-образовательной ассоциацией лесного комплекса, созданной по инициативе ученых МГУЛ, предусматривает дальнейшее развитие сотрудничества в системе вуз – работодатель на всех этапах подготовки молодых специалистов.

В состав Московского государственного университета леса входят 14 факультетов. Подготовку специалистов лесного профиля осуществляют также 29 филиалов кафедр на промышленных предприятиях и 10 представительств МГУЛ в лесных регионах России. Крупной учебной, производственной и научной базой университета является Щелковский учебно-опытный лесхоз, общая площадь которого превышает 36 тыс. га.

Структура вуза включает пять НИИ: системных исследований леса, комплексного использования древесины, композиционных материалов, экономики и международного права, космических информационных систем; центр новых информационных технологий, филиал Международного института торговли и инвестиций в лесном комплексе, три сертификационных центра, институт повышения квалификации.

Почетными докторами университета являются дважды Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР П.Р. Попович, президент международной организации лесных исследований (IUFRO) Ристо Юхани Сеппала, председатель научного совета РАН по проблемам леса академик А.С. Исаев.

Прошедшие десятилетия стали периодом подлинного расцвета МЛТИ – МГУЛ, ведущего вуза России в сфере подготовки кадров для лесной и деревообрабатывающей отрасли, а также осуществляющего подготовку специалистов для ракетно-космического комплекса страны.

Безусловно, это заслуга всего нашего коллектива, которым более 34 лет (с 1968 г.) руководил Александр Николаевич Обливин. Сейчас он активно работает на посту президента университета, заведует кафедрой, возглавляет Научно-образовательную ассоциацию лесного комплекса РФ.

Ученые нашего университета принимают самое активное участие в разработке Национальной лесной политики Российской Федерации, Лесного кодекса.

Уровень и широта спектра научно-образовательной деятельности университета подтверждаются и тем, что среди лиц и организаций, поздравивших МГУЛ с юбилеем, заместитель председателя Правительства РФ Г.Н. Карелова, председатель Государственной Думы Г.Н. Селезнев, министр образования РФ В.М. Филиппов, губернатор Московской области, Герой Советского Союза Б.В. Громов, исполняющий обязанности главнокомандующего ВВС России генерал-полковник Б. Чельцов, депутаты Государственной Думы, десятки федеральных и муниципальных учреждений и органов управления, вузы, промышленные предприятия и научно-исследовательские организации. Приятным сюрпризом стало прозвучавшее по видеосвязи поздравление с борта Международной космической станции от экипажа 7-й экспедиции – командира Ю.И. Маленченко (Россия) и бортинженера Эдварда Лу (США).

Основные этапы славной истории МЛТИ – МГУЛ были отражены в театрализованном представлении, подготовленном силами студентов и ставшем подлинным апофеозом торжеств. Думаю, что все гости праздника смотрели его с особым чувством, ведь многие из них сами когда-то учились

в нашем вузе и до сих пор вспоминают студенческие годы как самое прекрасное и счастливое время своей жизни.

Один из показателей высокой репутации университета – преемственность поколений. Я искренне горжусь тем, что в свое время Московский лесотехнический институт закончили мои родители. Сам я выпускник МЛТИ 1978 г. Первые шаги в науке сделал под руководством большого ученого Бориса Мартыновича Буглая. С тех пор моя жизнь неразрывно связана с этим вузом, который сегодня я имею честь возглавлять.

60 лет ... Много это или мало? Ответить можно, только увидев и прочувствовав все события, произошедшие в жизни нашего вуза: поступить в него в военном 1943-м, когда студенты жили рядом с учебными аудиториями, делясь друг с другом скудными пайками; достраивать, а фактически строить заново, в середине 50-х главный учебный корпус МЛТИ; вместе с С.П. Королевым открывать новый факультет электроники и счетно-решающей техники; планомерно расширять научную и материальную базу вуза с 2 до 14 факультетов, с 250 до 13000 студентов; выводить МЛТИ на ведущие рубежи науки и техники, готовить присвоение ему высокого статуса университета; несмотря на все финансовые трудности начала 90-х, сохранять социальную инфраструктуру – поликлинику, профилакторий, лагерь отдыха «Джанхот»; вводить в строй второй учебно-лабораторный корпус, достроенный в значительной степени на собственные средства вуза; ежедневно приходить в учебные аудитории, чтобы передавать студентам не только глубокие фундаментальные знания, но и частицу своей души, своего сердца...

Сегодня весь коллектив Московского государственного университета леса с уверенностью смотрит в будущее, воплощая в жизнь Программу развития вуза на 2003–2008 гг., предусматривающую поступательное и неуклонное движение вперед по всему спектру вопросов, относящихся к нашей компетенции. И нет сомнений, что мы достигнем всех намеченных целей!

Долгих и счастливых лет жизни тебе, Московский государственный университет леса!

V.G. Sanaev

**The Greatest Educational-scientific-production Forest
Complex of Russia is 60 Years**

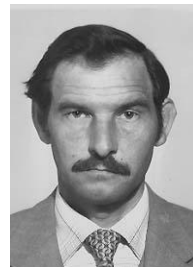


ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*18:630*24

Г.А. Чибисов, А.И. Нефедова

Чибисов Генрих Андреевич родился в 1937 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник СевНИИЛХа, член-корреспондент Российской инженерной и Международной инженерной академий наук, академик РАЕН, заслуженный лесовод России. Имеет около 260 печатных работ в области рубок ухода, рубок главного пользования, экологии и биологии леса, продуктивности таежных экосистем.



Нефедова Антонина Ивановна родилась в 1933 г., окончила в 1975 г. Ленинградскую лесотехническую академию, старший научный сотрудник СевНИИЛХа. Имеет более 30 печатных работ в области экологии и биологии леса.

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ**

По результатам многолетних комплексных исследований в березово-еловых насаждениях, пройденных рубками ухода, сделан вывод об их существенном влиянии на формирование экологических факторов.

Ключевые слова: экологические факторы, рубки ухода, солнечная радиация, интенсивность уходов.

Эффективность рубок ухода за лесом определяется в основном четырьмя видами продуктивности: экологической, биологической, качественной и количественной. Они могут рассматриваться как во взаимосвязи, так и в отдельности.

Изменения факторов внутренней среды насаждений вообще и особенно под влиянием рубок ухода – теоретическая основа управления формированием биоэкологической системой. Разреживания, непосредственно воздействуя на фитоценоз, существенно влияют на биогеоценоз в целом. Задача заключается в определении необходимого наилучшего комплекса экологических факторов во взаимосвязи с ростом и развитием деревьев и

всего насаждения. В каждом климатическом регионе оптимум экологических факторов неодинаков для одной и той же породы, а тем более при различном породном составе насаждений и на разных возрастных этапах. Существующая практика оценки экологического оптимума в основном сводится к оценке среды опосредованно через конечный результат, продукт, выражаемый бонитетом, запасом, предельной биомассой. Таким образом, оценивается следствие, а не причинность и динамизм эндогенных факторов. Бонитет не выражает однозначно ни условий местопроизрастания, ни свойств насаждения, а отражает равнодействующую отношений с внешней средой, которые определяют ход роста*. Поиск лимитирующих факторов и возможностей их улучшения и регулирования упрощается, если известны количественные показатели экологических факторов, благоприятных для каждой породы в каждом конкретном лесорастительном районе. Считается, что если на севере лесной зоны в дефиците, как правило, оказывается тепло, то с продвижением к южной границе роль теплового фактора ослабевает и возрастает значение увлажнения. Эта общая закономерность может нарушаться в зависимости от конкретных почвенно-гидрологических условий каждого региона.

Основными экологообразующими характеристиками являются породный состав и густота. Преобразование фитоценозов рубками ухода неизбежно изменяет среду.

Учитывая, что эти изменения зависят от густоты, неодинаковой в разном возрасте, можно формализовать степень влияния экологических факторов на рост через густоту и возраст. Дисперсионный анализ показал, что это влияние существенно: коэффициенты корреляции 0,521 ... 0,529 и 0,422 ... 0,454, причем с возрастом густота влияет сильнее.

Рубки ухода наиболее существенно трансформируют освещенность, тепловой режим воздуха и верхних горизонтов почвы, меньше – влажность воздуха и водный режим почвы. В зависимости от интенсивности, метода, способа, возраста насаждения, в котором проводят рубки ухода, происходят фитоценотические изменения, формируются условия фитосреды, определяющие рост и развитие как отдельных деревьев, так и фитоценоза в целом. В свою очередь, интенсивность роста, обмен веществами и энергией оказывают влияние на динамику экологических факторов и определяют толерантность и биологическую устойчивость фитоценоза как саморегулирующейся системы. Уменьшение густоты рубками ухода вызывает изменения, а при критическом ее состоянии и нарушения в закономерностях роста и продукционных процессах.

Представляется возможным рассмотреть изменения основных экологических факторов на примере березово-еловых насаждений по результатам 35-летних круглогодичных наблюдений**. Молодняк в возрасте 23 лет

* Гутман А.Л. Основы биофизики леса. – Воронеж, 1979. – Ч. 1. – 60 с.

** В работе принимали участие сотрудники Северной ЛОС Н.П. Нечаева, С.И. Онохина, О.Г. Соколова.

пройден рубками ухода (1966 г., пробная площадь 1, средняя подзона тайги) равномерно по площади. До рубок ухода в первом ярусе на 1 га было 18 тыс. шт. березы, во втором – 42 тыс. шт. ели, тип леса – черничник свежий. В первый прием интенсивность изреживания по числу стволов составила соответственно 80 и 65 %. Через 7 лет проведен второй уход, в 1986 г. – третий. Через 35 лет после первого ухода на 1 га осталось 430 деревьев березы и 2,4 тыс. шт. ели высотой 10,5 м. В контрольном древостое (ПП 2к) к этому времени было 3,6 тыс. шт. лиственных и 7 тыс. шт. еловых деревьев высотой 2,9 м. Для сравнения двумя приемами рубок (1973 и 1986 гг.) был сформирован чистый ельник (ПП 19): к 60-летнему возрасту насаждения на 1 га было 2,5 тыс. шт. ели высотой 7,3 м.

Рубки ухода существенно изменяют поступление, распределение и поглощение лучистой энергии солнца и соответственно ФАР, как важнейшие энергетические процессы. От лучистой энергии функционально зависят все другие экологические факторы, следовательно, экологической основой рубок ухода и их режима в таежных условиях является количество и качество солнечной радиации (табл. 1). Рубки ухода способствуют увеличению суммарной радиации и доли прямой. Березово-еловые насаждения имеют сравнительно высокое альbedo. При высоте солнца 35° березовым пологом отражается около 20 % солнечной радиации, поглощается 65 %, из количества, поступающего к еловому ярусу, отражается около 3 % и к почве поступает около 3 %. Рубки ухода значительно снижают альbedo, особенно на

Таблица 1

**Интенсивность солнечной радиации под пологом насаждения
после рубок ухода**

Проба	Период после рубок ухода	Высота солнца, °	Радиация					альbedo, %
			суммарная		рассеян- ная	прямая	отражен- ная	
			кВт/м ²	% от откры- того места				
2к	1 год	40	0,071	11	0,034	0,037	0,017	23,9
1	после		0,103	16	0,049	0,054	0,024	23,3
19	3-го ухода		0,357	56	0,078	0,279	0,050	14,1
2к	10 лет	45	0,062	7	0,033	0,029	0,018	29,3
1	после		0,099	12	0,027	0,072	0,018	18,3
19	3-го ухода		0,249	29	0,039	0,210	0,029	11,6
2к	30 лет	47	0,082	10	0,039	0,043	0,022	27,3
1	после		0,148	18	0,032	0,113	0,018	11,9
19	1-го ухода		0,167	20	0,039	0,128	0,026	15,3
2к	35 лет	46	0,073	9	0,027	0,046	0,017	22,8
1	после		0,076	10	0,026	0,047	0,019	25,2
19	1-го ухода		0,195	25	0,045	0,150	0,027	13,8

открытом месте. Чем интенсивнее рубка лиственного яруса, тем ниже альbedo, тем больше поглощается световой энергии.

Рубки ухода способствуют увеличению суммы положительных градусо-часов, продолжительности периодов с эффективными температурами. Причем тепловой режим улучшается весной, когда фактор тепла минимален, а тепловая зарядка очень важна для роста. После сильных уходов сумма положительных градусо-часов возрастает на 7 тыс. по сравнению с контролем, а период с суммой эффективных температур воздуха выше 10° увеличивается на 20 дн. В условиях короткого вегетационного периода на Севере это очень эффективный результат рубок ухода.

После интенсивного изреживания елового яруса (второй прием рубок) в первые 5 лет среднесуточная температура воздуха за вегетацию увеличилась на $1,5^{\circ}$, максимальная на $6,9^{\circ}$ (табл. 2). В чистом ельнике в результате рубок ухода максимальные температуры выше за первые 5 лет на $2,5^{\circ}$, за последние 5 лет – на $1,5^{\circ}$.

Максимальные температуры воздуха у поверхности почвы в среднем за 5 лет после первого интенсивного изреживания выше контроля в июне на $1,7$, в июле на $2,1$ (в теплые годы на $2,3 \dots 2,9$, в холодные на $1,5 \dots 1,8$), в августе на $1,8$, в сентябре на $0,6^{\circ}$; после второго приема рубок ухода они выше в мае на $2,6$ (в сухой теплый год на $4,7$, в холодный дождливый на $1,8$), в июне на $6,6$, в июле на $6,9^{\circ}$.

В изреженном древостое у поверхности почвы в среднем за день температура воздуха выше на $3,7^{\circ}$ (табл. 3). Самые высокие они в 13 ч, различия достигают 5° .

Связь температуры воздуха и почвы не только прямая (почва является аккумулятором радиационного тепла), но и обратная (за счет излучения накопленного почвой тепла нагреваются прилегающие слои воздуха). В целом функционирует баланс: больше поступление тепла – больше отдача. Почвы на Севере в связи с повышенной увлажненностью имеют слабую теплопроводность, тем не менее тепловой режим почв здесь исключительно важен как фактор плодородия, от которого зависит усиление процессов нитрификации, биологической активности, рост корней и транспирация.

Почвы района исследований подзолистые легкосуглинистые, залегают на известняках, глубоко промерзают зимой и медленно оттаивают, что является одной из причин плохого роста ели под пологом лиственного яруса. Средние годовые температуры почвы в нетронутых рубками ухода насаждении по всему профилю от 20 до 120 см в среднем за 35 лет составляют $2,6^{\circ}$, в теплые годы около $4,0$, в холодные всего $1,5^{\circ}$.

После высокоинтенсивных рубок ухода в среднем за 15 лет температура почвы в корнеобитаемом 20-сантиметровом слое в активный период жизнедеятельности повышается на $3 \dots 5^{\circ}$, а в период с температурами более 5° увеличивается на 20 ... 25 дн. Промерзание почвы происходит на 12 дн. позже, глубина промерзания уменьшается на 20 см, а срок оттаивания сокращается на 2 нед.

Таблица 2

Температура воздуха у поверхности почвы после уходов

Год	Месяц	Температура воздуха, °С, на пробе			Год	Месяц	Температура воздуха, °С, на пробе		
		2к	1	Отклонение от контроля			2к	1	Отклонение от контроля
Средняя суточная									
1967 – 1973	V	6,3	5,9	-0,4	1974 – 1979	V	7,7	9,6	+1,9
	VI	11,2	11,7	+0,5		VI	10,7	12,2	+1,5
	VII	13,8	14,4	+0,6		VII	14,0	15,9	+1,9
	VIII	12,8	13,5	+0,7		VIII	11,5	12,4	+0,9
	IX	6,4	6,6	+0,2		IX	7,4	7,6	+0,2
	За вегетацию	10,6	11,2	+0,6		За вегетацию	10,7	11,9	+1,2
Средняя максимальная									
1967 – 1973	V	12,5	13,2	+0,7	1974 – 1979	V	14,0	16,6	+2,6
	VI	17,3	19,0	+1,7		VI	15,2	21,8	+6,6
	VII	18,9	21,0	+2,1		VII	15,1	22,0	+6,9
	VIII	17,2	19,0	+1,8		VIII	14,7	16,8	+2,1
	IX	9,6	10,2	+0,6		IX	10,4	11,4	+1,0
	За вегетацию	15,7	17,2	+1,5		За вегетацию	14,6	17,2	+2,6
Средняя минимальная									
1967 – 1973	V	0,1	-0,8	-0,9	1974 – 1979	V	1,2	2,3	+1,1
	VI	4,4	4,0	-0,4		VI	5,3	5,9	+0,6
	VII	7,8	7,7	-0,1		VII	8,8	9,7	+0,9
	VIII	7,9	7,9	0		VIII	7,8	8,0	+0,2
	IX	3,3	3,1	-0,2		IX	4,1	3,6	-0,5
	За вегетацию	5,6	5,5	-0,1		За вегетацию	6,1	6,5	+0,4

Таблица 3

Температура воздуха под пологом березово-еловых насаждений

Проба	Время суток, ч	Дни июня						Среднее
		1–5	6–10	11–15	16–20	21–25	26–30	
2к	4	3,7	7,1	7,7	5,8	8,9	11,6	7,5
	7	6,4	11,8	12,1	12,7	13,4	13,9	11,7
	10	10,6	17,8	17,2	21,4	18,9	17,5	17,2
	13	10,8	19,0	20,3	23,6	18,5	19,2	18,6
	16	10,4	18,6	18,6	22,7	19,7	19,3	18,2
	19	8,6	16,0	15,1	19,8	17,5	18,1	15,8
Среднее 1		8,4	15,0	15,2	17,7	16,2	16,6	14,8
	4	4,6	8,6	10,8	9,9	9,6	13,4	9,5
	7	8,3	14,5	14,5	17,0	14,4	17,3	14,5
	10	10,4	21,6	23,2	29,1	22,2	21,7	21,4
	13	12,3	23,7	26,4	34,2	23,0	25,0	24,1
	16	11,0	22,2	23,7	30,0	23,2	23,1	22,2
19	9,2	19,6	19,6	26,3	20,0	21,3	19,3	
Среднее		9,3	18,4	19,7	24,4	18,7	20,3	18,5
Отклонение от контроля		+0,9	+3,4	+4,5	+6,7	+2,5	+3,7	+3,7

По многолетним наблюдениям, высота снежного покрова в насаждении, пройденном уходами, несколько ниже, чем в нетронутом, и таяние снега происходит раньше.

В результате высокоинтенсивных рубок ухода относительная влажность воздуха в припочвенном слое и на высоте 1,5 м уменьшается на 3 ... 10 %, увеличивается период с пониженной влажностью в течение суток, сокращается число дней с влажностью более 80 %. В условиях Севера постоянная избыточная влажность воздуха является важным фактором жизнедеятельности растений, особенно в начале вегетационного сезона.

Таким образом, в условиях северной тайги рубки ухода существенно влияют на формирование фитолимата. При оптимальных режимах ухода представляется возможным: увеличить долю прямой радиации, через изменение суммы эффективных температур удлинить вегетационный период, повысить температуру почвы, снизить влажность воздуха. В экологическом аспекте высокоинтенсивные рубки ухода предпочтительны ради степени и длительности эффекта. Следует заметить, что через 35 лет после ухода фитолимат уже в большей степени свойственен еловым, а не березово-еловым насаждениям.

Многолетние исследования показали, что вследствие значительной динамики и вариабельности экологических факторов под влиянием погодных условий, характера вегетационных сезонов, фаз роста, фенологического состояния, фитоценологических показателей и т. д. представляются затруднительными синтез и формализация в виде устойчивых и достоверных математических связей. Тем не менее, изучение эколого-фитоценологических факторов может и должно служить основой для обобщенной оценки рубок ухода с учетом их режима и технологии. Экология рубок ухода – отдельное самостоятельное направление, которое должно развиваться на экосистемном и эколого-фитоценологическом уровнях.

Северный научно-исследовательский
институт лесного хозяйства

Поступила 27.06.02

G.A. Chibisov, A.I. Nefedova

Ecological Efficiency of Thinning

A conclusion is drawn about the influence of thinning on forming ecological factors based on the result of many years' complex research in birch-spruce stands where thinning took place.



УДК 630*182.8

В.Ф. Цветков, Е.А. Сурина

Цветков Василий Фролович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой 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.



Сурина Елена Анатольевна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, научный сотрудник Архангельского филиала Института экономики УрО РАН. Имеет 20 печатных работ в области изучения антропогенной динамики лесов.



**ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

По уточненным данным учета лесного фонда и на основе обобщения материалов по структуре фитомассы на землях лесного фонда рассчитан запас углерода в лесах Архангельской области (7,8 млрд т). Отрицательный годовой баланс (2,63 млн т) связан с большой долей заболоченных низкопродуктивных насаждений.

Ключевые слова: углерод, углекислый газ, фитомасса насаждений, лесной фонд, структура лесных земель.

Одним из важнейших критериев устойчивого развития любого региона, обеспечения надежной экологической безопасности является сбалансированность потоков углерода в природной среде. Круговорот этого элемента лежит в основе происходящих в биосфере генеральных процессов функционирования живой материи, синтеза и деструкции органического вещества. С нормальным круговоротом углерода в окружающей среде связано по меньшей мере 5 из 31 принятого ЮНЕСКО показателя уровня жизни. Расчет баланса С в окружающей среде как при малом (биологическом), так и большом (геологическом) круговоротах невозможен без оценки накопления его в так называемых резервных фондах. На суше одним из таких фондов, относящихся к категории обменных, являются леса [13, 17].

Накапливаемый в лесных экосистемах углерод и определяющие его потоки поддаются регулированию, в силу чего леса следует рассматривать как надежный инструмент управления важнейшими процессами биосферы [6, 10, 11, 20, 24, 25]. При оценке законсервированного в лесах углерода традиционно рассчитывают их фитомассу. Исходят из широко известного факта, что масса углерода хорошо коррелирует с абсолютно сухой массой органического вещества. По существу выявление запасов углерода в растительности экосистем переходит в плоскость установления запасов их фитомассы.

В исследованиях на территории России при определении запасов углерода традиционно привлекают базу статистических данных лесных инвентаризаций и материалы специальных пробных площадей по изучению фракционной структуры фитомассы насаждений [1, 4, 12, 22, 26]. Далее, основываясь на известных результатах изучения структуры фитомассы лесных насаждений [2, 5, 9, 15, 18, 19, 21, 22 и др.], рассчитывают пакет коэффициентов, позволяющих перейти от запасов древесины к запасам фитомассы. В соответствии с общепринятыми подходами, запас углерода в лесном фонде любой территории складывается из его запасов в массе:

- лесной растительности на лесных покрытых лесом площадях;
- остатков древостоя, подроста, подлеска и живого напочвенного покрова на лесных, не покрытых лесом площадях (вырубки, гари, несомкнувшиеся культуры);
- лесной подстилки на всех площадях лесных земель;
- нижних ярусов растительности, а также подстилки и почвы на нелесных площадях (пустыри, прогалины, сенокосы, усадьбы);
- мхов и торфяных залежей болот;
- накопленного гумуса почвы на всех лесных землях, за исключением некоторых нелесных (болота, водоемы, пески, дороги).

Таким образом, запасы углерода в лесах определяются структурой земель лесного фонда и насаждений, их продукционным потенциалом.

На покрытых лесом площадях запас углерода в экосистемах включает массу, сосредоточенную в древесине стволов, листве, ветвях и сучьях, коре, корнях, лесной подстилке и деятельном (условно 50 см) слое почвы. Масса углерода в почве и подстилке прямо связана с трофностью местообитания [7, 8] и пропорциональна фитомассе насаждения или массе стволов деревьев [12, 22 и др.]. Отсюда следует, что точность расчета фитомассы в большей мере зависит от степени изученности природы лесов, их типологической и возрастной структуры и репрезентативности данных о структуре фитомассы. Поэтому важен корректный расчет системы коэффициентов пропорциональности запасам стволовой древесины, масс различных компонентов древостоя и насаждения в целом. Установление подобных коэффициентов – исключительно сложная задача, требующая больших объемов специальных трудоемких исследований. Убедительным свидетельством являются известные работы ряда авторов [1, 4, 15, 19, 22].

При отсутствии в регионе достаточного количества корректных исследований структуры фитомассы леса было принято решение получить переводные коэффициенты на основе экспертного анализа литературных данных, скорректированных для условий европейской тайги. Проанализировано более сотни литературных источников, в основном по северу России. При оценке запасов и структуры фитомассы использовали также разнообразные справочные материалы: таблицы хода роста; другие лесотаксационные таблицы разного назначения, в том числе покомпонентных запасов массы различных элементов леса; таблицы сортиментной структуры древостоев (из лесотаксационных справочников). Основу же анализа составляли

экспериментальные данные из литературы об оценке масс и объемов лесных материалов, включая недревесные ресурсы. Установлено, что, несмотря на высокую изменчивость результатов исследований, связанную с географическим разнообразием лесорастительных условий, разными методическими подходами и целевыми установками, многие закономерности в структуре фитомассы и запасах древесины в насаждениях имеют одинаковую природу. Точность определений запасов фитомассы была не менее 12 ... 15 %.

При расчетах коэффициентов пропорциональности компонентов фитомассы применяли традиционные методы графического выравнивания, интер- и экстраполяции, широко используемые при подобной генерализации массовых материалов. Привлекали известные по обширной литературе обобщенные данные о соотношениях запасов в насаждениях разных преобладающих пород, типов и групп типов леса. Выстраивали следующую схему расчетов. Первоначально осуществляли географическую (подзональную) дифференциацию данных о запасах древесины в лесах в целом, безотносительно к формациям преобладающих пород. Определяли генерализованные средние значения запасов по подзонам тайги в пределах региона. Затем северо- и среднетаежный «пакеты» материалов дифференцировали. Средние значения запасов по подзонам принимали за 100 %, по известным процентным соотношениям определяли средние запасы сосняков, ельников, березняков. Эти данные по каждой формации, в свою очередь, также принимали за 100 %, и процедура повторялась: материалы распределяли уже по группам типов или типам леса. При этом использовали соотношения запасов насаждений по имеющимся типологическим таблицам хода роста и другие литературные данные. На третьем этапе осуществляли актуализацию запасов по возрастным рядам древостоев в пределах каждого типа леса или группы типов, опираясь на массовые фактические данные лесоустройства.

Данные о структуре земель лесного фонда области и запасах стволовой древесины взяты из материалов инвентаризации лесов по состоянию на 01.01.1998 г. Позднее данные были скорректированы с учетом материалов 25 лесхозов по состоянию на 01.01.2000 г. При расчетах углерода в составе всего лесного насаждения к его массе в древостое добавляли углерод, депонированный в нижних ярусах растительности. Эту массу дифференцировали по формациям преобладающих пород, возрастным группам и типам леса.

Запас углерода на не покрытых лесом площадях рассчитывали для отдельных категорий площадей или их групп по данным о запасах фитомассы, полученным сотрудниками кафедры лесоводства АГТУ, а также по наблюдениям авторов. Исходили из предположения, что на вырубках, например, масса органики нижних ярусов растительности в среднем на 15 % меньше, чем в полных насаждениях. Округленно после сопоставления материалов разных лет эта величина была принята равной 4,0 т / га. К ней добавляли массу остатков древостоя (семенники, недорубы), приблизительно 10 % от запаса исходного древостоя. После выравнивания фитомассу этого элемента в зеленомошниках принимали равной 4,5 т/га. К углероду, рассчи-

танному в названных элементах, добавляли углерод, депонированный в лесной подстилке. Основывались на соображениях Л.А. Гришиной и М.Ф. Макаревича [7, 12]. Применительно к таежным лесам Европейского Севера запас углерода, по нашим данным, округленно составил 27; в гумусовом веществе почвы зеленомошных типов условий произрастания – в среднем 33; итого в ненарушенном почвенном покрове лесных экосистем 60 т на 1 га. По тем же придержкам рассчитывали углерод на участках несомкнувшихся лесных культур, пустырей и усадеб.

На участках горельников углерод образуют остатки древостоя (примерно 50 % от исходного); растительность нижних ярусов (50 % от запаса в насаждениях коренного типа), лесная подстилка (50 % от полного) и почва (в полном объеме).

На участках редин запас углерода рассматривается как сумма запасов остатков древостоя (округленно 20 % от исходного), нижних ярусов, лесной подстилки и почвы (полностью от запасов в аналогичных насаждениях).

При расчетах удельных запасов углерода по таким элементам, как лесная подстилка и торфяная залежь, за основу брали материалы, опубликованные В.А. Алексеевым и Р. Бердси [1] и скорректированные нами для условий Архангельской области [16, 23]. Информационной базой для расчетов служила структура земель лесного фонда Архангельской области (табл. 1, площадь, тыс. га; запас, млн м³).

Поскольку достаточно полная информация о структуре лесного фонда содержится лишь по площадям, находящимся в бывшем гослесфонде (27 441 тыс. га, или 92,6 % от общей площади лесов в области), они и положены в основу расчетов. Общую массу углерода на всех лесных землях области определяли, добавляя к оцененному запасу, пропорциональный недостающим 7,4 % площади лесного фонда соответствующих категорий земель в лесном фонде бывшей Федеральной лесной службы и общей площади лесов области.

Не покрытые лесом и нелесные земли в бывшем гослесфонде Федеральной службы составляют 6610,1 тыс. га. Около 90 % их приходится на болота (6013,3 тыс. га), среди которых преобладают природные образования

Таблица 1

Общественная форма пользования	Общая площадь	Лесная площадь	Покрытая лесом площадь/общий запас	Площадь / запас по группам лесообразующих пород	
				Хвойные	Мелколиственные
Всего по области	29 627	22 967,7	22 434,2/2453,7	16 867,6/2155,3	5566,6/298,4
В том числе:					
вошедшие в лесной фонд	29 410,6	22 793,4	22 274,6/2436,1	16 661,9/2140,1	5612,7/296,0
не вошедшие	216,4	174,3	159,6/17,6	205,7/15,2	46,9/2,4
Гослесфонд бывший Федеральной службы	27 441,1	20 834,0	20 375,1/2161,9	16 830,7/1949,6	3544,4/212,3

Таблица 2

Тип леса	Значения коэффициентов по компонентам структуры			
	Корни	Хвоя	Сучья	Кора
Формация сосновых лесов				
Лишайниковый	0,32...0,20	0,11...0,06	0,22...0,01	0,098...0,063
Брусничный	0,24...0,15	0,21...0,03	0,16...0,07	0,18...0,12
Черничный	0,33...0,15	0,24...0,15	0,18...0,08	0,30...0,06
Кисличный	0,28...0,12	0,086...0,025	0,12...0,04	0,16...0,04
Долгомошный	0,36...0,28	0,13...0,05	0,16...0,06	0,24...0,04
Травяно-болотный	0,168...0,119	0,19...0,02	0,14...0,05	0,23...0,05
Сфагновый	0,468...0,399	0,12...0,07	0,14...0,07	0,17...0,06
Формация еловых лесов				
Черничный	0,28...0,10	0,15...0,05	0,24...0,09	0,18...0,10
Кисличный	0,35...0,06	0,34...0,16	0,40...0,13	0,20...0,05
Долгомошный	0,45...0,15	0,28...0,09	0,54...0,39	0,18...0,08
Травяно-болотный	0,35...0,06	0,28...0,09	0,28...0,10	0,18...0,08
Сфагновый	0,55...0,43	0,34...0,16	0,40...0,09	0,12...0,05
Формация мягколиственных пород				
Зеленомошная группа	0,34	0,15...0,05	0,15...0,12	0,20...0,05

олиготрофного и мезотрофно-олиготрофного типов, мощность торфяной массы 1,0 ... 1,5 м [14]. Пустыри, прогалины, усадьбы занимают 596,8 тыс. га. Не покрытая лесом лесная площадь (261,2 тыс. га) представлена вырубками, гарями, несомкнувшимися лесными культурами.

Система выравненных с помощью уравнений регрессии (по материалам более 80 литературных источников) переводных коэффициентов для расчета фитомассы разных компонентов древостоев (т/га) по соответствующей стволовой массе ($m^3/га$) дана в табл. 2.

В изменчивости значений коэффициентов (в таблице даны интервалы варьирования) прослеживаются общие закономерности. Наибольшая доля корней имеет место и в сосняках, и в ельниках в типах леса заболоченных местообитаний. При прочих равных условиях доля корней увеличивается с возрастом древостоев, достигая максимума в среднем возрасте. Самое высокое участие хвои в фитомассе древостоев в ельниках зеленомошной группы типов леса: в одновозрастных еловых лесах – в возрасте спелости, в сосняках – в среднем возрасте (50 ... 60 лет). Аналогичные закономерности наблюдаются в представленности массы ветвей и сучьев, а также коры. Обобщенные по возрастным группам и формациям преобладающих пород суммарные переводные коэффициенты (по всем компонентам древостоя) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Преобладающая порода	Суммарные коэффициенты перевода в древостоях			
	Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные
Сосна, лиственница	0,54	0,53	0,49	0,46
Ель	0,54	0,49	0,45	0,40
Береза, осина	0,72	0,70	0,69	0,66

Таблица 4

Порода	Молодняки	Средне- возрастные	Приспе- вающие	Спелые и перестойные	Итого
Запас (объем) стволовой древесины, млн м ³					
Сосна	43,00	161,47	49,89	298,4	552,76
Ель	33,68	79,67	47,77	1226,8	1388,00
Лиственница	0,04	0,32	8,31	7,73	16,40
Итого хвойных	76,72	241,46	105,97	1533,01	1957,16
Береза	20,17	88,20	23,67	53,04	185,08
Осина	2,19	4,09	3,71	17,06	27,05
Итого мягколиственных	22,36	92,29	27,38	70,10	212,13
Всего	99,08	333,75	133,35	1603,11	2169,29
Запас фитомассы древостоя со всеми компонентами, млн т					
Сосна	23,22	85,60	24,40	137,26	270,48
Ель	18,18	39,04	21,49	490,76	569,47
Лиственница	0,02	0,17	4,07	3,56	7,82
Итого хвойных	41,42	124,81	49,96	631,54	847,73
Береза	14,64	61,74	16,30	35,00	127,68
Осина	1,58	2,86	2,60	11,26	18,30
Итого мягколиственных	16,22	64,60	18,90	46,26	145,98
Всего	57,64	189,41	68,86	677,80	993,71

Запасы стволовой древесины в лесах и адекватные запасы фитомассы в массе древостоев даны в табл. 4.

Как следует из таблицы, 68 % фитомассы древостоев сосредоточено в спелых и перестойных лесах, в молодняках – 6,1 %. Для расчета углерода в нижних ярусах растительности насаждений использовались удельные значения (т/га) абсолютно сухой массы, приведенные в табл. 5.

Запасы нижних ярусов растительности (подрост, подлесок, живой напочвенный покров), рассчитанные с помощью удельных значений этих величин, даны в табл. 6.

Общая фитомасса лесных фитоценозов (древостои + растительность нижних ярусов) равна $993,7 + 126,0 = 1119,7$ млн т, сосредоточенный в ней углерод 560,0 млн т. В лесной подстилке и почве покрытых лесом площадей депонировано углерода $60,0 \cdot 20\ 375,1 = 1222,5$ млн т. Общее содержание углерода на покрытых лесом площадях гослесфонда Федеральной службы лесов оценивается в 1782,6 млн т.

Расчеты по представленным методикам позволили определить углерод на разных категориях нелесных и не покрытых лесом площадей. Фитомасса, приходящаяся на вырубку и несомкнувшиеся культуры, составила: в остатках древостоев 1929,1; в нижних ярусах растительности 1714,8; всего

Таблица 5

Порода	Средние значения фитомассы нижних ярусов, т/га			
	Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные
Сосна, лиственница	7,7	8,3	8,7	9,7
Ель	1,5	2,7	3,7	6,5
Береза, осина	5,0	5,7	5,3	5,5

Таблица 6

Порода	Запасы фитомассы нижних ярусов, тыс. т				
	Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные	Итого
Сосна, лиственница	9 771,8	10 566,7	2911,9	25 760,3	49 010,7
Ель, кедр	2 790,5	2 066,9	1112,6	54 726,8	60 696,8
Береза, осина, ольха, ива	6 890,0	6 584,1	1116,6	1 752,3	16 343,0
Всего	19 452,3	19 217,7	5141,1	82 239,4	126 050,5

3643,9 тыс. т. В ней содержится округленно 1821,9 тыс. т углерода. В лесной подстилке и почвах этой категории земель сосредоточено 13 896,0 тыс. т углерода. Общая его масса здесь 15,7 млн т.

Фитомасса редин, гарей, пустырей по аналогии с предыдущей категорией земель оценивается в 26 885,0 тыс. т, в ней заключено, с учетом подстилки и почвы (35 640,2 тыс. т.), 49,1 млн т углерода. Общая масса органики на лесных землях (покрытых и не покрытых лесом) составила 1847,4 млн т.

Органика, аккумулированная на болотах, может быть рассчитана умножением удельной суммы фитомассы живых растений и массы торфа (в среднем 1800 т/га) на общую площадь болот (6013,3 тыс. га.). Эта масса равна 10 824,0 млн т. В ней заключено примерно 5412,0 млн т углерода. Общая масса углерода на лесных землях области с учетом болот и других категорий нелесных земель – 7259,4 млн т.

Как уже указывалось, общий по лесному фонду области запас углерода должен быть увеличен на 7,4 %, пропорционально доле лесов гослесфонда Федеральной службы лесов в общей площади по области. В конечном итоге суммарный запас углерода в лесах Архангельской области по состоянию на 01.01.1998 г. равен 7796,6 млн т.

Запасы и структура углерода на лесных землях в регионе постоянно изменяются под воздействием промышленных рубок, минерализации и дыхания лесных подстилок, минерализации порубочных остатков на вырубках, осушительной мелиорации, сельскохозяйственного освоения земель, лесных пожаров, рекреационных нагрузок на лесные экосистемы. Влияние перечисленных факторов неоднозначно и изменяется во времени, что существенно усложняет расчеты баланса, снижает их достоверность. К сожалению, пока нет других путей расчетов депонирования углерода таежными экосистемами. Существенно, что удается установить закономерные тренды в динамике.

Накоплению углерода способствуют: продуцирование органики древостоями, нижними ярусами растительности, растительностью болот, аккумуляция опада в лесной подстилке, накопление сухостоя, возобновление леса на вырубках, смена хвойных перестойных насаждений лиственными молодняками.

Выносу углерода (и поступление его в атмосферу) происходит в связи с рубками главного пользования, рубками ухода, утилизацией порубочных остатков, минерализацией лесной подстилки (дыхание почвы). Свой вклад вносят дыхание растительности, осушенных болот, минерализация подстилки и усиленное дыхание почвы под влиянием рекреации, загрязнения атмосферы и почв, других, не покрытых лесом площадей, а также смена перестойных насаждений молодыми при лесовозобновительных процессах после рубок леса.

Расчеты показали отрицательный баланс углерода в лесах области в конце минувшего тысячелетия, в среднем 2,63 млн т ежегодно. Это связано, прежде всего, с большой долей перестойных низкопродуктивных насаждений заболоченных местообитаний. Сказывается вынос углерода при рубках леса, усиление дыхания минерализующихся торфяных залежей, осушающихся вследствие глобальной аридизации суши и организованной гидрорелесомелиорации заболоченных земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А., Бердси Р.* Углерод в экосистемах лесов и болот России. – Красноярск: Ин-т леса и древесины РАН, 1994. – 171 с.
2. *Аткин А.С.* Состав и продуктивность сосновых лесов Приангарья // Структура и рост древостоев Сибири // Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1993. – С. 27–55.
3. *Аткин А.С., Аткина Л.И.* Состав и продуктивность таежных лесов // Структура и динамика таежных лесов. – Новосибирск: Наука, 1994. – С. 12–50.
4. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. – М.: Наука, 1993. – 293 с.
5. *Бобкова К.С.* Фитомасса древостоев // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера. – Л.: Наука, 1981. – С. 46–53.
6. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли. – М., 1965. – 368 с.
7. *Гришина Л.А.* Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: МГУ, 1986. – С. 41–57.
8. *Добровольский Г.В., Трофимов С.Я., Седов С.Н.* Углерод в почвах и ландшафтах Северной Евразии // Круговорот углерода на территории России. – М., 1999. – С. 233–270.
9. *Дылис Н.В.* Структура лесного биогеоценоза. – М.: Наука, 1979. – 55 с.
10. *Кобак К.И., Кондрашова Н.Ю.* Антропогенные воздействия на лесные экосистемы и роль этих воздействий в глобальном углеродном цикле // Ботанич. журн. – 1985. – Т. 70, № 3. – С. 68–73.

11. Кобак К.И., Кондрашова Н.Ю. Глобальное потепление и транслокация природных зон // Метеорология и гидрология. – 1992. – № 3.
12. Макаревский М.Ф. Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биоценозах Карелии // Экология. – 1991. – № 3. – С. 3–9.
13. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Прогресс, 1975. – 740 с.
14. Пьявченко Н.И. Лесное болотоведение. – М., 1963. – 192 с.
15. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. – М.: Наука, 1965. – 254 с.
16. Сурина Е.А., Цветков В.Ф. О запасах углерода в Архангельской области // Экологические проблемы Севера: Межвуз. сб. науч. тр. – Архангельск, 2001. – С. 29–39.
17. Титлянова А.А. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. – Новосибирск: Наука, 1977. – 221 с.
18. Успенский В.В. Способ таксации нестволовой части сосновых древостоев // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск, 1980. – С. 60–66.
19. Уткин А.И. Исследования первичной продуктивности лесов СССР // Лесоведение. – 1970. – № 3. – С. 58–89.
20. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 3–19.
21. Уткин А.И., Дылис Н.В. Изучение вертикального распространения фитомассы в лесных биогеоценозах // Бюл. МОИП. – 1966. – Т. 71, № 6. – С. 51–59.
22. Уткин А.И. и др. Анализ продукционной структуры древостоев / А.И. Уткин, С.Г. Рождественский, Я.И. Гульбе и др. – М.: Наука, 1988. – 240 с.
23. Цветков В.Ф., Сурина Е.А. К оценке антропогенного изменения в структуре лесов на лесных землях Нижнего Подвинья // Экологические проблемы Севера: Межвуз. сб. науч. тр. – Архангельск, 2001. – С. 137–142.
24. Shvidenko A., Venevsky S., Nilsson S. Generalized Estimation of increment and Mortality in russian Forests, sustainable Development of Boreal forests // Proceedings of the 7th annual Conference of the IBFRA, August 19-23, 1996, St. Peterburg, Federal Forest service of Russia. – Moscow, 1997. – P. 184–191.
25. Shvidenko A., Nilsson S. Fire and Carbon Budget of Russian forests, in fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest / Kasischke E. and Stocks B., eds. Springer, 2000. – P. 289–311.
26. Stakanov V.D., Alexeev V.A., Korotkov I.A. Carbon storage of current increment of phytomass in Scots pine forests of Krasnoyarsk kray // Proceeding of the International conference, Krasnoyarsk, August 6-9, 1996. – P. 107–110.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 23.05.02

V.F. Tsvetkov, E.A. Surina

Carbon Stock in Arkhangelsk Region Forests

The carbon stock has been estimated for the Arkhangelsk region forests based on the forest inventory data and data summary on phytomass structure of the forest stock areas (making 7.8 bln. ton). Negative annual balance of carbon stock (2.63 mln. ton) is caused by a big share of swamp low-productive forest stands.

УДК 630*18 (282.247.41)

А. М. Невидомов

Невидомов Алексей Михайлович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Горьковский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского и проектного института лесохимической промышленности. Имеет около 40 научных трудов и внедрений НИР в лесохозяйственное производство.



**ПРОБЛЕМА ЭКОЛОГИИ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСОВ
ВОЛЖСКОГО БАСЕЙНА
КАК ВАЖНЕЙШАЯ СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ
В РЕШЕНИИ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ВОЛГИ**

Впервые проведены интегральная экологическая оценка современного состояния пойменных лесов Волжского бассейна и дифференциация их по климатическим фациям и субфациям.

Ключевые слова: пойменные леса и почвы, климатические фации и субфации, эколого-генетический ряд, зарегулирование стока, лесовосстановление.

Общеизвестна напряженная экологическая обстановка на Волге. Локальные (местные) антропогенные влияния в Волжской долине многократно усиливаются региональным изменением пойменных земель – зарегулированием стока Волги (прямым – каскад водохранилищ и косвенным – мелиорация на водосборной площади) на огромном протяжении ее бассейна. Учитывая общую площадь бассейна (1360 тыс. км²) этой самой крупной реки Европы (протяженность 3530 км) [17], занимающего более трети Русской (Восточно-Европейской) равнины, можно не сомневаться, что масштабы и последствия этих антропогенных изменений уже явно выходят за региональные рамки, влияя на глобальный уровень саморегуляции биосферы в целом.

Об этом свидетельствует Федеральная всероссийская экологическая программа «Возрождение Волги». А в резолюции 1-го делегатского съезда Российского ботанического общества (РБО), состоявшегося 2–4 июня 1993 г. в г. Ульяновске, уже отражена необходимость комплексного фундаментального экосистемного подхода при реализации указанной программы. Растительный компонент является центральным – автотрофным – блоком природных систем, основанием (базисом) экологической пирамиды. В самом растительном компоненте природно-территориального комплекса (ПТК) Волжского бассейна ведущая роль, несомненно, принадлежит древесно-кустарниковой растительности, поскольку трудно переоценить значение леса в Волжской долине. Пойменные леса выполняют важнейшие водоохраные, руслоукрепляющие, берегозащитные, противозерозионные, коль-

матирующие функции, регулируя водный режим реки. Поэтому пойменный лес и река – неотделимые понятия, ни одна река не может существовать без леса по берегам, и полная гибель (элиминация) долинного леса автоматически означает гибель реки. Ведь само возникновение и развитие леса здесь взаимно сопряжено с развитием рельефа (геоморфогенезом) долины, обусловленным эрозионно-аккумулятивной деятельностью реки. Иными словами, непрерывный лесообразовательный процесс является необходимым условием (атрибутом) ландшафтогенеза и стабильного функционирования всего ПТК любой речной системы. На молодых прирусловых отложениях сначала возникают пионерные группировки кустарниковых видов ив (талники). По мере накопления аллювиально-пойменных наносов и поднятия участков над меженным уровнем реки с формированием пойменных почв естественный лесообразовательный процесс идет по законам генезиса. Последовательно сменяют друг друга промежуточные серийные сообщества лесов наиболее динамичного (лабильного) крупногрядистого прируслового (приречного) комплекса поймы (древовидные ивы и тополя как быстрорастущие мягколиственные древесные породы-пионеры*, захватывающие новые пригодные для леса территории). В конечном итоге через связующее звено вязовников (ильмовников) формируются наиболее ценные как в хозяйственном, так и в экологическом отношении субклимаксовые (условно-коренные) твердолиственные (дубовые) леса – основные лесообразователи в переходной от прирусловой к центральной пологогрядистой эколого-генетической зоне поймы Волги и ее притоков. Центральная, более выровненная, часть Волжской поймы в силу особенностей гидрологического режима является преимущественно луговой. Наиболее пониженной притеррасной зоне свойственно периодическое или постоянное избыточное увлажнение. Для нее характерны низинные болота и ультрагигрофильные (заболоченные) леса. Таким образом, высотно-топографический (экологический) ряд сообществ в пойме является одновременно сукцессионным (генетическим). Поэтому целесообразно интегральное понятие эколого-генетического ряда развития растительности поймы как классический пример гологенетической (геоморфогенной ландшафтогенной) сукцессии. Но для интегральной оценки экологического состояния такой крупной территории, как система речных долин Волжского бассейна, протянувшаяся почти через все природные (ландшафтно-географические) зоны Восточной Европы (кроме тундры и лесотундры), мало одной эколого-генетической дифференциации. Это необходимое, но отнюдь не достаточное условие анализа. Его нужно дополнить географо-генетической дифференциацией.

Только синтез данных эколого- и географо-генетического анализа может дать объективную картину современного состояния макроэкосисте-

* Классификация древесных пород по их сукцессионному назначению была четко сформулирована творцом учения о лесе Г. Ф. Морозовым в его классических работах начала прошлого столетия.

мы Волжского бассейна. Для этого удобно использовать предлагаемое нами сочетание разработанного в середине прошлого столетия крупным отечественным географом акад. В. Б. Сочавой понятия «климатическая фация» с определенными в «Растительности европейской части СССР» [13] типами эколого-динамических (в нашей трактовке эколого-генетических) рядов.

Долинная растительность интразональна. Несмотря на смягчающее действие пойменных условий, она обнаруживает на себе и влияние зональных экологических факторов в зависимости от того, по территории какой природно-климатической зоны протекает река, что отражается в соответствующих климатических фациях (бореальные, неморальные, субаридные и аридные поймы). Для более детальной оценки природно-региональных различий в типах эколого-генетических рядов мы ввели понятие «субфация» (северная и южная каждой фации).

Верхние течения северных притоков Волги (Ветлуга, Вятка, Кама) попадают в климатическую фацию бореальных пойм. Для нее характерно развитие долинных темнохвойных лесов на высоких уровнях поймы. Северная субфация охватывает здесь Вятку (выше Кирово-Чепецка), Чепец, Каму (выше Соликамска), и ей свойствен следующий тип эколого-генетического ряда: тальники (чернотал и краснотал) – темнохвойные пихтово-еловые леса – заболоченные (ультрагигрофильные) сероольховые, мирзинолиственноивовые, пушистоберезовые с участием ели леса. Это наименее нарушенная часть речных долин Волжского бассейна, в силу отдаленности северных территорий. Для южной субфации бореальных пойм (верхнее течение Ветлуги, Вятка от Малмыжа до Кирово-Чепецка, средняя Кама) характерно появление широколиственных лесов: на средних и верхних уровнях поймы – липо-дубняков; в пониженных местоположениях – черноольшаников (ольсов).

Верхнее течение Волги с низовьями ее северных притоков и Средняя Волга с системой притоков входят в климатическую фацию неморальных пойм. Здесь заключительной стадией развития растительности эколого-генетических рядов являются дубовые леса, а в притеррасных частях пойм преобладают черноольшаники. Естественный растительный покров этих долин сильно изменен деятельностью человека: пойменных лесов сохранилось очень мало, они замещены лугами и пахотными землями. Северная субфация неморальных долин включает пойму Волги выше г. Казани и низовья ее северных притоков (Кострома, Ветлуга, Кокшага, Вятка, Кама) с характерным для нее неполным* генетическим рядом развития лесной растительности: ивняки (белотальники, чернотальники и краснотальники) – дубняки – черноольшаники. Южная субфация охватывает среднее течение Волги, Оку (с притоками Москва, Мокша, Цна, Клязьма), Суру (с притоками Пьяна, Алатырь), Свиягу, Каму (ниже устья Белой). Здесь был развит полный эколого-генетический ряд: тальники – ветляники – осокорники – вязов-

* Отсутствуют ветляники и осокорники.

ники – дубняки – черноольшаники. Самая нижняя часть Волжской долины, именуемая Волго-Ахтубинской, попадает в климатическую фацию субаридных и аридных пойм. В северной субфации (Волго-Ахтуба до широты Каменного Яра) из эколого-генетического ряда развития лесной растительности выклинивается звено черноольховых лесов, так как условия притеррасного типа там не выражены. Для южной субфации (Волго-Ахтуба ниже Каменного Яра) свойствен следующий ряд пойменных растительных сообществ: белотальники – чернотальники – ветловые и осокоревые леса – пырейные, разнотравно-пырейные галофитные (засоленные) луга – осоковые и разнотравные заболоченные луга. Особняком стоят долины рек степного Заволжья, левых притоков Волги (Ик, Большой Черемшан, Самара с притоками Большой Кинель и Бузулук, Малый Иргиз, Большой Иргиз); левых притоков Белой (Ашкадар, Урман, Дема). Пойменная растительность этих рек находится больше под влиянием климата, чем аллювиально-поемных процессов, потому что реки здесь немногочисленны и поймы недостаточно дифференцированы. Их целесообразно выделить в особую восточную климатическую субфацию субаридных и аридных речных долин. Здесь характерен следующий природный эколого-генетический ряд развития растительности: бело- и черноталовые кустарниковые заросли – осокоревые и ветлово-осокоревые леса – вязово-дубовые и липово-дубовые леса в сочетании с луговыми разнотравно-типчачовыми степями – заболоченные пушистоберезово-черноольховые леса.

Такова естественная схема развития лесной растительности в поймах рек Волжского бассейна в плане сложившейся в голоцене эколого-географической дифференциации территории Восточно-Европейской равнины. А что мы имеем сегодня?

Вопреки выводам А.К. Денисова, крупного специалиста, занимавшегося преимущественно изучением пойменных дубрав Среднего и Верхнего Поволжья, об устойчивости дуба черешчатого на пойме [19], мы наблюдаем теперь массовое усыхание дубняков по всему Волжскому бассейну. Дело прежде всего в том, что дуб черешчатый в долинах рек представлен исключительно пойменным экотипом, который веками приспособивался к природному гидрорежиму. А резкое и скоротечное изменение гидрологических условий произошло за последние 3-4 десятилетия. В результате регулирующей роли водохранилищ объем стока в половодье уменьшился, а в межень увеличился [16]. К тому же, кроме задержки и отстоя воды в водохранилищах, с начала 50-х гг. прошлого столетия значительно возросло ее количество стало расходоваться на нужды промышленности и сельского хозяйства. В итоге со второй половины XX в. наблюдается общее прогрессирующее уменьшение количества воды в Волге [1, 21]; кроме того, существенно повысилась степень ее загрязнения промышленными и сельскохозяйственными отходами. Все это привело к резкому ухудшению лесорастительных условий в поймах рек Волжского бассейна. Сейчас долинны дубравы представлены в подавляющем большинстве низкоствольными (порослевыми) древостоями уже 3-4-й генерации. Благонадежное естественное семенное

возобновление дуба черешчатого теперь является крайне редким исключением. Кроме того, в результате завышенного возраста лесовосстановительных рубок в запретных полосах рек была нарушена возрастная структура низкоствольных пойменных дубняков. Это противоречит классической формулировке одного из основоположников отечественного лесоводства М.Е. Ткаченко [18] о том, что порослевая возобновительная способность дуба черешчатого резко снижается к 60 годам. Сейчас в долинах рек Волжского бассейна произрастают преимущественно спелые и перестойные древостои. Эти ослабленные из-за дисбаланса экологических условий поймы Волги и ее притоков долинны дубравы старше 60 лет подвергаются вспышкам массового размножения энтомофитов (дубовая листовёртка) и грибковым заболеваниям, что знаменует последнюю стадию их деградации и распада. В силу естественно-исторических (эволюционных) причин дубравы как условно-коренные (субклимаксовые) леса природного эколого-генетического ряда развития долинной лесной растительности бассейна р. Волги представляли более половины всей лесопокрытой площади здешних речных пойм. Но природный ряд развития уже коренным образом нарушен в силу сильнейших антропогенных изменений в Волжской долине. Поэтому пойменные дубравы уже не могут возобновиться повсеместно, где росли до зарегулирования стока. Открытая А.К. Денисовым способность дуба формировать придаточные корни при погребении песчаными и супесчаными аллювиально-пойменными отложениями [19] была связана с экологией незарегулированных пойм. При резко изменившихся лесорастительных условиях в связи с зарегулированием речного стока корни дуба больше не могут осваивать песчаные слои почв. Это подтверждают наши многочисленные раскопки корневых систем дуба на Волжской пойме, а также многолетние исследования лаборатории выращивания защитных насаждений в поймах рек ВНИАЛМИ [22–24]. Поэтому дуб черешчатый сейчас может успешно возобновляться только на хорошо дренированных глубоких дубравных почвах с мощностью плодородного супесчано-суглинистого слоя более 2 м.

Таким образом, наиболее ценные как в хозяйственном (экономическом), так и в экологическом отношении субклимаксовые (условно-коренные) твердолиственные (дубовые) леса находятся в настоящее время преимущественно на последних (IV и V) стадиях антропогенной дигрессии. Если не принять срочные меры по сохранению и восстановлению пойменных дубрав в самом ближайшем будущем, они могут полностью исчезнуть. Об этом свидетельствуют следующие показатели.

1. Нарушена возрастная структура: подавляющее большинство пойменных дубрав представлено спелыми и перестойными низкоствольными древостоями 3-4-й и более генерации.

2. В результате существенно снижены возможности естественного порослевого возобновления при практически полном отсутствии благонадежного семенного подрост дуба черешчатого пойменного экотипа. В итоге дубовые вырубki зарастают малоценными породами.

3. За последние десятилетия резко снизились средние таксационные показатели пойменных дубовых древостоев:

а) из высокополнотных насаждения перешли в категорию средне- и низкополнотных;

б) средний бонитет снизился на класс (с II,6 до зарегулирования стока Волги до III,6 в настоящее время);

в) растет процент суховершинности.

Подход к восстановлению пойменных дубняков должен быть строго экологически дифференцированным (учитывающим пестроту и мозаичность лесорастительных условий, сложившихся при зарегулированном речном стоке, когда успешное возобновление можно прогнозировать только на хорошо дренированных мощных дубравных почвах) и комбинированным (рационально сочетающим: а) систему рубок промежуточного и главного пользования в древостоях до 60-летнего возраста, создающую благоприятные условия для естественного порослевого возобновления; б) замену перестойных порослевых древостоев семенными).

Промежуточным звеном между серийными осокоревыми и ветловыми лесами, с одной стороны, и субклимаксовыми дубравами, с другой, по природному эколого-генетическому ряду развития выступали вязовые насаждения. Но в настоящее время в связи с резким изменением гидрологического режима поймы эта лесная формация практически полностью выклинилась из пойменных лесов. Подрост вяза всюду неблагонадежен и не может обеспечить формирование древостоев с преобладанием вяза. В лучшем случае наблюдается небольшая примесь вяза в качестве породы фрагментарного второго подъяруса в составе дубняков или в качестве угнетенной подлесочной породы.

Отсутствие вязовых и вязово-дубовых насаждений со значительным участием вяза заставляет серьезно задуматься над перспективой естественного развития пойменных лесов. Там, где по естественному генетическому ряду лесной растительности поймы должен быть вязовник ежевичный [6], в настоящее время развивается осокорник ежевичный.

Вяз усыхает во втором ярусе насаждений; естественная гологенетическая сукцессия, ведущая к формированию субклимаксовой формации пойменных дубняков, в условиях зарегулированного стока Волги не происходит. Поэтому естественное существование современных пойменных дубрав ограничивается продолжительностью жизни образующей их породы – пойменного экотипа дуба черешчатого. Естественным способом их возобновления является порослевое.

Вяз оказался породой, наименее устойчивой к сильным антропогенным изменениям, связанным с зарегулированием речного стока. Он заселяет преимущественно богатые супесчаные и легкосуглинистые, хорошо дренированные, свежие и влажные пойменные почвы с близким залеганием грунтовых вод [3, 4]. Падение уровней грунтовых вод резко ослабило естественные вязовые насаждения. А ведь вяз к тому же порода, повреждаемая многими вредителями и болезнями [4, 15]. Наиболее опасна голландская бо-

лезнь ильмовых. На совещании лесопатологов в г. Пушкино Московской области в 1966 г. она была названа болезнью № 2 (после корневой губки). В настоящее время ильмовые в ряде мест стоят на грани исчезновения [15]. Происходит массовая гибель вязовых насаждений в странах Западной Европы, Северной Америки и европейской части СНГ [4].

Таким образом, вопреки прогнозу А. Д. Фурсаева [12, с. 184], что после зарегулирования стока Волги «вязовые леса, располагающиеся в верхнем отрезке Волго-Ахтубы, в прирусловой пойме сохранятся, однако подвергнутся ксерофитизации», вязовники исчезли. Массовые вспышки голландской болезни ильмовых окончательно уничтожили ослабшие в результате ксерофитизации вязовые леса. Так обстоит сегодня дело с субклимаксальными звеньями естественного ряда развития лесной растительности Волжской поймы – вязовыми и дубовыми насаждениями.

С другой стороны, произошли сильнейшие, даже катастрофические, нарушения в начальном звене этого ряда – формировании и развитии пионерных группировок кустарниковых ив (тальников). Выдвигавшийся в монографии И.И. Левицкого [8] вопрос о создании тальникового хозяйства в Волжской пойме для обслуживания нужд местной промышленности и сельского хозяйства сейчас оказался совершенно неактуальным. Действительно, если раньше, до зарегулирования стока Волги, заросли тальников занимали до 20 % всей территории Волжской поймы [20], то при зарегулированном речном стоке их площадь катастрофически сократилась, зачастую остались лишь единичные кусты и небольшие куртины по берегам, уже не подлежащие сколько-нибудь значительному хозяйственному учету [9].

В чем же конкретная причина нынешней немногочисленности тальников по сравнению с недавним прошлым? Она, на наш взгляд, вполне очевидна – зимние пиковые сбросы плотинами ГЭС, особенно значительные в вечернее время суток, когда возрастает энергопотребление. В результате этих зимних паводков повреждается льдом древесно-кустарниковая растительность на низкой пойме до высоты 4-5 м [2, 6]. Гибнет она также из-за интенсивных глееобразовательных процессов в почвенном профиле [22–24]. Таким образом, количественно и качественно разрушается исходное природное звено естественного ряда развития лесной растительности поймы. Более того, видимо, зарегулирование речного стока нарушило и сам природный генезис рельефа (геоморфогенез) Волжской долины, который лежит в основе естественного эколого-генетического ряда развития пойменной растительности как гологенетической (геоморфогенной) сукцессии. По мнению Ю. П. Самборского [14, с. 23–34], «изменения рельефа поймы в связи с зарегулированием стока протекают очень медленно, материала по этому вопросу накоплено недостаточно, поэтому сейчас говорить о конкретных фактах еще не представляется возможным. Для получения данных об изменении рельефа поймы в связи с зарегулированием стока Волги требуются специальные наблюдения». Однако уже сейчас можно сказать, что зарегулирование стока ведет к затуханию аллювиального процесса (задержка вод плотинами ГЭС; меньшее содержание взвешенных частиц в воде, так как при

спуске идут более очищенные, более светлые, отстоявшиеся воды). На уменьшение мутности главных водных артерий Волжской поймы вследствие отстоя твердого стока в водохранилищах и связанное с этим некоторое уменьшение эродирующей силы основных русел мы находим указание у В.А. Брылева [2].

Таким образом, сейчас уже невозможно гарантировать, что после поселения пионерных группировок кустарниковых ив на молодом аллювии геоморфогенные (аллювиальные) смены лесной растительности будут протекать в той же последовательности и с такой же интенсивностью, как отмечается в обзорной монографии «Растительность европейской части СССР» [13].

Средние звенья природного эколого-генетического ряда развития лесной растительности (тополевые и ветловые леса) оказались более устойчивыми при изменившемся гидрологическом режиме [10], но они также деградируют на маломощных пойменных почвах и в пойме низкого уровня, подверженной губительному воздействию зимних паводков, сохраняя достаточную устойчивость только на хорошо дренированных мощных (глубоких) почвах.

Итак, сейчас наблюдается этап формирования нового ПТК долины р. Волги, практически представляющей собой систему проточных озер, созданную каскадом ГЭС. На смену природным звеньям эколого-генетического ряда развития лесной растительности поймы приходят породы с далеко не лучшими лесоводственно-хозяйственными свойствами. Это клен американский, ясень пенсильванский, аморфа кустарниковая; в пойме Нижней Волги на засоленных почвах начал распространяться лох узколистный; на Верхней Волге гораздо лучше дуба чувствуют себя липа и осина.

Лес никогда не занимал всей территории Волжской поймы вследствие излишней переувлажненности или дренированности ряда пойменных почв и нестабильности характеристик половодий. В пойменном ландшафте прирусловой зоны лесные гривы закономерно чередуются с луговыми межгриwnыми понижениями, центральная наиболее выровненная часть является луговой, в пониженной притеррасной зоне сочетаются низинные болота и заболоченные леса. С учетом того, что только тальники занимали до 20 % территории, естественную облесенность Волжской поймы в доагрикультурный период все же можно считать равной менее 30 %. Зарегулирование стока и связанное с ним общее ухудшение лесорастительных условий поймы повлекли резкое сокращение процента лесопригодных традиционно лесных почв. Однако на части почв, ранее сугубо луговых, сейчас можно провести лесовосстановление поймостойкими быстрорастущими породами (ивы, тополя).

Дело в том, что в режиме уровней грунтовых вод (УГВ) полностью отражается режим поверхностных вод. Подъем их весной несколько запаздывает по сравнению с последними; в летний период УГВ постепенно снижается ниже дна озер и стариц, сохраняя небольшой уклон в сторону Волги. Таким образом, питание грунтовых вод в межень происходит за счет ин-

фильтрации вод из замкнутых водоемов поймы, заполняющихся в паводки [5]. А поскольку при зарегулированном стоке расход воды в паводок на Волге уменьшился, то понизились в среднем и УГВ в пойме. Значит, некоторый ряд разностей луговых почв с избыточным ранее увлажнением, лимитирующим лесовосстановление, теперь при некотором снижении УГВ позволяет успешно выращивать лесные культуры. Продуктивность культур тополеЙ на хорошо дренированных мощных аллювиальных луговых почвах может достигать за 5 лет 57 м³/га [11]. Итак, при новом гидрологическом режиме лесовосстановление на ранее традиционно луговых почвах, которые теперь перешли в разряд лесопригодных, позволит частично компенсировать переход ряда ранее лесных почв (маломощные, засоленные) в разряд непригодных для лесоразведения при условии прочного удержания позиций леса всеми возможными мерами на хорошо дренированных мощных (глубоких) пойменных лесных почвах.

Выводы

1. Зарегулирование стока Волги повлекло за собой нарушение природного экологического баланса ее поймы.
2. Сейчас происходит сопряженная с обмелением и загрязнением Волги региональная деградация пойменных лесов и лугов Волжской долины.
3. Чтобы восстановить Волгу в полном объеме, идеален путь «назад к природе», который рекомендуют некоторые «ультразеленые», что означало бы ликвидацию всего каскада ГЭС и водохранилищ и прекращение всякой хозяйственной деятельности на ее водосборной площади. Такой крайний путь вряд ли экономически реален, тем более что ГЭС – дешевые и относительно чистые источники энергии. Реальным путем оздоровления экологической обстановки на Волге является интенсивное лесовосстановление в ее долине и поймах всех ее притоков на зонально-типологической (экологической) основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемова В.В., Сажин А.Н.* Современные изменения гидрологических условий Волго-Ахтубинской поймы // Природа и хозяйственная деятельность в Нижнем Поволжье. – Волгоград, 1986. – С. 46–53.
2. *Брылев В.А.* Опыт классификации антропогенных изменений природных условий некоторых районов Волго-Ахтубинской поймы // Антропогенные воздействия на природные комплексы и экосистемы. – Волгоград, 1976. – С. 3–7.
3. *Булыгин Н.Е.* Дендрология. – М.: Агропромиздат, 1985. – 280 с.
4. *Васильев Н.Г.* Ильм. – М.: Агропромиздат, 1986. – 88 с.
5. *Исупов Б.А.* Водно-физические свойства некоторых почв Волго-Ахтубинской поймы // Новости агролесомелиорации. – Волгоград, 1963. – Вып. 45. – С. 55–58.
6. *Карлин В.Р.* и др. Пойменные леса / В.Р. Карлин, Н.В. Трещевский, В.Г. Шаталов, И.В. Якимов. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 153 с.

7. *Киреев А.Ф.* Родная природа. – Волгоград: Нижне-Волжск. кн. изд-во, 1967. – 270 с.
8. *Левецкий И.И.* Ива и ее использование. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 98 с.
9. *Невидомов А.М.* Современное состояние тальниковых зарослей поймы Нижней Волги // Степные просторы. – 1990. – № 2. – С. 19–20.
10. *Невидомов А.М.* Генетическая классификация тополевых и ветловых лесов Волго-Ахтубинской поймы // Лесоведение. – 1993. – № 5. – С. 40–47.
11. *Олейников А.А.* Методы создания и продуктивность плантационных культур в Волго-Ахтубинской пойме // Бюл. ВНИАЛМИ. – 1986. – Вып. 2 (48). – С. 24–28.
12. Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской долины и дельты Волги. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 450 с.
13. Растительность европейской части СССР. – Л.: Наука, 1980. – 429 с.
14. *Самборский Ю.П.* К вопросу о генезисе рельефа Волго-Ахтубинской долины и его изменение под воздействием антропогенного фактора // Природные условия и ресурсы Нижнего Поволжья. – Волгоград, 1981. – С. 15–25.
15. *Синадский Ю.В.* Курс лекций по лесной фитопатологии. – М.: Изд-во МГУ, 1977. – 214 с.
16. Средняя Волга. Геоморфологический путеводитель. – Казань: Изд-во КазГУ, 1991. – 148 с.
17. Советский энциклопедический словарь. – 4-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1987. – 1600 с.
18. *Ткаченко М.Е.* Общее лесоводство. – М., Л.: Гослестехиздат, 1939. – 746 с.
19. *Файзуллина С.Я.* Памяти Александра Константиновича Денисова // Бот. журн. – 1993. – Т. 78, № 11. – С. 101–108.
20. *Фурсаев А.Д., Беляков Е.В.* Ивы поймы р. Волги в пределах Нижневолжского края и их значение как дубителей // Тр. по прикл. бот., генет. и селекц. – 1933. – Т. 10, № 1. – С. 27–45.
21. *Шеппель П.А.* Паводок и пойма. – Волгоград: Нижне-Волжск. кн. изд-во, 1986. – 240 с.
22. *Шульга В.Д.* Анализ новых лесорастительных условий пойм юго-востока ЕТС // Бюл. ВНИАЛМИ. – 1986. – Вып. 2(48). – С. 4–10.
23. *Шульга В.Д., Азовцев В.В., Максимов А.Н.* Лесорастительные условия пойм юго-востока ЕТС // Лесн. хоз-во. – 1987. – № 4. – С. 23–25.
24. *Шульга В.Д., Максимов А.Н.* О неэффективности традиционных лесовосстановительных мер в поймах юго-востока ЕТС // Бюл. ВНИАЛМИ. – 1988. – Вып. 1(53). – С. 59–62.

ФГУП «ЦНИЛХИ»

Поступила 20.09.02

A.M. Nevidomov

Ecology Problem of Flood Plain Forests in the Volga Basin as Important Constituent in Solving General Ecological Problem of the Volga

Integral ecological assessment of the state of flood plain forests in the Volga basin and their differentiation according to climate facies and subfacies have been carried out for the first time.

УДК 630* 423.4: 630* 176.322.2

А.Н. Жежкун

Жежкун Анатолий Николаевич родился в 1964 г., окончил в 1990 г. Брянский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и защиты леса Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 30 научных работ по вопросам лесовозобновления, динамики и формирования хвойно-широколиственных насаждений.



ПОВРЕЖДЕНИЕ БЕРЕЗОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НАВАЛАМИ СНЕГА

Приведены результаты изучения повреждения березовых насаждений навалами снега. Установлены виды, объем повреждений и отпад деревьев.

Ключевые слова: березовые насаждения, снеговал, снеголом, рубки ухода, отпад.

Г.Ф. Морозов указывал, что «... только обеспечивая устойчивость насаждений, мы в состоянии будем наиболее простым и удачным способом и ухаживать, и охранять, и возобновлять наши насаждения» [5, с. 469–470].

Значительные повреждения деревьям наносит снег, выпадающий и накапливающийся в кронах, особенно если не завершён вегетационный период. Выпадение снега в сентябре в средней полосе России наблюдалось в 1420, 1429, 1444, 1518, 1529, 1563, 1601, 1644, 1672, 1730, 1865, 1894 гг., обильный снегопад осенью 1644 г. вызвал массовый снеголом деревьев [1].

В научной литературе имеются сведения о повреждении деревьев снегом в сосняках [2, 3, 5, 8] и ельниках [4, 7]. Данных о повреждении деревьев березы нами не обнаружено.

Необычайно интенсивный снегопад в Брянской области произошёл ночью с 1 на 2 октября 1998 г. К тому времени у лиственных деревьев ещё не полностью пожелтели и опали листья. При опускании температуры ниже 0 °С наблюдалось повреждение деревьев снегом, который намерзал и накапливался в кронах.

Повреждения деревьев снегом мы изучали на постоянных пробных площадях (ППП) в Учебно-опытном лесхозе БГИТА. При обследовании 02.10.1998 г. установлено, что в наибольшей степени от снега пострадали березовые насаждения. Температура воздуха в течение суток изменялась от –2 до +1 °С, влажность воздуха 86 ... 100 %. ППП разделены через буферные полосы на секции (по 0,2–0,3 га), на отдельных из них проведены рубки для целевого формирования насаждений (табл. 1).

К снеголому относили излом ствола, слом верхинки, пасынка, боковых ветвей; к снеговалу – наклон верхинной части кроны, ствола до и более 20 ° от вертикального положения (в том числе дугообразный изгиб стволов), выпадение деревьев с корнями.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев на постоянных пробных площадях

Ярус	Состав	Преобладающая порода			Полнонога	Густота, шт./га	Запас, м ³ /га	Тип леса, ТЛУ
		Средний возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см				
Кв. 49, ППП 1, секция 1, интенсивность прочистки 37 % запаса, июль 1996 г.								
I	7Б2Е1Ол(ч), ед. Ив, С, Ос, Д, Лп	12	4,8	3,2	0,59	10170	16	Б. лип., С ₃
ППП 1, секция 2, интенсивность прочистки 78 % запаса, июль 1996 г.								
I	5ЕЗБ1С1Ив, ед. Ос, Д, Лп, Вз	15	2,8	2,9	0,40	11660	5	Е. лип., С ₃
Кв. 61, ППП 2, секция 1, интенсивность прореживания 23 % запаса, сентябрь 1998 г.								
I	7Б2Ол(ч)1Ос+Е, ед. Ив	22	14,0	10,0	0,75	1845	134	Б. лип.,
II	4Д3Лп2Вз1Е+Яс, ед. Кл, Пх	22	7,0	4,6	0,17	1590	8	С ₃
ППП 2, секция 3, интенсивность прореживания 14 % запаса, сентябрь 1998 г.								
I	9Б1Е ₅₅ , ед. Ос, Яс, Ив	22	14,8	10,8	0,83	2129	140	То же
II	5Лп2Вз2Е1Д+ Яс, Кл	22	5,6	3,2	0,19	2404	7	
ППП 2, секция 2 (контроль), сентябрь 1998 г.								
I	6Ол(ч)4Б+Ос, ед. Ив, Е ₅₅	22	18,0	15,8	0,98	1746	212	Ол.
II	4Вз3Лп1Е1Яс1Д, ед. Кл, Пх	22	8,0	6,0	0,21	1845	11	лип., С ₃
Кв. 73, ППП 3, сентябрь 2000 г.								
I	7Б2Д1Яс+Ив, ед. ВЗ, Ос	26	15,0	11,6	0,53	1359	70	Б. лещ.,
II	7Лп2Кл1Е	26	4,9	4,4	0,12	749	4	Д ₃
Кв. 34, ППП 4, секция 1 (контроль), октябрь 1995 г.								
I	7Б2Ос1Ив+Яс, ед. Е ₇₀	34	22,3	19,8	0,60	555	174	Б. лещ.,
II	7Лп2Кл1Вз+Д, ед. Е ₅₀	32	11,8	9,5	0,55	2105	98	Д ₂
	Лесные культуры 10Е	26	0,8	-	-	550	-	
Октябрь 2000 г.								
I	7Б2Ос1Ив+Яс, ед. Е ₇₀	39	23,0	23,6	0,68	465	187	То же
II	7Лп2Кл1Вз+Д, ед. Е ₅₀	37	12,6	10,5	0,56	1635	106	
	Лесные культуры 10Е	31	0,9	-	-	510	-	
ППП 4, секция 2, октябрь 1995 г.								
I	9Б1Ос+Ив, ед. Е ₇₀	34	22,1	19,5	0,50	476	146	»
II	5Кл3Лп1Вз1Д+Е ₅₀	32	15,1	10,4	0,51	1352	77	
	Лесные культуры 10Е	26	0,9	-	-	800	-	
Октябрь 2000 г.								
I	9Б1Ос, ед. Ив, Е ₇₀	39	22,7	22,1	0,56	408	163	»
II	5Кл3Лп1Вз1Е ₅₀ +Д	37	15,8	11,1	0,48	1316	84	
	Лесные культуры 10Е	31	1,5	1,5	0,10	900	-	
ППП 4, секция 4, октябрь 1995 г.								
I	9Б1Ив+Е ₇₀ , ед. Кл, Д	34	22,2	19,9	0,45	385	128	»
II	6Лп3Кл1Вз+Д, ед. Е ₅₀	32	15,1	13,9	0,25	625	61	
	Лесные культуры 10Е	26	1,1	-	0,05	1200	-	

Продолжение табл.1

	Преобладающая порода				Тип
--	----------------------	--	--	--	-----

Ярус	Состав	Средний возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Полнонога	Густота, шт./га	Запас, м ³ /га	леса, ТЛЮ
Август, 2000 г.								
I	9Б1Ив+Е ₇₀ , ед. Кл, Д	38	23,1	22,7	0,53	360	159	Б.лещ., D ₂
II	6Лп3Кл1Вз+Д, ед. Е ₅₀	36	16,6	12,2	0,36	655	83	
	Лесные культуры 10Е	31	2,5	2,0	0,20	1160	1	
Интенсивность прореживания 18 % запаса, октябрь 2000 г.								
I	10Б+Е ₇₀ , ед. Д	39	23,1	22,7	0,51	345	150	»
II	6Лп3Кл1Вз+Д, Е ₅₀	37	16,8	13,3	0,26	400	55	
	Лесные культуры 10Е	31	2,5	2,0	0,20	1150	1	
Кв.40, ППП 5, секция 1, ноябрь 1997 г.								
I	10Б, ед. Ос, Яс ₆₀ Д ₆₀	45	22,0	18,1	0,78	826	228	»
II	2Е2Яс ₄₅ 2Лп2Пх1Д ₄₅ 1Кл+Вз	45	13,0	11,9	0,47	1603	60	
ППП 5, секция 2, октябрь 1999 г.								
I	7Б2Ос1Яс ₆₀ +Е ₈₀ , ед. Д ₈₀ , Лп ₈₀	47	23,3	20,1	0,70	580	228	»
II	9Е1Кл+Яс ₄₅ , ед. Д ₄₅ , Вз, Лп ₄₅	47	13,5	13,8	0,66	1337	167	
Кв.35, ППП 6, секция 1, сентябрь 1996 г.								
I	9Б1Ос	60	30,1	25,1	0,84	536	361	Б. лип., С ₂
II	4Кл4Лп1Е ₆₀ 1Д+Вз, ед. С, Е ₃₀	60	9,7	11,6	0,53	944	74	
ППП 6, секция 3, сентябрь 1996 г.								
I	7Б3Ос	60	27,4	19,9	0,77	678	316	Б. лип., С ₃
II	4Д3Лп2Е ₆₀ 1Е ₃₀ +Кл, ед. Вз, Яс	60	9,8	9,9	0,33	1037	37	

На каждой ППП устанавливали число деревьев каждой породы по видам повреждений снегом, измеряли диаметр на 1,3 м и на высоте слома, высоту ствола и слома над поверхностью почвы, вычисляли объем стволов поврежденных деревьев. На трех секциях пробной площади 4 в 1995 г. было проведено картирование стволов и проекций крон и выделены фенологические формы деревьев березы бородавчатой по срокам распускания листьев (ранняя, промежуточная, поздняя).

В результате маршрутного обследования установлено, что березовые молодняки в возрасте до 5...7 лет (средняя высота до 5 м) почти не пострадали от снега. Деревья березы в этом возрасте имеют небольшие морфометрические параметры крон, гибкие стволы, тонкие ветви и мелкие сучья. На этапе индивидуального роста и в начальном периоде образования биогрупп формируется разновысотный, ажурный лесной полог, в котором уменьшаются площадь накопления снега и вероятность повреждения деревьев. В сосновых молодняках со средней высотой менее 4 м деревья также не подвергаются снеголому [8].

В процессе роста при увеличении высоты и сомкнутости молодняков в густых биогруппах деревьев накапливается снег и на кронах образуются снежные навалы. Листья увеличивают поверхность накопления снега.

В начальный период нагрузка от выпавшего снега распределяется между кронами в биогруппах деревьев, и они сохраняют устойчивость. В исследуемых березовых молодняках относительный диаметр (отношение диаметра деревьев на высоте груди к высоте в сантиметрах) составляет менее 0,01, что отмечено ранее для сосняков [3]. Деревья березы, произрастающие в густом стоянии, имеют протяженность живой кроны по стволу менее 1/2 высоты, что вызывает увеличение нагрузки от снега на их верхнюю часть, изгиб, наклон или слом ствола на разной высоте. В отдельных случаях при наклоне более 20 ° пригибаются растущие рядом деревья, образуя разрыв в пологе молодняка диаметром до 5 м.

Для уменьшения повреждения молодняков от снега М.Е. Ткаченко рекомендовал проводить их разреживание и «... создание форм леса с рыхлым пологом крон» [9, с. 86]. А.В. Давыдов, Б.И. Гаврилов, В.В. Гринченко для предотвращения снеговала и снеголома предлагали интенсивные разреживания насаждений с равномерным размещением деревьев по площади [7] и формированием смешанных насаждений [4, 8].

В 12-летнем березняке липняковом (кв. 49, ППП 1, секция 1) после прочистки 1996 г. на выращивание были оставлены в основном самые крупномерные деревья березы (независимо от их размещения по площади) и ели. После выпадения снега около 90 % деревьев березы имели повреждения, преимущественно наклон стволов более 20 ° (табл. 2). В наибольшей степени были повреждены и уничтожены крупномерные деревья березы (высотой более 5 м и диаметром свыше 3 см), а также имеющие пасынки, искривление стволов и утолщенные сучья. Снеголом у деревьев березы отмечен на высоте 2 ... 8 м по стволу, где имелись сучья или живые ветви.

На секции 2 формируется елово-широколиственное насаждение. После прочистки интенсивностью 78 % запаса средняя высота деревьев березы уменьшилась до 2,8 м, что предотвратило повреждение их снегом. Назначение в рубку крупномерных деревьев березы, осины, ивы, ольхи позволило снизить горизонтальную и вертикальную сомкнутость, повисить сквозистость полога молодняка и проникновение снега к почве. По наблюдениям 02.10.1998 г. в 10 ч 30 мин мощность снежного покрова на почве составляла около 150 мм. Повреждение деревьев ели и сосны на обеих секциях пробной площади не обнаружено.

В 22-летнем березняке липняковом (секция 1, ППП 2), после прореживания интенсивностью 23 % запаса, в результате снегопада 1 – 2.10.1998 г. вываливалось 32 шт./га деревьев березы (2,1 % по густоте и 2,8 % по запасу). Снеговал с обнажением корней обнаружен у особей диаметром 10 ... 16 см, наклон ствола более 20 ° – у деревьев диаметром 8 ... 12 см.

На секции 3, где рубка интенсивностью 14 % запаса по комбинированному методу была направлена на поэтапное выращивание древесины

Таблица 2

Повреждение деревьев березы навалами снега

№ ППП	№ секции	Число деревьев, шт./га (числитель) и их объем, м ³ /га (знаменатель) по видам повреждений										
		Снеголом					Итого	Вывал с корнем	Снеговал			Итого
		ствола	пасынка	вершины	боковых ветвей	Итого			ствола > 20°	ствола < 20°	вершины	
1	1	<u>512</u> 1,4	–	<u>20</u> 0,1	–	<u>532</u> 1,5	–	<u>1872</u> 5,6	<u>688</u> 2,8	–	<u>2560</u> 8,4	
2	1	–	–	–	–	–	<u>12</u> 1,2	<u>20</u> 1,2	–	–	<u>32</u> 2,4	
	2	<u>4</u> 0,1	<u>4</u> 1,7	<u>4</u> 0,9	–	<u>12</u> 2,7	<u>4</u> 0,7	<u>20</u> 1,1	–	–	<u>24</u> 1,8	
	3	<u>28</u> 4,5	<u>16</u> 4,1	<u>4</u> 0,7	–	<u>48</u> 9,3	–	<u>20</u> 0,9	<u>12</u> 0,6	–	<u>32</u> 1,5	
3	–	<u>10</u> 1,2	–	<u>10</u> 1,5	–	<u>20</u> 2,7	<u>16</u> 2,4	<u>39</u> 1,4	<u>6</u> 0,2	–	<u>61</u> 4,0	
4	1	<u>5</u> 1,3	–	<u>5</u> 3,9	<u>10</u> 9,1	<u>20</u> 14,3	–	<u>10</u> 2,7	–	–	<u>10</u> 2,7	
	2	<u>28</u> 6,6	<u>4</u> 2,2	<u>4</u> 2,2	–	<u>36</u> 11,0	<u>4</u> 1,3	<u>8</u> 0,4	–	–	<u>12</u> 1,7	
	4	<u>15</u> 5,7	–	<u>15</u> 9,8	<u>5</u> 4,3	<u>35</u> 19,8	–	<u>5</u> 0,9	–	<u>10</u> 7,8	<u>15</u> 8,7	
5	1	<u>3</u> 3,0	<u>3</u> 2,0	<u>9</u> 6,1	<u>3</u> 3,0	<u>18</u> 23,1	–	<u>3</u> 0,4	<u>3</u> 1,5	<u>3</u> 0,5	<u>9</u> 2,4	
6	1	<u>8</u> 6,4	–	–	–	<u>8</u> 6,4	–	–	–	–	–	
	3	<u>4</u> 0,2	<u>4</u> 3,6	<u>4</u> 3,1	<u>4</u> 2,5	<u>16</u> 9,4	<u>17</u> 7,0	<u>12</u> 3,9	–	–	<u>29</u> 10,9	

березы и ели, среди повреждений преобладает снеголом деревьев березы (86 %). После рубки с равномерным оставлением 1894 деревьев березы на 1 га (на 356 больше, чем на секции 1, и на 865 по сравнению с контролем) повреждено 80 шт./га деревьев всех классов Крафта (4,2 % по густоте и 8,5 % по запасу), что превышает показатели контроля (см. табл. 2). Слом пасынка и вершин наблюдался у деревьев I–II классов Крафта на высоте 6 ... 15 м. Диаметр стволов на месте слома 4 ... 12 см. Во втором ярусе повреждено снеголомом 48 шт./га деревьев липы и 28 – клена.

На ППП в 26-летнем березняке лещиновом (кв. 73), пройденном прочисткой в 1994 г. для выращивания елово-широколиственного насаждения, повреждено от снега 81 шт./га деревьев березы (10,3 % по густоте и 20,1 % по запасу). Преобладающим видом повреждений являются наклон ствола более 20 ° и выпадение с корнями деревьев диаметром 4 ... 18 см. В насаждении повреждены навалами снега 32 шт./га (0,9 м³/га) деревьев дуба (преобладает наклон ствола более 20 °), ивы (13 шт./га) и липы (3 шт./га).

На ППП в кв. 34 в 37-летнем березняке лещиновом с различными вариантами прореживания в 1990 г. обнаружены неоднозначные последствия повреждения деревьев снегом. На секции 2 (интенсивность рубки 25 % запаса) с целевым выращиванием березы на фанерный кряж повреждено 48 шт./га (7,8 %) деревьев березы, преобладает слом стволов и наклон более 20 °. После прореживания интенсивностью 33 % запаса на секции 4 с поэтапным выращиванием березы и ели повреждено от снега 50 шт./га (13,9 %) деревьев березы, в основном (30 %) – слом вершины.

На контрольной секции 1 от снега пострадало 10 % деревьев березы, преобладает наклон стволов более 20 ° и излом боковых ветвей. Во втором ярусе повреждено 190 шт./га деревьев липы, 75 шт./га – клена, в основном наклон стволов более 20 °.

Подобная тенденция наблюдается и в 45-летнем березняке лещиновом (кв. 40, ППП 5, секция 1). Здесь обнаружено 8 шт./га (3,4 %) деревьев березы, имеющих запас 25,5 м³/га (11,6 %) и пострадавших преимущественно от снеголома.

В 60-летнем березняке липняковом свежем со вторым ярусом ели (ППП 6, секция 1) учтено 8 шт./га (6,4 м³/га) снеголомных деревьев березы (1,8 % по густоте и 2,1 % по запасу). На смежном участке в березняке липняковом влажном (ППП 6, секция 3) возрастает число тонкомерных (10 ... 14 см) и среднемерных (16 ... 24 см) деревьев березы с наклоном стволов более 20 ° и выпавших с корнями. Общее число поврежденных от снега деревьев березы 45 шт./га (8,1 %), их запас 20,3 м³/га (9,3 %).

Из анализа объектов следует, что в средневозрастных и приспевающих березняках лещиновых, липняковых свежих преобладает снеголом деревьев; в березняках липняковых влажных с повышением влажности почвы возрастает вероятность снеговала.

На ППП кв. 34, 40, 61, 73 при преобладании эпизодических ветровых потоков северного направления сломанные части стволов и кроны наклоненных деревьев березы ориентированы в южную сторону. Исключения составляют деревья с асимметричной (однобокой) формой горизонтальной проекции кроны, у которых наклон деревьев и нахождение сломанных частей ориентированы к центру «окна», что отмечено ранее А.В. Давыдовым [4].

Для определения степени влияния снега на повреждение деревьев березы на ППП 4 рассчитывали коэффициент асимметричности горизонтальной проекции крон деревьев (K_{as}). Значения K_{as} определяли по соотношению расстояния максимального удаления проекции кроны от центра ствола к ширине кроны, измеренной в перпендикулярном направлении.

Форму проекции кроны дерева относили к условно симметричной при $K_{as} = 0,5 \dots 0,75$ и расстоянию от центра ствола до линии границы проекции не менее половины расстояния максимального удаления кроны. В других случаях, а также при $K_{as} = 0,76 \dots 1,00$ проекцию кроны относили к асимметричной, при $K_{as} > 1,01$ – к абсолютно асимметричной.

Таблица 3

**Повреждения деревьев березы навалами снега
с учетом формы проекции кроны**

Показатели	Численность деревьев, шт./га (%), с формой проекции кроны		
	условно симметричной	асимметричной	абсолютно асимметричной
Общее количество деревьев	155(44,3)	130(37,1)	65(18,6)
Из них:			
поврежденных снегом:			
Снеголом	35(22,6)	15(11,5)	–
Снеговал	25(71,4)	10(66,7)	–
погибших	10(28,6)	5(33,3)	–
	5(14,3)	15(100,0)	–

В 37-летнем березняке лещиновом (ППП 4, секция 4) преобладают по численности (55,7 %) деревья с асимметричными формами проекции крон (табл. 3), которые произрастают предпочтительно группами по 2...5 экземпляров. В процессе ценологических отношений с произрастающими рядом деревьями основная часть кроны распространяется в сторону «окон» в пологе. Навалы снега распределяются на деревьях, имеющих асимметричную форму проекции кроны, неравномерно, что вызывает направление действия силы тяжести в сторону наибольшего распространения ветвей. Такая нагрузка нарушает равновесие, но деревья сохраняют резистентность в колебательном режиме до того момента, пока не происходит излом или дугообразный изгиб ствола и корневая система не вываливается из почвы. Поэтому деревья с асимметричной формой проекции кроны, подверженные таким нагрузкам, повреждены навалами снега до состояния отмирания (излом ствола ниже кроны, наклон более 20 °).

Деревья березы с абсолютно асимметричной формой проекции кроны произрастали в основном в подчиненном пологе (IV класс Крафта). На момент выпадения снега часть листьев опала, что привело к снижению снегонакопления и не вызвало значительных повреждений деревьев. Кроны одиночно произраставших деревьев были подвержены обдуванию снега ветром, поэтому почти не повреждались снежными навалами.

Деревья с условно симметричной формой проекции меньше повреждались снегом (обламывание вершины, боковых ветвей, наклон до 20 ° от вертикали) и полностью сохранили жизнеспособность спустя 2 года после повреждения снегом. В наибольшей степени пострадали деревья березы поздней формы (56 ... 67 % поврежденных особей).

В результате повторных пересчетов на пробных площадях в 1999–2000 гг. установлено, что часть деревьев, поврежденных навалами снега, переходит в отпад. На участке в кв. 49 (ППП 1, секция 1) погибло 416 шт./га деревьев березы с изломом ствола (81 % от числа деревьев с данным видом повреждений), 1308 шт./га (70 %) деревьев с наклоном ствола более 20 °, а также 8 шт./га (1 %) деревьев с наклоном менее 20 °. Отпад составляет около 50 % по густоте и запасу молодняка.

В средневозрастных и старших березняках в отпад перешли все деревья с изломом ствола, выпадением с корневой системой и наклоном свыше 20°. В 21–40-летних березняках липняковых и лещиновых отпад по числу стволов составил 50 ... 100 %, по запасу – 15 ... 100 % (2 ... 10 м³/га) поврежденных снегом деревьев или 2 ... 11 % по густоте и 2 ... 15 % по запасу наличных деревьев березы. В 45-летнем березняке лещиновом в отпад включены 85 % поврежденных снегом деревьев (13 м³/га), что составляет 5,8 % от запаса деревьев березы в насаждении. В 60-летнем березняке липняковом отпад составил 6 ... 15 м³/га (82 ... 100 % поврежденных снегом деревьев), что не превышает 7 % по густоте и запасу березового элемента леса.

Для предотвращения последствий навалов снега, при целевом формировании березово-еловых насаждений с поэтапным выращиванием древесины, в молодняках предложены разреживания интенсивностью 15 ... 20 % запаса I яруса и снижение его полноты (сомкнутости) до 0,8 [6]. В средневозрастных березняках интенсивность прореживаний и проходной рубки увеличивается до 25 ... 40 % запаса с оставлением на выращивание деревьев березы I, II, III классов Крафта преимущественно с условно симметричной формой проекции кроны и равномерным размещением по площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисенков Е.П., Пасецкий В.М.* Тысячелетняя летопись необычных явлений природы. – М.: Мысль, 1988. – 522 с.
2. *Гаврилов Б.И.* Об устойчивости сосновых насаждений против снеголома и ожеледи // Лесн. журн. – 1969. – № 2. – С. 33–35. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Гринченко В.В.* Снеголом в сосновых культурах, пройденных рубками ухода по линейной технологии // Лесн. хоз-во. – 1984. – № 3. – С. 29–32.
4. *Давыдов А.В.* О снеговале и снеголоме в ельниках. Повреждение леса снегом и меры борьбы против вредного действия снежных навалов. – Л.: Кубуч, 1932. – 50 с.
5. *Морозов Г.Ф.* Избранные труды. Т. 1. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 559 с.
6. Руководство по рубкам ухода в березовых насаждениях со вторым ярусом и подростом ели для поэтапного выращивания древесины / Сост. А.Н. Жежкун. – Брянск, 1999. – 20 с.
7. *Рыжило Л.Е.* Повреждение ельников Карпат навалом снега // Лесоводство и агролесомелиорация. – 1972. – Вып. 31. – С. 72–77.
8. *Староверов Ю.В., Попов П.П.* Повреждение культур сосны снеголомом // Лесн. хоз-во. – 1983. – № 11. – С. 33–35.
9. *Ткаченко М.Е.* Общее лесоводство: Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 599 с.

Брянская государственная
инженерно-технологическая академия
Поступила 08.04.02

A.N. Zhezhkun

Damage of Birch Stands by Snow Bulks

Study results of birch stands damage produced by snow bulks are provided. Types, damage volume and trees' attrition are assessed.



УДК 630*33

М.М. Овчинников, Д.М. Шварц

Овчинников Михаил Михайлович родился в 1930 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водного транспорта леса и гидравлики С.-Петербургской лесотехнической академии, академик РАЕН. Имеет более 80 печатных работ в области совершенствования технологии водного транспорта леса, разработки перспективных экологически безопасных технологических схем водного транспорта леса на базе лесотранспортных и гидротехнических модулей, гидродинамики плотового лесосплава, расчета лесосплавных гидротехнических сооружений.



Шварц Дамир Михайлович родился в 1931 г., окончил в 1956 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры водного транспорта леса и гидравлики С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 100 печатных трудов по вопросам совершенствования технологии и оборудования водного транспорта леса.



О ПРОЧНОСТИ ЛЕСОСПЛАВНЫХ ПУЧКОВ

На основе аналитического исследования получены зависимости для определения прочности лесосплавных пучков с различными коэффициентами формы. Приведен метод, позволяющий сравнивать прочность пучков с обвязками из различных материалов.

Ключевые слова: пучок, обвязки, напряжение, прочность.

При транспортировке плотов пучки подвергаются воздействию сил волн и ветра, сил удара о соседние пучки и другие возможные препятствия. Под действием этих сил возникают два вида разрушений: выход бревен из пучка, влекущий его размолвку без разрыва обвязок, и разрушение пучка в результате разрыва обвязок.

Соппротивление выходу бревен из пучка зависит от сил трения между отдельными бревнами, а также между бревнами и обвязками. Разрыв обвязок предотвращают, обеспечивая их необходимую прочность.

Интенсивность взаимного давления бревен в пучке находят по формуле

$$F = P/R, \quad (1)$$

где F – удельная сила давления обвязки на пучок, кН/м;

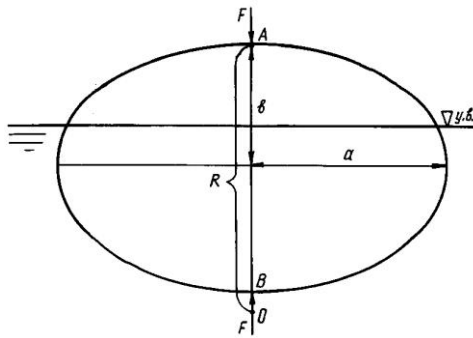
P – натяжение обвязки, кН;

R – радиус кривизны контура обвязки, м.

Допустим, что обвязки абсолютно гибкие. Кроме того, вес обвязки мал по сравнению с весом пучка, и его можно не учитывать. Пренебрегая также силами трения между обвязками и пучком [1], получаем, что сила F направлена по нормали в сторону вогнутости обвязки, а натяжение во всех ее точках одинаково.

Многочисленные исследования плавающего пучка показывают, что форма его поперечного сечения ближе всего к эллиптической. Численное значение R зависит от формы поперечного сечения пучка, которая характеризуется отношением его полуосей, называемым коэффициентом сжатия пучка $c = a/b$, где a и b – большая и малая полуоси эллипса.

Очевидно, что максимальные значения R имеют место в точках A и B (см. рисунок). Здесь силы F наименьшие и вероятность выхода бревен из пучка наибольшая. Поэтому силу F в остальных точках контура эллипса не рассматриваем. На рисунке радиус кривизны в точке A обозначим отрезком OA .



Для эллипса, согласно [1], значение R в точках A и B находим по формулам

$$R = a^2/b, \text{ или } R = ca. \quad (2)$$

Для определения силы натяжения в обвязке пучка существуют формулы различных авторов. Все они приводятся к виду

$$P = KQ, \quad (3)$$

где Q – вес пучка, кН;

K – коэффициент пропорциональности.

Для определения K воспользуемся формулой В.А. Щербакова [2]:

$$K = 0,19 \frac{\gamma_a - \gamma_{\bar{a}}}{\gamma_a c} \left(\frac{1}{3} + \frac{\gamma_{\bar{a}}}{3\gamma_a} \right),$$

где γ_v – плотность воды, кг/м³;

γ_d – плотность древесины, кг/м³.

После преобразования получим

$$K = \frac{0,0633(1 - \gamma_0^2)}{c}, \quad (4)$$

где γ_0 – соотношение плотности древесины и воды, $\gamma_0 = \gamma_d / \gamma_v$.

Сила давления обвязки на бревно пучка в точках A и B равна:

$$F = \frac{KQ}{ca}, \quad (5)$$

где $Q = fl\rho\gamma_d$;

f – геометрическая площадь поперечного сечения пучка, м²,

$$f = \frac{W}{l\rho} = \pi \frac{a^2}{c}; \quad (6)$$

l – длина бревен в пучке, м;

ρ – коэффициент полндревесности пучка;

W – объем пучка в плотной массе, м³.

Выразим a из формулы (6):

$$a = \sqrt{\frac{fc}{\pi}}. \quad (7)$$

Подставляя сюда K и a из формул (4) и (5), получаем

$$F = \frac{0,063(1 - \gamma_0^2)Q}{c^{2,5} \sqrt{\frac{f}{\pi}}}. \quad (8)$$

При определении величины F в формулу (8) подставляют значение коэффициента формы c для плавающих пучков, который существенно влияет на силу давления обвязки на пучок в точках A и B и, следовательно, на прочность пучка.

Пример. Значения удельной силы давления двух обвязок на пучок в точках A и B при различных c , $\gamma_0 = 0,7$, $Q = 210$ кН, $\rho = 0,74$, $l = 6,0$ м следующие:

c ,	F , кН/м	c ,	F , кН/м
1,0	4,59	2,5	0,41
1,5	1,67	3,0	0,29
2,0	0,81		

Учитывая коэффициенты трения бревен различных пород друг о друга и об обвязку, можно определить их сопротивление выходу из пучка.

Силу F можно также считать критерием прочности пучков при сравнении различных способов их сплотки и обвязки.

Рассмотрим зависимость коэффициента полндревесности пучка от коэффициентов его формы. Принимаем обвязку нерастяжимой (проволока) и плотно прижатой к пучку.

Поперечное сечение пучка в плотной массе

$$f_{пл} = \pi b^2 c\rho. \quad (9)$$

Выразим b^2 через периметр пучка Z :

$$b^2 = \frac{Z^2}{\pi^2 (c+1)^2},$$

где Z – длина обвязки, принятая равной периметру пучка, м.

Подставив b^2 в формулу (9), получим зависимость для определения полндревесности пучка:

$$\rho = \frac{f_{\text{ie}} \pi (1+c)^2}{Z^2 c}. \quad (10)$$

Для нахождения конечного значения коэффициента формы плавающего пучка с упругими обвязками необходимо знать начальное Z_1 (в сплottedном устройстве) и конечное Z_2 (в пункте приплава) значения длин обвязок.

Величину Z определяют при начальных значениях c и ρ (пучок в сплottedном устройстве). В расчетах принимаем $c_1 = 1,1$; $\rho_1 = 0,7$, что подтверждается многочисленными замерами этих величин в натуральных условиях на сплottedных машинах ЛР-21 и ЛР-22.

Из (10) длина обвязки пучка

$$Z = \sqrt{\frac{f_{\text{ie}} \pi}{\rho_1 c_1}}. \quad (11)$$

Для упругих обвязок следует найти необходимую величину их укорочения при уплотнении и изменении формы пучка в процессе вывода его из сплottedного устройства. Необходимое укорочение длины обвязки на пучке можно обеспечить ее предварительным натяжением.

Укорочение обвязки выражаем через коэффициент уменьшения периметра пучка λ :

$$\lambda = \frac{Z_2}{Z_1}, \quad (12)$$

где Z_1, Z_2 – длина упругой обвязки после уплотнения пучка соответственно в сплottedном устройстве и после вывода из него, м.

По нашим опытным данным, максимальное уплотнение бревен в пучке может достигать 5,7 %, при этом $\lambda = 0,972$, что соответствует [2]. При укорочении упругих обвязок ширина пучка остается неизменной, а уплотнение происходит за счет уменьшения высоты пучка. В идеальном случае при $c = \text{const}$ ширина пучка должна бы уменьшаться, однако поскольку силы отпора бревен в пучке на порядок больше его распора, то достигнуть этого за счет упругости обвязок практически невозможно.

Необходимое удлинение обвязки при ее предварительном натяжении

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2,$$

тогда, с учетом (12),

$$\Delta Z = Z_1(1 - \lambda).$$

Заменив в формуле (12) Z_1 и Z_2 их значением $Z = \pi a \left(\frac{1}{c} + 1 \right)$ и допуская, что ширина пучка и соответственно величина a не изменяется, после несложных преобразований получим выражение для определения коэффициента формы свободно плавающего пучка:

$$c_2 = \frac{1}{\lambda \left(1 + \frac{1}{c_1} \right) - 1}. \quad (13)$$

Определяя значение c_2 по формуле (13) и подставляя его в формулу (8), можно рассчитать силу давления обвязки на пучок в точках A и B при использовании упругого обвязочного материала, например резинотканевой ленты.

Рассмотрим пучок с теми же параметрами, что и в предыдущем примере, в случае использования обвязки из проволоки и резинотканевой ленты. Для пучка, обвязанного проволокой, ее периметр, согласно формуле (11), равен 9,48 м, а коэффициент формы c_2 плавающего пучка, вычисленный по формуле (10), – 1,62. Удельная сила давления обвязок на пучок в точках A и B составит 1,38 кН/м.

Для пучка с обвязками из резинотканевой ленты коэффициент формы c_2 , вычисленный по формуле (14), равен 1,17. Необходимое предварительное натяжение $\Delta Z = 0,265$ м. Удельная сила давления обвязок на пучок в точках A и B равна 3,10 кН/м.

Как видно, из двух с одинаковыми начальными параметрами пучков обвязанный резинотканевой лентой будет сопротивляться размолеванию в 2,25 раза сильнее, чем при использовании проволоки.

Выводы

1. Формула (8) устанавливает количественную зависимость давления обвязок на плавающий пучок и дает возможность оценить прочность пучка в зависимости от коэффициента его формы.

2. Представленные зависимости позволяют проводить сравнительный анализ прочности пучков с обвязками из различных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркин Д.Р. К вопросу определения натяжения в обвязке и формы пучка // Науч. тр. / ЛТА. – Л., 1961. – № 96.
2. Щербаков В.А. Лесосплавные рейды. – М.: Лесн. пром-сть, 1979.

С.-Петербургская лесотехническая академия

Поступила 10.04.02

M.M. Ovchinnikov, D.M. Shvarts

On Strength of Wood Floating Bundles

Dependencies for determining strength of wood floating bundles with different form coefficients have been derived based on the analytical research. A method is provided allowing to compare the bundles' strength with binders of different materials.

УДК 630*378:539.3

А.С. Миляев

Миляев Александр Сергеевич родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Ленинградское высшее военное инженерно-техническое училище Военно-Морского Флота, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительной механики С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 50 научных работ в области механики деформируемого твердого тела, механики силового взаимодействия конструкций и сооружений с грунтом при статических и динамических нагрузках.



НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕРЕГОВОГО ОТКОСА, НАГРУЖЕННОГО РЕАКЦИЕЙ АНКЕРНОЙ ОПОРЫ

Предложены математическая модель и алгоритм расчета дополнительного поля напряжений в грунте откоса, вызванного усилиями, передаваемыми тросами от наплавных сооружений к жестким анкерным балкам, заглубленным в откос параллельно руслу реки. Приведен пример расчета формы и размеров зоны возможного разрушения грунта откоса под действием сосредоточенной силы.

Ключевые слова: поле напряжений, массив грунта, анкерные балки, наплавные сооружения, конформные отображения.

В качестве анкеров береговых опор речных наплавных сооружений могут быть использованы балки, заглубленные в откос параллельно руслу реки. В первом приближении можно принять, что анкерные балки достаточно жесткие и не деформируются под действием реактивных напряжений в грунте. Береговые откосы, как правило, образованы плотными песчаными, крупнообломочными и (или) глинистыми грунтами, деформирование которых при умеренных нагрузках удовлетворительно моделируется линейно-упругой средой вплоть до перехода в предельное состояние.

На рис. 1 показан контур поперечного сечения (профиль) русла реки, включающий склон к речной долине ab (верхний склон), обрыв bc ,

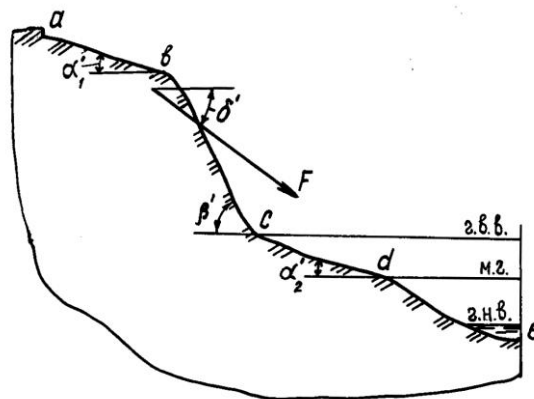


Рис. 1. Профиль коренного берега реки

бичевник cd (нижний склон) и речное дно de [7]. Такой контур можно аппроксимировать отрезками прямых и кривыми линиями. Обозначены также: α'_1, α'_2 – углы наклона верхнего и нижнего склона к горизонту; β' – угол наклона обрыва к горизонту; \vec{F} – вектор усилий, приходящийся на 1 м длины анкерной балки; δ' – угол наклона вектора усилий к горизонту; г. в. в. – горизонт высоких вод; м. г. – меженный горизонт; г. н. в. – горизонт низких вод. Для левого берега русла р. Красивая Меча углы наклона верхнего и нижнего склонов, а также обрыва имеют значения: $\alpha'_1 \approx \alpha'_2 = 9^\circ$, $\beta' = 34^\circ$ [7].

Усилия, передаваемые тросами от наплавных сооружений к анкерным балкам, должны быть восприняты откосом и уравновешены напряжениями, возникающими при его деформации. До приложения к откосу вектора усилий \vec{F} он находится в состоянии устойчивого равновесия; дополнительное поле напряжений в грунте, вызванное силами \vec{F} , при правильном проектировании анкерной опоры не должно нарушать этого равновесия.

В статье предлагается математическая модель и алгоритм расчета дополнительного поля напряжений в грунте откоса, вызванного усилиями, передаваемыми стальными канатами от наплавных сооружений к жестким анкерным балкам, заглубленным в откос параллельно руслу реки.

Математическая формулировка задачи. Известно, что при действии на твердое деформируемое тело сосредоточенной силы поле напряжений локализуется в окрестности точки приложения этой силы. Поэтому если точка приложения силы \vec{F} находится в верхней части профиля откоса, как показано на рис. 1, то дно реки можно не рассматривать. Повернув профиль откоса против часовой стрелки на угол $\alpha'_1 \approx \alpha'_2$ так, чтобы верхний и нижний склоны стали горизонтальными, приходим к расчетной схеме, представленной на рис. 2, в которой угол наклона обрыва к оси абсцисс равен $\beta = \beta' - \alpha'_1$, угол наклона вектора усилий \vec{F} – $\delta = \delta' - \alpha'_1$. Учитывая принятое допущение относительно модели деформирования грунта откоса линейно-упругой средой вплоть до перехода в предельное состояние, приводим поставленную задачу к задаче о плоской деформации упругой полуплоскости с уступом, в произвольной внутренней точке которой приложена сосредоточенная сила.

На полуплоскость с уступом высотой h , имеющим угол наклона $\beta = \pi c$ ($c = p/q$, p, q – целые числа, $p < q$), в точке $z_0 = x_0 + iy_0$ действует сосредоточенная сила $\vec{F} = F_x + iF_y$ (i – мнимая

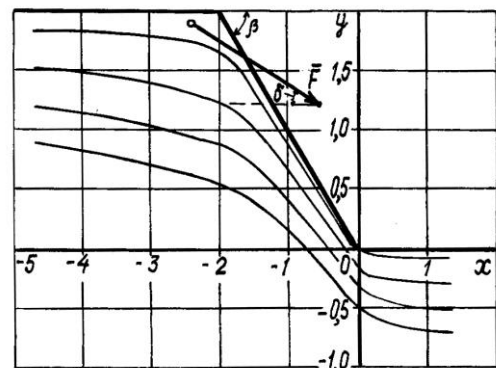


Рис. 2. Расчетная схема

единица), как показано на рис. 2. Наружные грани полуплоскости с уступом свободны от нагрузок. Материал полуплоскости характеризуют модулем Юнга E и коэффициентом Пуассона ν . Требуется найти распределение напряжений в полуплоскости с уступом.

Решение этой задачи, очевидно, будет справедливым и при действии на упругое полупространство с террасой нагрузки \vec{F} , равномерно распределенной вдоль прямой, перпендикулярной к плоскости xOy .

Учитывая приведенные выше числовые значения углов α'_1 и β' , для типичного угла наклона уступа получаем $\beta = 25^\circ$. Полагая, что углы β могут изменяться от 10° до 60° , для числовых значений p и q получаем: $p = 1$; $q = 3, 4, \dots, 18$.

Заметим, что на рис. 2 изображено зеркальное отражение верхней полуплоскости с уступом относительно оси x , поскольку в приводимом ниже решении используем конформное отображение $z = \omega(\zeta)$ верхней полуплоскости с уступом на верхнюю полуплоскость ζ . Кроме границы уступа (сплошные жирные линии в плоскости xOy), на рис. 2 показаны несколько координатных линий $\eta = \text{const}$ (сплошные тонкие линии) криволинейной системы координат.

Метод решения. Задача имеет точное аналитическое решение, которое можно построить с помощью интегралов Коши [6].

Конформно отобразим область z уступа на полуплоскость ζ посредством функции $\omega(\zeta)$:

$$\omega(\zeta) = \frac{h}{\pi} \left[\frac{s^p}{c(1-s^q)} + \sum_{n=0}^{q-1} t_n^{p-q} \ln \left(1 - \frac{s}{t_n} \right) \right], \quad (1)$$

где s – функция, отображающая угловую область на полуплоскость,
 $s = (1 - \zeta^{-1})^{1/q}$, $\zeta > 0$;

t_n – корни n -й степени из единицы,

$$t_n = \exp(2n\pi i/q), \quad n = 0, 1, 2, \dots, q-1.$$

Функция (1) впервые была получена с помощью формулы Кристоффеля – Шварца для прямолинейных многоугольников в работе [3], однако в выражение этой функции вкралась неточность. Позднее, на базе работы [3], функция (1) была построена заново [4], и неточность устранена.

Отображение (1) можно рассматривать как введение на плоскости z криволинейной системы координат $\xi = \xi(x, y)$, $\eta = \eta(x, y)$:

$$z = x + iy; \quad \zeta = \xi + i\eta; \quad \zeta = \Omega(z); \quad \xi = \text{Re}\Omega(z); \quad \eta = \text{Im}\Omega(z),$$

где $\Omega(z)$ – функция, обратная $\omega(\zeta)$.

Аналитическое выражение для $\Omega(z)$ в элементарных функциях найти не удастся, поэтому для числовых расчетов необходимо представить функцию $\Omega(z)$ в табличной форме.

В целом задачу можно считать решенной, если будут найдены два

комплексных потенциала $\Phi(\zeta)$, $\Psi(\zeta)$, удовлетворяющие граничному условию на свободной поверхности уступа при $\eta = 0$.

В плоскости ζ точке z_0 приложения силы \bar{F} соответствует $\zeta_0 = \Omega(z_0)$, а самой силе – выражение [6]

$$P_\zeta = F_\xi + iF_\eta = \frac{\overline{\omega'(\zeta)}}{|\omega'(\zeta)|} (F_x + iF_y). \quad (2)$$

Далее индекс ζ в обозначении силы P опускаем.

Решение сформулированной задачи имеет вид [5]

$$\Phi(\zeta) = - \left(\frac{k}{\omega(\zeta) - \bar{z}_0} + \frac{1}{\omega(\zeta) - z_0} \right) P + \frac{z_0 - \bar{z}_0}{(\omega(\zeta) - \bar{z}_0)^2} \bar{P}; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Psi(\zeta) = & -\bar{z}_0 \left[\frac{k}{(\omega(\zeta) - \bar{z}_0)^2} + \frac{1}{(\omega(\zeta) - z_0)^2} \right] P + \\ & + \left[\frac{k}{\omega(\zeta) - z_0} + \left(\frac{\omega(\zeta) - z_0}{(\omega(\zeta) - \bar{z}_0)^2} + \frac{2(z_0 - \bar{z}_0)\omega(\zeta)}{(\omega(\zeta) - \bar{z}_0)^3} \right) \right] \bar{P}, \end{aligned} \quad (4)$$

где параметр $k = 3 - 4\nu$.

Нормальные σ_ξ , σ_η и касательное $\tau_{\xi\eta}$ напряжения в криволинейной системе координат (ξ, η) находят по формулам Колосова – Мусхелишвили

$$\sigma_\xi + \sigma_\eta = 2[\Phi(\zeta) + \overline{\Phi'(\zeta)}]; \quad (5)$$

$$\sigma_\eta - \sigma_\xi + 2i\tau_{\xi\eta} = \frac{2}{\omega'(\zeta)} \left[\overline{\omega(\zeta)} \overline{\Phi'(\zeta)} + \omega'(\zeta) \overline{\Psi(\zeta)} \right], \quad (6)$$

где верхние штрихи справа от символа означают дифференцирование по аргументу, а тонкая черта над символом – комплексно-сопряженную функцию.

Распределение напряжений. Введем вспомогательные функции:

$$A(\zeta) = \Phi(\zeta) + \overline{\Phi(\zeta)}; \quad B(\zeta) = \frac{1}{\omega'(\zeta)} \left[\overline{\omega(\zeta)} \overline{\Phi'(\zeta)} + \omega'(\zeta) \overline{\Psi(\zeta)} \right]. \quad (7)$$

Напряженное состояние уступа выражают через эти функции:

$$\sigma_\xi = \operatorname{Re}[A(\zeta) - B(\zeta)]; \quad \sigma_\eta = \operatorname{Re}[A(\zeta) + B(\zeta)]; \quad \tau_{\xi\eta} = \operatorname{Im}B(\zeta). \quad (8)$$

Используя формулы Колосова – Мусхелишвили, можно выразить главные напряжения σ_1 , σ_2 , максимальное касательное напряжение τ_{\max} , интенсивность нормальных напряжений σ_i , октаэдрические нормальные σ_{oct} и касательные τ_{oct} напряжения через потенциалы $\Phi(\zeta)$ и $\Psi(\zeta)$:

$$\sigma_1 = A(\zeta) + |B(\zeta)|; \quad \sigma_2 = A(\zeta) - |B(\zeta)|; \quad \tau_{\max} = |B(\zeta)|;$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2};$$

$$\sigma_{\text{oct}} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3); \quad \tau_{\text{oct}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_i. \quad (9)$$

Третье главное напряжение определяется как $\sigma_3 = \nu(\sigma_1 + \sigma_2)$.

Видно, что поля напряжений σ_i и τ_{oct} подобны друг другу; после подстановки $\sigma_3 = \nu(\sigma_1 + \sigma_2)$ в выражение для σ_i можно убедиться, что поля напряжений σ_i и τ_{max} весьма близки между собой, а поле σ_{oct} подобно полю σ_3 .

Для построения любого из полей напряжений необходимо на полуплоскости $\zeta > 0$ ввести сетку прямоугольных координат ξ_k, η_m , которую посредством функции (1) преобразовать в сетку криволинейных координат $x_{k,m} = \text{Re}\omega(\xi_k, \eta_m)$; $y_{k,m} = \text{Im}\omega(\xi_k, \eta_m)$ на уступе. В узлах сетки ξ_k, η_m на полуплоскости $\zeta > 0$ по выражениям (3), (4) можно вычислить потенциалы Φ, Ψ , а по выражениям (8), (9) – все напряжения. Эти напряжения действуют в узлах сетки $x_{k,m}, y_{k,m}$ криволинейных координат.

Критерий прочности. В механике грунтов для оценки предельных состояний оснований сооружений используют критерий прочности Кулона – Мора с прямолинейной огибающей больших кругов Мора [1, 2, 8–10]. Физический смысл этого критерия состоит в том, что если на какой-либо площадке с нормалью n , проходящей через рассматриваемую точку грунта, касательное напряжение τ_n достигает предельного значения, определяемого зависимостью

$$\tau_n = c - \text{tg}(\varphi) \sigma_n, \quad (10)$$

где c – сцепление (адгезия);

φ – угол внутреннего трения в грунте;

σ_n – нормальное напряжение, действующее на площадке с нормалью n , то на этой площадке возникает скольжение частиц грунта (срез или скол).

В отличие от механики грунтов, зависимость (10) и все вытекающие из нее выражения были записаны ниже для обычного в механике деформируемого твердого тела правила знаков для нормальных напряжений: растягивающим напряжениям присваивают знак плюс.

Многочисленные опыты по сдвигу грунтов в полевых и лабораторных условиях подтверждают прямолинейность огибающих больших кругов Мора для песчаных (до давлений 10 МПа) и глинистых грунтов (до давлений 125 кПа) [1].

В отечественной литературе по механике грунтов критерий прочности Кулона – Мора с прямолинейной огибающей рекомендуют использовать до давлений (0,3 ... 0,5) МПа [9], (0,5 ... 0,7) МПа [10].

Исходя из предположения о прямолинейности огибающей больших кругов Мора и выражая τ_n, σ_n через наибольшее и наименьшее главные напряжения σ_1, σ_3 , можно получить следующее выражение для критерия прочности Кулона – Мора:

$$\sigma_1 - \sigma_3 < \sin\varphi \left| \sigma_1 + \sigma_3 - 2\tilde{\tau} \operatorname{ctg}\varphi \right|. \quad (11)$$

В левой части выражения (11) стоит удвоенное значение радиуса большого круга Мора $R_M = 0,5(\sigma_1 - \sigma_3)$ для известного напряженного состояния (НС) в данной точке, в правой – модуль удвоенного значения радиуса большого круга Мора для предельного состояния грунта:

$$\lim R_M = 0,5 \left| \sigma_1 + \sigma_3 - 2c \operatorname{ctg}\varphi \right|,$$

умноженного на синус угла внутреннего трения.

Из условия (11) следует, что если для напряженного состояния, характеризуемого главными нормальными напряжениями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, большой круг Мора R_M не пересекает огибающую предельных больших кругов Мора и не касается ее, то напряженное состояние является допредельным. В противном случае оно предельное и запредельное: на площадке с нормалью n возникает скольжение частиц грунта (срез или скол).

Пример расчета. Введем в рассмотрение показатель опасности напряженного состояния $k_\varphi = 100 R_M / \lim R_M$, с помощью которого можно определить степень близости данного напряженного состояния, характеризуемого главными нормальными напряжениями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, к предельному, и найдем его распределение в частном конкретном случае.

Уступ высотой $h = 2$ м имеет угол наклона грани $\pi c = \pi/4$ ($p = 1, q = 4$), сосредоточенная сила – компоненты $F_x = 10$ кН, $F_y = 5$ кН; координаты точки приложения силы: $x_0 = -2,382$ м, $y_0 = -1,761$ м.

Грунты, слагающие береговой откос, представляют собой суглинки со следующими инженерно-геологическими характеристиками: модуль деформации $E = 19$ МПа; коэффициент бокового давления $\xi = 0,35$; угол внутреннего трения $\varphi = 25^\circ$; сцепление $c = 28$ кПа.

Коэффициент Пуассона ν определяем по известной формуле механики грунтов: $\nu = \xi / (1 + \xi) = 0,26$.

Точке приложения силы $z_0 = -2,382 - 1,761i$ на плоскости ζ соответствует точка $\zeta_0 = -0,05 + 0,5i$; преобразованной сосредоточенной силе $F_z = \bar{F} / (2\pi(1 + k)) = 0,538 + 0,269i$ – сила $P_\zeta = 0,578 + 0,166i$.

Для оценки формы и размеров зоны возможного разрушения уступа под действием силы \bar{F} будем полагать, что деформирование грунта уступа вплоть до достижения предельного состояния в какой-либо его части проис-

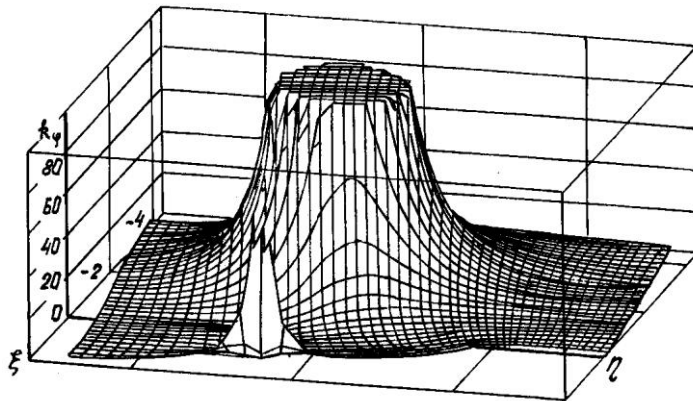


Рис. 3. Поверхность показателей опасности НС

ходит по закону Гука, а после достижения предельного состояния в соответствии с критерием Кулона – Мора (11) остается неизменным.

Полученная оценка несколько завышает размеры зоны предельных состояний грунта, поскольку она не учитывает энергию, затрачиваемую на деформирование грунта после перехода его в предельное состояние.

Расчеты выполняют по формулам (1) – (4), (7), (8), (11).

На рис. 3 в прямоугольной системе координат ξ, η представлен усеченный трехмерный график распределения показателей опасности напряженного состояния $k_{\varphi} = 100 R_M / \lim R_M$ в уступе. Оси ξ, η расположены в плоскости расчетной области уступа по рис. 2, ось z направлена перпендикулярно к расчетной плоскости. По осям ξ, η отложены расстояния (м), по оси z – показатель k_{φ} (%). В тех точках уступа, где показатель k_{φ} превышает 100 %, он приравнен к этой величине.

На рис. 4 представлена карта уровней (линий равных значений) показателей опасности напряженного состояния k_{φ} в уступе, построенная в

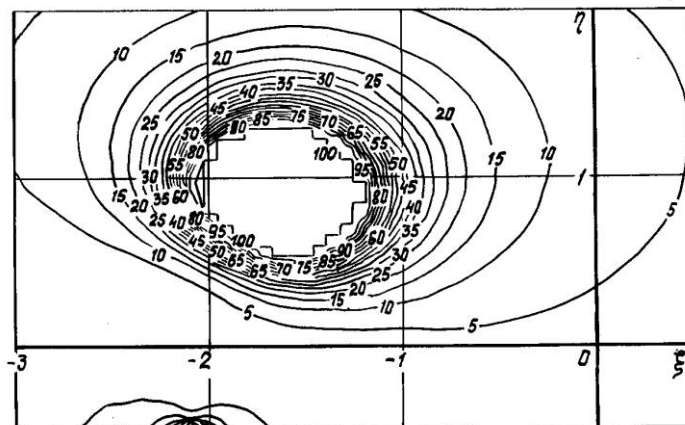


Рис. 4. Линии равных показателей опасности НС

плоскости ξ, η . Линии равных значений имеют отметки в процентах. Карта уровней дает возможность оценить расположение и размеры зоны влияния сосредоточенной силы на напряженное состояние уступа.

Совместное рассмотрение рис. 3 и 4 показывает, что реакция анкера существенно влияет на напряженное состояние уступа в окрестности точки ее приложения, вызывая разрушение грунта в непосредственной близости к точке приложения, а также концентрацию напряжений в окрестности верхней угловой точки уступа. Зона влияния реакции анкера вытянута в направлении действия силы. Размеры этой зоны зависят от модуля силы, координат точки ее приложения, геометрии уступа (высоты и угла наклона обрыва), а также коэффициента Пуассона грунта уступа. Как видно из рис. 4, зона разрушения грунта имеет форму овала с большой осью, равной 1 м, и малой, равной 0,75 м. Площадь зоны разрушения в примере составляет около 0,6 м².

Таким образом, в работе показано, каким образом представленное решение можно использовать для анализа полей напряжений и оценки локальной прочности береговых откосов, в которых размещаются горизонтально протяженные опоры (анкеры) наплавных гидротехнических и других инженерных сооружений. Оно может быть использовано как тестовая задача при отладке численных решений, а также как составная часть пакетов компьютерных программ для автоматизированных расчетов и оптимизации конструктивных решений опор, заглубленных в откосы.

В практических расчетах ось анкерной балки и вектор силы \vec{F} могут быть наклонены к бровке обрыва. В этом случае оценку напряженного состояния грунта около балки можно выполнить следующим образом.

Разложим вектор \vec{F} на две составляющие: \vec{F}_1 – перпендикулярную бровке откоса и \vec{F}_2 – параллельную бровке откоса, причем $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

Используя представленный алгоритм, построим НС в плоскости, перпендикулярной бровке откоса при действии силы \vec{F}_1 ; используя решение задачи Мелана для упругой полуплоскости без уступа, построим НС в плоскости, параллельной бровке откоса при действии силы \vec{F}_2 . Наложение построенных НС дает искомую оценку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бишон А.У. Параметры прочности при сдвиге ненарушенных и перемятых образцов грунта // Механика. Новое в зарубежной науке. Определяющие законы механики грунтов. – М.: Мир, 1975. – С. 7–75.
2. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. – М.: Высш. шк., 1985. – 352 с.
3. Коппенфельс В., Штальман Ф. Практика конформных отображений. – М.: ИЛ, 1963. – 406с.

4. Лаврик В.И., Савенков В.Н. Справочник по конформным отображениям. – Киев: Наукова думка, 1970. – 252 с.
5. Мильяев А.С. Действие сосредоточенной силы внутри упругой полуплоскости с уступом // Прикладная математика и механика. – 2002. – Т. 66, вып. 5. – С. 834–841.
6. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
7. Саваренский Ф.П. Инженерная геология. – М.; Л.: Гос. объедин. науч.-техн. изд-во, 1939. – 487с.
8. СНиП 2.02.01–83. Основания зданий и сооружений / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 48 с.
9. Ухов С.Б. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский и др. – М.: Изд-во АСВ, 1994. – 527 с.
10. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Стройиздат, 1963. – 636 с.

С.-Петербургская лесотехническая
академия

Поступила 01.04.02

A.S. Milyaev

Stressed State of Bank Slope under Anchor Bearing Pressure

Mathematical model and algorithm of calculating additional pressure field in the slope soil caused by forces transferred by cables' from floating structures to rigid anchor beams, buried into a slope parallelly to a river bed are offered. The example of calculating a form and zone of possible slope soil destruction under the influence of concentrated force is given.

УДК 630*31.001.2

В. Штоллманн

Штоллманн Владимир родился в 1956 г. в ЧСФР (ныне Республика Словакия), окончил в 1980 г. Технический университет г. Кошице, кандидат наук в области технологии машиностроения, доктор философии в области лесной и сельскохозяйственной механизации, преподаватель Технического университета г. Зволена. Имеет более 50 печатных работ в области робототехники, автоматизации и механизации лесного хозяйства.

**НАВИГАЦИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

Рассмотрены схемы управления лесными роботами, способы локализации актуальной позиции робота. Дан обзор алгоритмов управления.

Ключевые слова: лесозаготовки, роботы, управление положением, целевые точки, методы управления движением.

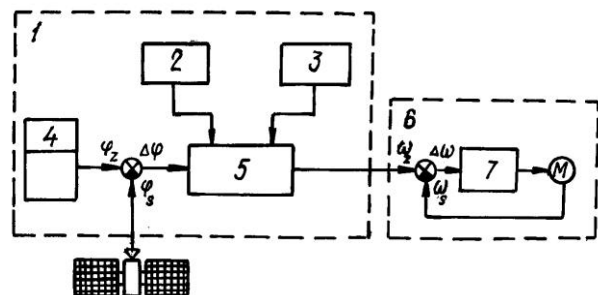
Управление лесным роботом (ЛР) включает решение двух основных проблем:

навигации – управления движением робота на местности при его перемещении;

позиции – управления движением ходового механизма в месте вырубki после установки робота в требуемой точке. Эта проблема является более легкой, поскольку здесь возможна передача сведений, полученных при разработке промышленных роботов.

При решении проблем навигации важное значение приобретают способы: определения позиции и ориентации устройства робота; передачи целевых точек; управления движением. Указанные функции позволяют системе управления роботом отвечать на вопросы «где нахожусь», «куда иду», «как туда попаду». Рассмотрим некоторые возможности решения этих вопросов.

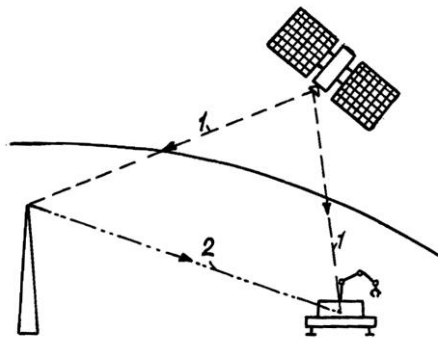
Навигация. Способ навигации схематически указан на рис. 1. В системе управления сравнивают целевые координаты φ_z с координатами позиции φ_s . Отклонения между целевой и актуальной точками $\Delta\varphi$ обрабатывают сервокоординаты позиции, которые дают приказы позиционным и скоростным регуляторам ходовых звеньев. Деятельность регуляторов определяет нулевое регуляторное отклонение $\Delta\omega$ требуемых значений ω_z от фактически достигнутых параметров ω_s .



Определение актуальной позиции робота является базисной проблемой. Во внимание должно быть принято нахождение географических координат с использованием спутниковых систем навигации. Эти системы начали разрабатывать в США и бывшем СССР уже в начале 70-х гг. для навигации некоторых военных объектов, в частности крылатых ракет. Обычно их называют глобальными позиционными системами. Русские системы носят название ГЛОНАСС, американские ГПС-НАВСТАР. В 80-х гг. результаты военных разработок начали использовать и для гражданских целей. Ведущее положение на рынке получил ГПС-НАВСТАР.

На рис. 2 показано определение актуальной позиции при помощи дифференциального метода ДГПС. Подробные данные о технических средствах спутниковой навигации, их особенностях и методах локализации позиции ЛР приведены в [2].

Рис. 2. Локализационная система ДГПС: 1 – сигнал ГПС; 2 – корректирующий сигнал ГПС



Подготовка целевых точек. Для нужд образования модели внешнего пространства в памяти системы управления робота необходимо вложить в нее в форме аппликационной программы данные о географической позиции стволов деревьев (высота, диаметр, вид древесины и т. д.) и препятствий на местности (валуны, пни, овраги, пропасти, болота и т. д.), а также топографические материалы о виде местности, например о склонах. Это могут быть дигитализованные карты, подготовленные послойно, отдельно для каждого фактора. Отношения между слоями образует географическая позиция. Специализированными средствами для получения таких данных являются географические информационные системы (ГИС), которые с помощью спутниковых навигационных систем копируют географические координаты необходимых объектов. Специальные роботизированные ГИС будут уточнены переводчиком и симулятором роботизированного языка, внедренного в систему управления.

Методы управления движением. Описание методов, используемых при управлении движением мобильных роботов, приведено в [1]. В качестве рекомендуемых нами выбраны:

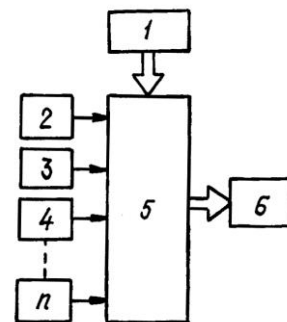
Рис. 1. Схема управления: 1 – управляющая система; 2 – подсистема учения; 3 – адаптивная подсистема; 4 – память РАМ; 5 – сервокоординаты позиции; 6 – механическая часть; 7 – регулятор

геометрический метод, в котором используется техника «проб и ошибок». Трасса ЛР до целевой позиции сгенерирована, если в модели пространства между актуальной (исходной) и целевой позициями не находится точка пересечения с иными объектами. В противном случае должна быть сгенерирована и опробована другая трасса;

сетевой метод, при котором пространство разделяется на правильные фигуры, так называемые клетки, и приобретает сетевую форму. Каждая клетка может быть проходимой или непроходимой для робота. Если целевая клетка известна, то поиск безаварийной трассы из исходной клетки становится банальной задачей, поскольку пространство в форме сетки содержит полную информацию. Масштаб сетки (плотность клеток) повышается в зависимости от условий проходимости местности;

топографический график – пространство, описанное топологическим графиком, в котором каждый угол обозначает место в пространстве, а сторона между узлами представляет собой пространственное отношение между ними. Поиск трассы между двумя узлами эквивалентен поиску наиболее короткой трассы на графике. Поиск трассы на больших графиках труден,

Рис. 3. Управление, основанное на опытных данных: 1 – база опытных данных; 2 – 4, ..., n – датчики; 5 – интерференционный механизм; 6 – сервокоординаты позиции



поскольку между исходной и целевой позициями может быть много свободных соединительных мест;

метод, основанный на опытных данных (рис. 3), использует сведения, которые уже вложены в память системы управления в виде базы опытных данных. Это, в первую очередь, сведения типа «если, то...». Они выбираются на основании сенсорной информации (сенсорные ситуации). Процедура, которая проявит сведения из базы и перенесет их на моментально решаемую задачу, называется интерференционным механизмом. Смысл метода основан на принципе «акции и реакции». Его преимуществом является высокая скорость, что позволяет ЛР быстро реагировать на сенсорную ситуацию. Метод хорошо использовать для объезда препятствий. Поиск трассы не является типичной задачей для данного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павловкин И., Юришица Л. Навигация мобильного робота // Acta Universitas Matthiae Belli. – Банска Бистрица, 2000.

2. *Штолманн В.* Технические средства и методы локализации позиции лесных роботов // Сб. МВК РОБТЕР 99. – Прешов, 1999. – С. 327–332.

Технический университет
г. Зволен

Поступила 17.05.01

V. Schtollmann

Navigation of Forest-industrial Robots

The schemes of control systems of forest robots, ways of actual robots positioning are considered, overview of control algorithms is provided.

УДК 630*375.5

М.Ю. Смирнов

Смирнов Михаил Юрьевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Марийский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспорта леса Марийского государственного технического университета. Имеет 122 научных труда в области транспорта леса и эксплуатации лесовозных дорог.



ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА

Рассмотрены теоретические основы комплектования лесовозных автопоездов. Учтено изменение действия сил на автопоезд на наклонном участке пути и влияние прицепных единиц на автомобиль-тягач.

Ключевые слова: лесовозный автопоезд, автомобиль, прицепной состав, руководящий подъем, полезная нагрузка.

Сущность методики формирования состава лесовозного автопоезда заключается в определении наивыгоднейшей его массы, подборе прицепного состава, который позволяет наиболее полно реализовать массу поезда и обеспечить максимальную рейсовую нагрузку при рациональном размещении груза на подвижном составе.

На лесовозных дорогах предельно допускаемое значение расчетной массы поезда с грузом определяют из условия обеспечения возможности его равномерного движения на руководящем подъеме [1]. Для этого используют известное уравнение тягового баланса.

Затем, исходя из имеющегося прицепного состава и применяемых схем комплектования, подбирают такой состав автопоезда, фактическая полная масса которого близка к предельной.

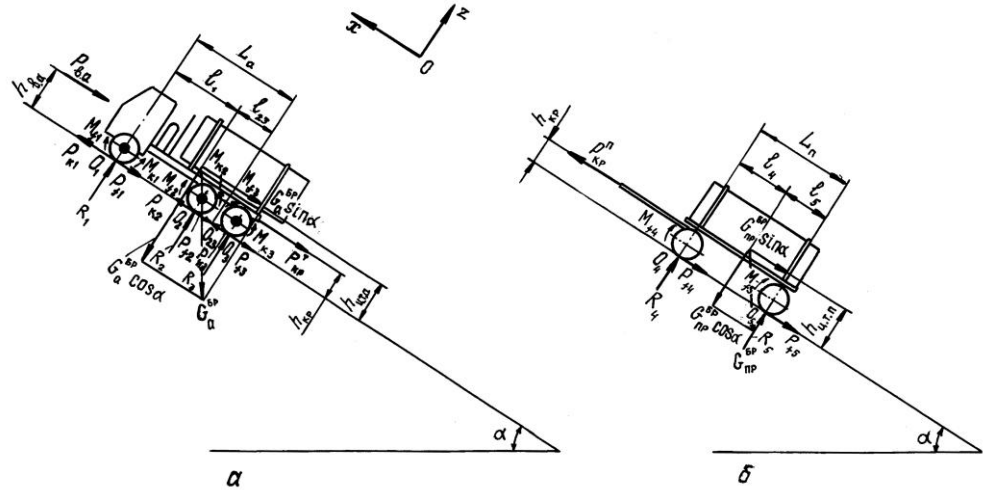
Эффективность работы автомобильных поездов зависит от особенностей конструкции и параметров тягачей и прицепных звеньев, а также от соответствия состава поездов дорожным условиям. Поэтому для более точного подбора состава поезда, позволяющего учитывать изменение действия сил на автопоезд на наклонном участке пути и влияние прицепных единиц на автомобиль-тягач, может быть использована следующая методика.

Рассмотрим силы, действующие на лесовозный автопоезд (см. рисунок) при равномерном движении на руководящем подъеме [5] (на примере автопоезда: автомобиль + прицеп). Лесовозный автомобиль принят полноприводным.

Из уравнения проекции сил, действующих на автопоезд, на ось x находим:

для автомобиля

$$D_{\text{ед}}^0 = P_{\text{к}} - P_{\text{fa}} - P_{\text{ia}} - P_{\text{в.а}}; \quad (1)$$



Силы, действующие на автомобиль-тягач (а) и прицеп (б)

для прицепа

$$D_{\text{ед}}^{\text{и}} = P_{f\text{ю}} + D_{i\text{ю}} \quad (2)$$

где $D_{\text{ед}}^{\text{д}}$ – тяговое усилие в сцепном устройстве тягача, кН;

$D_{\text{ед}}^{\text{и}}$ – тяговое сопротивление прицепного звена, кН;

$P_{\text{к}}$ – касательная сила тяги автомобиля, кН,

$$P_{\text{к}} = P_{\text{к1}} + P_{\text{к2}} + P_{\text{к3}};$$

$P_{fа}$ – сила сопротивления качению автомобиля, кН,

$$D_{fа} = \left(f_1 + M_{f2} + M_{f3} \right) r_{\text{е}} = G_{\text{а}}^{\text{ад}} f ;$$

M_{f_i} – момент сопротивления качению, кН · м;

$r_{\text{к}}$ – рабочий (динамический) радиус колеса, м;

$G_{\text{а}}^{\text{ад}}$ – полный вес автомобиля, кН;

f – коэффициент сопротивления качению;

$P_{iа}$ – сила сопротивления движению автомобиля от уклона пути, кН,

$$P_{iа} = G_{\text{а}}^{\text{ад}} \sin \alpha \approx G_{\text{а}}^{\text{ад}} i_{\text{п}} ;$$

α – угол наклона поверхности дороги к горизонту на руководящем подъеме, град;

$i_{\text{п}}$ – руководящий подъем;

$P_{\text{в.а}}$ – сила сопротивления движению от воздушной среды, кН. При $v \leq 20$ км/ч $P_{\text{в.а}} \approx 0$;

$P_{f\text{п}}$ – сила сопротивления качению прицепа, кН,

$$P_{f\text{п}} = \left(f_4 + M_{f5} \right) r_{\text{е}} = G_{\text{ю}}^{\text{ад}} f ;$$

$G_{\text{ю}}^{\text{ад}}$ – полный вес прицепа, кН;

$P_{i\text{п}}$ – сила сопротивления движению прицепа от уклона пути, кН,

$$P_{i\ddot{\theta}} = G_{i\ddot{\theta}}^{\dot{\alpha}\delta} \sin \alpha \approx G_{i\ddot{\theta}}^{\dot{\alpha}\delta} i_p.$$

Из уравнения проекций сил на ось z находим:
для автомобиля

$$G_a^{\dot{\alpha}\delta} \cos \alpha = R_1 + R_2 + R_3 = R_1 + R_{23}; \quad (3)$$

для прицепа

$$G_{i\ddot{\theta}}^{\dot{\alpha}\delta} \cos \alpha = R_4 + R_5, \quad (4)$$

где R_1, R_2, \dots, R_5 – нормальные реакции на колеса, кН;

R_{23} – нормальная реакция на тележку автомобиля, кН.

Здесь

$$R_1 = [G_a^{\dot{\alpha}\delta} (l_{23} \cos \alpha - h_{ц.т.а} \sin \alpha) - (M_{f1} + M_{f2} + M_{f3}) + (M_{к1} + M_{к2} + M_{к3}) - P_{кр} h_{кр} - P_{в.а} h_{в.а}] / L_a;$$

$$R_{23} = [G_a^{\dot{\alpha}\delta} (l_1 \cos \alpha + h_{ц.т.а} \sin \alpha) + (M_{f1} + M_{f2} + M_{f3}) - (M_{к1} + M_{к2} + M_{к3}) + P_{кр} h_{кр} + P_{в.а} h_{в.а}] / L_a;$$

$$R_4 = [G_{i\ddot{\theta}}^{\dot{\alpha}\delta} (l_5 \cos \alpha - h_{ц.т.п} \sin \alpha) - (M_{f4} + M_{f5}) + P_{кр} h_{кр}] / L_p;$$

$$R_5 = [G_{i\ddot{\theta}}^{\dot{\alpha}\delta} (l_4 \cos \alpha + h_{ц.т.п} \sin \alpha) - (M_{f4} + M_{f5}) - P_{кр} h_{кр}] / L_p.$$

У полуприцепного автопоезда вместо тяговой крюковой нагрузки находят силу, приложенную к седельному устройству.

Касательная сила тяги ограничивается мощностью двигателя тяговой машины и сцеплением ведущих колес с поверхностью качения. Ее определяют по общеизвестным формулам [2].

Состав автомобильных поездов можно характеризовать коэффициентами [5]:

полной нагрузки автомобиля

$$\Lambda = \frac{Q_{\dot{\alpha}\delta}}{m_a}; \quad (5)$$

нагрузки автомобиля от прицепных звеньев

$$\lambda = \frac{m_i}{m_a}, \quad (6)$$

где m_a – полная масса автомобиля, т;

m_p – суммарная полная масса прицепных звеньев, т;

$Q_{бр}$ – полная масса автопоезда, т.

Коэффициенты Λ и λ взаимосвязаны:

$$\Lambda = \lambda + 1. \quad (7)$$

К основным характеристикам поверхности дороги могут быть отнесены коэффициенты: сопротивления качению f , подъему i , суммарного сопротивления $\psi = f + i$, сцепления φ , проезжаемости $\xi = \varphi / \psi$.

С учетом этого формулы для расчета основных параметров автомобильных поездов можно представить следующим образом.

Тяговое усилие в сцепном устройстве тягача:
по двигателю

$$D_{\text{сд}} = \frac{N_e \eta_{\text{дд}} \gamma_i \beta}{v} - m_a g \psi - P_{\text{в.а.}}, \quad (8)$$

где N_e – мощность двигателя, кВт;

$\eta_{\text{тр}}$ – коэффициент полезного действия силовой передачи;

γ_m – коэффициент использования свободной мощности двигателя по эксплуатационным условиям;

β – коэффициент отбора мощности двигателя на привод вспомогательных механизмов;

v – скорость движения, м/с;
по сцеплению

$$P_{\text{кр}} = m_a g(\varphi - \psi) - P_{\text{в.а.}} \quad (9)$$

Тяговое сопротивление прицепа

$$P_{\text{кр}} = m_{\text{пр}} g \psi. \quad (10)$$

Подобрав состав автопоезда, следует проверить его массу по условию непревышения предельной массы автопоезда.

Расчетную предельную полную массу автомобильного поезда определяют по формуле

$$Q_{\text{ад}}^{\text{д}} = \frac{10^3 D_{\text{сд}}}{w_0 + g i_p}, \quad (11)$$

где $Q_{\text{ад}}^{\text{д}}$ – предельная полная масса автопоезда по силе тяги автомобиля, т;

$P_{\text{к}}$ – расчетная касательная сила тяги автомобиля с учетом ограничения по сцеплению, кН;

w_0 – основное удельное сопротивление движению, Н/т.

Фактическая полная масса лесовозного автопоезда (по грузоподъемности)

$$Q_{\text{ад}} = m_a + \sum m_i + \frac{Q_a + \sum Q_i}{g} \leq Q_{\text{ад}}^{\text{д}}, \quad (12)$$

где Q_a – грузоподъемность автомобиля, кН;

$\sum Q_i$ – суммарная грузоподъемность всех единиц прицепного состава, кН.

Важной характеристикой проходимости автопоезда по дорогам с низкими сцепными свойствами и повышенным сопротивлением движению является коэффициент сцепной массы

$$\hat{E}_{\text{пö.и}} = \frac{m_{\text{пö}}}{Q_{\text{äö}}}, \quad (13)$$

где $m_{\text{сц}}$ – сцепная масса автопоезда, т.

Коэффициент $K_{\text{сц.м}}$ связан с коэффициентом проежжаемости ξ дороги:

$$\hat{E}_{\text{пö.и}} \geq \frac{1}{\xi}. \quad (14)$$

На основании выполненных исследований [5] можно принять следующую классификацию дорожных условий:

	по двигателю ψ	по сцеплению $1/\xi$
легкие	$\leq 0,06$	$\leq 0,20$
средние	$0,06 \dots 0,12$	$0,20 \dots 0,30$
тяжелые	$0,12 \dots 0,24$	$0,30 \dots 0,45$
особо тяжелые	$\geq 0,24$	$\geq 0,45$

Лесовозные автопоезда должны обладать достаточной проходимостью и надежно работать в средних и тяжелых по двигателю и сцеплению дорожных условиях (при $0,06 < \psi \leq 0,24$ и $0,3 < 1/\xi \leq 0,45$).

После подбора прицепного состава к принятому автомобилю следует проверить полную массу поезда по рекомендуемой удельной мощности двигателя:

$$Q_{\text{äö}} \leq \frac{N_e}{N_{\text{öä}}}, \quad (15)$$

где $N_{\text{уд}}$ – рекомендуемая удельная мощность двигателя автомобильного поезда, кВт/т.

Удельная мощность двигателя считается приемлемой в интервале от 6 до 8 л. с./т (4,4 ... 5,9 кВт/т) [3].

При выборе прицепного состава следует отдавать предпочтение единицам с меньшей собственной массой при одинаковой грузоподъемности.

При формировании самозагружающихся автопоездов гидроманипулятор размещают на автомобиле или на прицепных единицах. Поэтому при определении полной массы автопоезда по формуле (12) к собственной массе транспортной единицы следует прибавлять массу манипулятора, а ее грузоподъемность уменьшать. Интенсивность снижения грузоподъемности зависит от размещения манипулятора на транспортной единице и обоснована ниже.

Возможную полезную нагрузку на автопоезд определяют по следующим критериям:

исходя из тяговых возможностей автомобиля

$$Q_{\text{тг}} = \frac{Q_{\text{а}} - m_{\text{а}} - m_{\text{т}}}{\gamma}, \quad (16)$$

где γ – средняя плотность (объемная масса) древесины, т/м³;
по грузоподъемности

$$Q_{\text{тг}} = \frac{Q_{\text{а}} + \sum Q_{\text{тг}}}{g\gamma}; \quad (17)$$

исходя из возможности размещения груза или грузоместимости

$$Q_{\text{тг}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{п}}} V_{\text{с}i} K_{\text{т}i}, \quad (18)$$

где $V_{\text{с}i}$ – объем, занимаемый i -й пачкой сортиментов, м³;

$K_{\text{т}i}$ – коэффициент полндревесности i -й пачки;

$n_{\text{п}}$ – число пачек сортиментов на автопоезде.

Занимаемый пачкой сортиментов объем $V_{\text{с}}$ определяют по формуле

$$V_{\text{с}} = (B_{\text{г}} - b_{\text{ст}}) l_{\text{с}} h_{\text{п}}, \quad (19)$$

где $B_{\text{г}}$ – габаритная ширина автопоезда, м;

$b_{\text{ст}}$ – толщина стоек, м;

$l_{\text{с}}$ – длина сортиментов, м;

$h_{\text{п}}$ – высота пачек, м.

Для дальнейших расчетов принимают меньшее из сравниваемых значений $Q_{\text{пол}}$.

При формировании автопоездов для транспортировки хлыстов или полухлыстов следует проверить возможность полной загрузки элементов автопоезда. При вывозке хлыстов необходимо определить рациональное расстояние между кониками автомобиля и роспуска. Если на практике его реализовать оказывается невозможно, из-за больших свесов вершинной части хлыстов, то следует определить возможную нагрузку на роспуск при полной загрузке автомобиля [4] и допустимом свесе вершин:

$$Q_{\text{д}}^{\text{а}} = \frac{Q_{\text{а}} (c - a)}{L_{\text{хл}} - \tilde{n} - \varepsilon}, \quad (20)$$

где $Q_{\text{д}}^{\text{а}}$ – возможная нагрузка на коник роспуска, кН;

$L_{\text{хл}}$ – длина пачки хлыстов, м;

ε – расстояние от комлевой части хлыстов до центра тяжести пачки, м;

a – свес комлей за коник автомобиля, м;

c – свес вершин за коник роспуска, м.

При вывозке полухлыстов необходимо определить оптимальный способ их размещения на автопоезде по методике, изложенной в [4].

При сравнении автопоездов, сформированных на базе одного автомобиля, в большинстве случаев предпочтение следует отдать прицепному

составу, обеспечивающему наибольшее значение $Q_{\text{пол}}$. При различных автомобилях и сопоставимой $Q_{\text{пол}}$ необходимо определить производительность автопоезда – основной определяющий фактор выбора состава поезда, а также экономические показатели работы вариантов автопоездов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ильин Б.А., Кувалдин Б.И.* Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 384 с.
2. *Ильин Б.А., Салминен Э.О.* Теория лесотранспорта. – СПб.: ЛТА, 1992. – 188 с.
3. *Курганов В.М.* и др. Автомобильные грузовые перевозки: Учеб. пособие / В.М. Курганов, Л.Б. Мирошин, Ю.Ф. Ключин и др. – Тверь: ТГТУ, 1999. – 442 с.
4. *Смирнов М.Ю.* Организация вывозки лесоматериалов: Учеб. пособие. – Йошкар-Ола: Марийск. гос. техн. ун-т, 2001. – 80 с.
5. *Шалягин В.Н.* Выбор параметров автомобильных и тракторных поездов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 3. – С. 37–41.

Марийский государственный
технический университет

Поступила 21.01.03

M.Yu. Smirnov

Logging Truck Train Formation

Theoretical principles of collecting logging truck train are considered. Changing of forces' effect on log train on the sloping road and influence of trailers on hauling tractor are taken into account.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674. 048:51

Ю.А. Варфоломеев, М.А. Амбросевич

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.



Амбросевич Мария Адольфовна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Поморский государственный университет, старший преподаватель, и.о. заведующего кафедрой математики Архангельского государственного технического университета. Имеет около 10 публикаций в области алгебраических систем и математического моделирования процессов биопоражения древесины.



МЕТОД ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ВЫБОРА АНТИСЕПТИКА

По методу экспертных оценок оптимизирован выбор антисептиков с использованием комплексного обобщенного показателя, учитывающего в количественном выражении при анализе иерархий множество разнородных характеристик.

Ключевые слова: антисептики, критерии, оптимизация выбора, экспертная оценка, анализ иерархий, попарное сравнение, ранжирование.

Антисептики для производственного применения обычно выбирают эмпирически на основе дискретного анализа их различных экологических, технологических, эксплуатационных, экономических характеристик.

Цель работы – оптимизировать выбор водорастворимых антисептиков на основе комплексного обобщенного показателя, учитывающего в количественном выражении их разнородные характеристики, полученные по оценкам независимых экспертов.

Нами рассмотрены отечественные и зарубежные водорастворимые антисептики ЭОК, К-12, Sinesto-B [4] и Катан ЛК-10 [3], которые предназначены для защиты сырых пиломатериалов и строительных изделий от

грибов синевы и плесени и прошли широкую производственную апробацию в климатических условиях севера.

Дадим их краткую характеристику: ЭОК изготавливают на основе щелочных солей карбоновых и неорганических кислот в виде порошка белого цвета; К-12 содержит соединения фтора, выпускается в виде порошка белого цвета, без запаха; Sinesto-B содержит соединения четвертичного аммония и бора, его поставляют в бочках и канистрах в виде прозрачной желтоватой жидкости, обладающей слабым запахом; Катан ЛК-10 изготавливают на основе соединений четвертичного аммония в виде мелких крупиц белого цвета [3].

Качественный и количественный анализ различных антисептиков производили по наиболее приемлемому методу экспертных оценок, основанному на построении иерархической структуры с учетом приоритета рассматриваемых факторов.

Метод анализа иерархий (МАИ) заключается в разделении обобщенной задачи на более простые составляющие и дальнейшей обработке последовательности суждений независимых экспертов по парным сравнениям компонентов. В результате этого выявляют относительную степень (интенсивность) взаимодействия в построенной иерархии разнородных показателей антисептиков, которые затем представляют в численном виде. МАИ включает процедуры синтеза множественных суждений, нахождения приоритетов критериев и альтернативных решений. Полученные таким образом значения являются оценками в шкале отношений.

Решение проблемы заключается в поэтапном установлении приоритетов. На первом этапе выявляли наиболее важные показатели антисептиков, на втором – наилучший способ проверки наблюдений, испытания и их оценки. Следующим этапом являлась проверка способа применения решения и оценка его качества.

Процесс поэтапных проверок и переосмыслений осуществляли до тех пор, пока не появилась уверенность, что учтены все характеристики рассматриваемых антисептиков, необходимые для оптимального их выбора с учетом конкретных производственных условий.

Аналитический процесс проводили над последовательностью иерархий. При этом результаты, полученные в одной из них, использовали в качестве исходных данных при изучении следующей. Рассмотренный метод позволил систематизировать процесс решения многоступенчатой задачи оптимизации.

Первым этапом МАИ является построение структуры проблемы в виде иерархии или сети. В наиболее простом виде иерархия строится с вершины через промежуточные уровни к самому низкому уровню. Промежуточные уровни иерархий обычно представляют собой критерии, с помощью которых оцениваются более низкие уровни. В качестве вершины служит доминанта, т.е. цель, которая преследуется при решении проблемы. В данном случае – это выбор наиболее приемлемого антисептика. Двухуровневую

процедуру обзора и оценки событий проводили по одной из моделей метода Дельфи [5].

На первом уровне оценки эксперты из числа опытных производственных технологов заполняли анкеты, оценивая антисептики по каждому из критериев. При анализе первоначально рассматривали 16 показателей, традиционно используемых для характеристики средств защиты древесины. После качественного анализа сократили количество критериев, у некоторых изменили формулировки. При окончательном решении осталось 10 наиболее значимых: К1 – защита от плесневых и деревоокрашивающих грибов; К2 – экологическая опасность; К3 – способность сохранять естественный цвет древесины после антисептирования; К4 – последствия хранения межсезонного запаса в холодном складе (реабилитация свойств после замерзания); К5 – наличие запаха; К6 – пожароопасность; К7 – готовность препарата к применению; К8 – влагоизоляционные свойства антисептированной поверхности древесины; К9 – сложность доставки антисептика к месту потребления; К10 – наличие дозирующих установок на производстве.

Самый низкий уровень представляет собой возможные варианты решения рассматриваемой проблемы. Построенная доминантная иерархия является полной, поскольку каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня и может служить для оценки элементов более низкого уровня.

С помощью МАИ [1, 2, 5] определяли относительную значимость исследуемых альтернатив для всех критериев, входящих в иерархию. Относительную значимость выражали численно в виде векторов приоритетов, значения которых являются оценками в шкале отношений.

В рассматриваемой задаче сравнения нескольких элементов каждый из критериев имеет связь со всеми другими. Поэтому в первой модификации рассматривается иерархия с одинаковым числом и функциональным составом альтернатив под критериями и метод попарного сравнения элементов иерархий.

Построение иерархии начинали с определения проблемы исследования. Далее строится собственно иерархия, включающая цель, расположенную в ее вершине, промежуточные уровни (критерии) и альтернативы, формирующие самый нижний иерархический уровень. Для установления относительной важности элементов иерархии на втором уровне использовали девятибалльную шкалу отношений Саати [5], которая позволила выразить в количественных показателях предпочтения характеристик одного сравниваемого антисептика перед другим.

Выбор приведенной шкалы (табл. 1) был обоснован теоретически [1]. Используя эту шкалу, эксперт при сравнении двух объектов (в смысле достижения цели, расположенной на вышележащем уровне иерархии) должен каждому выставить в соответствии с этим число в интервале от 1 до 9 или обратное значение чисел.

Применяя метод попарного сравнения показателей, строили множество матриц. Для этого в иерархии выделяли элементы двух типов: элемен-

Таблица 1

Шкала отношений

Степень значимости	Характеристика значимости	Различия
1	Одинаковая значимость	Два критерия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Слабая значимость	Существуют соображения в пользу некоторого предпочтения одного из критериев, однако эти соображения недостаточно убедительны
5	Существенная или сильная значимость	Имеются надежные данные или логические суждения для того, чтобы показать предпочтительность одного из критериев
7	Очевидная или очень сильная значимость	Убедительное свидетельство в пользу одного критерия перед другим
9	Абсолютная значимость	Свидетельства в пользу предпочтения одного критерия другому в высшей степени убедительны
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между двумя соседними суждениями	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение
Обратные величины приведенных выше ненулевых величин	Если критерию i при сравнении с критерием j приписывается одно из определенных выше ненулевых чисел, то критерию j при сравнении с критерием i приписывается обратное значение	Если согласованность была постулирована при получении N числовых значений для образования матрицы

ты-«родители» и элементы-«потомки». Элементы-потомки воздействуют на соответствующие элементы вышестоящего уровня иерархии, которые являются по отношению к первым элементами-родителями. Матрицы парных сравнений строятся для всех элементов-потомков, относящихся к соответствующему элементу-родителю. Элементами-родителями могут являться элементы, принадлежащие любому иерархическому уровню, кроме последнего, на котором расположены, как правило, альтернативы. Парные сравнения проводят в терминах доминирования одного элемента над другим. Полученные суждения выражают в целых числах по девятибалльной шкале (табл. 1).

Заполнение квадратных матриц парных сравнений осуществляют по следующему правилу. Если элемент A_1 доминирует над элементом A_2 , то клетка матрицы, соответствующая строке A_1 и столбцу A_2 , заполняется целым числом, а клетка, соответствующая строке A_2 и столбцу A_1 , – обратным числом. Если элементы A_1 и A_2 равнопредпочтительны, то в обе позиции матрицы записывают по единице.

Для получения каждой матрицы эксперт (или аналитик) выносит $n(n-1)/2$ суждений (n – порядок матрицы парных сравнений).

Рассмотрим в общем виде пример формирования матрицы. Пусть A_1, A_2, \dots, A_n – множество из n элементов (альтернатив), v_1, v_2, \dots, v_n – соответствующие их веса, или интенсивности. Сравним попарно вес (интенсивность) каждого элемента с весом любого другого элемента из рассматриваемого множества по отношению к общему для них свойству или цели. В этом случае матрица парных сравнений $[A]$ имеет следующий вид:

$$[A]= \begin{array}{c|ccccc} & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ \hline A_1 & v_1/v_1 & v_1/v_2 & \dots & v_1/v_n \\ A_2 & v_2/v_1 & v_2/v_2 & \dots & v_2/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_n & v_n/v_1 & v_n/v_2 & \dots & v_n/v_n \end{array}$$

Матрица парных сравнений обладает свойством обратной симметрии, т.е. $a_{ij} = 1/a_{ji}$, где $a_{ij} = v_i/v_j$.

Обработка матрицы парных сравнений позволяет ранжировать критерии, присваивая им весовые коэффициенты. Каждому антисептику по данным экспертов была выставлена средневзвешенная оценка на основе обобщенного аддитивного критерия, в результате этого и было выполнено ранжирование.

При проведении попарных сравнений следует отвечать на следующие вопросы: Какой из двух сравниваемых элементов важнее или имеет большее воздействие? Какой более вероятен и какой предпочтительнее?

При сравнении критериев обычно устанавливают, какой из антисептиков наиболее важен; при сравнении альтернатив по отношению к критерию – какая из альтернатив более предпочтительна или более вероятна. При оптимизации выбора водорастворимого антисептика для производственного применения учитывали мнения независимых экспертов. Это вызвало необходимость усреднения их суждений с использованием понятия усредненной оценки. Результаты усреднения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Усредненные значения попарного сравнения критериев оценки антисептиков

Критерий	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	1	5	6	8	7	7	8	7	9	6
K2	0,20	1	6	5	6	8	6	8	9	6
K3	0,17	0,16	1	0,20	1	1	1	3	8	1
K4	0,13	0,20	5	1	2	3	2	1	5	1
K5	0,14	0,17	1	0,50	1	0,50	0,33	1	6	1
K6	0,14	0,13	1	0,33	2	1	0,50	1	7	1
K7	0,13	0,17	1	0,50	3	2	1	5	8	2
K8	0,14	0,13	0,33	1	1	1	0,20	1	7	1
K9	0,11	0,11	0,13	0,20	0,2	0,10	0,13	0,14	1	0,13
K10	0,17	0,17	1	1	1	1	0,50	1	8	1

Ранжирование элементов, анализируемых с использованием матрицы парных сравнений [A], осуществляют на основании главных собственных векторов, которые получают при обработке матриц. Главный собственный вектор W положительной квадратной матрицы [A] вычисляют на основании равенства

$$AW = \lambda_{\max} W, \quad (1)$$

где λ_{\max} – максимальное собственное значение матрицы [A].

Для положительной квадратной матрицы [A] правый собственный вектор W , соответствующий максимальному собственному значению λ_{\max} , с точностью до постоянного множителя C можно рассчитать по формуле

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{A^k e}{e^T A^k e} = CW, \quad (2)$$

где $e = \{1, 1, 1, \dots, 1\}$ – единичный вектор;

$k = 1, 2, 3, \dots$ – показатель степени;

C – константа;

T – знак транспонирования.

Вычисление собственного вектора W по выражению (2) производят до достижения заданной точности:

$$e^T |W^{(l)} - W^{(l+1)}| \leq \xi, \quad (3)$$

где l – номер итерации, такой, что $l = 1$ соответствует $k = 1$; $l = 2$ соответствует $k = 2$ и т. д.;

ξ – допустимая погрешность.

C достаточной для практики точностью независимо от порядка матрицы можно принять $\xi = 0,01$. Максимальное собственное значение

$$\lambda_{\max} = e^T [A] W. \quad (4)$$

Результаты ранжирования критериев, полученные после обработки анкет пяти экспертов, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты ранжирования критериев оценки антисептиков по величинам весовых коэффициентов

Критерий	Весовой коэффициент	«Место» критерия	Критерий	Весовой коэффициент	«Место» критерия
K1	0,378929	1	K6	0,042387	7
K2	0,238634	2	K7	0,073038	4
K3	0,051100	5	K8	0,038972	8
K4	0,081089	3	K9	0,011902	10
K5	0,037190	9	K10	0,046759	6

В практических задачах количественная (кардинальная) и транзитивная (порядковая) однородность (согласованность), как правило, нарушаются из-за того, что человеческие ощущения невозможно выразить точной формулой. Для улучшения однородности в числовых суждениях, какая бы величина a_{ij} ни была взята для сравнения i -го элемента с j -м, a_{ji} приписывается значение обратной величины, т.е. $a_{ji} = 1 / a_{ij}$. Отсюда следует, что если один элемент в a раз предпочтительнее другого, то последний в $1/a$ раз предпочтительнее первого.

При нарушении однородности ранг матрицы отличен от единицы, и она будет иметь несколько собственных значений. Однако при небольших отклонениях суждений от однородности одно из собственных значений будет существенно больше остальных и приблизительно равно порядку матрицы. Таким образом, для оценки однородности суждений эксперта необходимо использовать отклонение величины максимального собственного значения λ_{\max} от порядка матрицы n .

Однородность суждений оценивают индексом однородности I_o или отношением однородности O_o в соответствии со следующими выражениями:

$$I_o = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1); \quad O_o = I_o / M(I_o),$$

где $M(I_o)$ – среднее значение (математическое ожидание) индекса однородности случайным образом составленной матрицы парных сравнений $[A]$, которое основано на экспериментальных данных [1].

В качестве допустимого используется значение $O_o \leq 0,10$. Если для матрицы парных сравнений отношение однородности $O_o > 0,10$, то это свидетельствует о существенном нарушении логичности суждений, допущенном экспертом при заполнении матрицы. Для улучшения однородности в этой ситуации эксперту следует пересмотреть данные, использованные для построения матрицы.

Объединение «весов» критериев и сравнения антисептиков по каждому из критериев были сведены в одну модель. Это позволило присвоить средневзвешенную оценку каждому препарату. По результатам расчета рассматриваемые водорастворимые антисептики были размещены в следующем порядке по приоритету рассчитанных количественных показателей обобщенных оценок: Катан ЛК-10 (оценка – 0,347641), Sinesto-B (0,312463), ЭОК (0,207288), К-12 (0,132608).

Вывод

Разработанная методика оптимального выбора водорастворимого антисептика на основе экспертных оценок опытных производственных технологов по 10 разнородным показателям, которые при анализе по методу иерархий были выражены в численном виде, позволяет исключить влияние субъективных факторов на принятие окончательного решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аганбегян А.Г.* Перспективное отраслевое планирование: Экономико-математические методы и модели. – Новосибирск, 1986. – 192 с.
2. *Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.* Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
3. Антисептики для деревянных домов / Е.И. Иванникова, Л.К. Лебедева, Е.Ю. Варфоломеева и др. // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Реконструкция – Архангельск-99». Т.1. Реконструкция и ремонт зданий и сооружений в климатических условиях Севера. – Архангельск: АГТУ, 1999. – С. 126–132.
4. *Варфоломеев Ю.А.* Обеспечение долговечности изделий из древесины. – М.: Ассоль, 1992. – 288 с.
5. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 5.05.03

Yu.A. Varfolomeev, M.A. Ambrosevich

Method of Expert Appraisal for Choosing Antiseptics

Selection of antiseptics is optimized according to the method of expert appraisal using complex generalized characteristic taking into account many heterogeneous characteristics in the quantitative expression under hierarchy analysis.

УДК 674.093

В.М. Костюкевич

Костюкевич Вадим Михайлович родился в 1966 г., окончил в 1990 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта Петрозаводского государственного университета. Имеет 30 печатных работ в области надежности лесных машин и технологического оборудования, логистики в лесном комплексе.



ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ АНАЛИЗЕ РАБОТЫ ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Обоснована возможность оценки эффективности работы лесоперерабатывающего предприятия через показатели надежности – вероятности отказов поставки сырья, производства и реализации продукции. На основе имитационного моделирования реализован алгоритм, позволяющий получить зависимости вида и частоты отказов от структуры принятой производственной цепи, включающей поставку, производство и сбыт продукции.

Ключевые слова: лесоперерабатывающее предприятие, службы снабжения, производства и сбыта, модель процессов поставки, производства и сбыта.

Для оценки эффективности функционирования лесоперерабатывающего предприятия (ЛПП) используют принципы логистики, предполагающие анализ деятельности предприятия с точки зрения минимизации суммарных затрат. В связи с этим становится актуальной задача нахождения способов контроля издержек и показателей деятельности предприятия. Для определения количественных параметров, которые являются экономическими индикаторами работы, предложено дополнительно включить издержки, связанные с отказами, возникающими вследствие несогласованной работы служб снабжения, производства и сбыта, необоснованных запасов, несоответствия складских мощностей, регулярности и частоты поставок сырья и сбыта продукции и др. К дополнительным конкурентным факторам на рынке относится надежность отгрузки. Она существенна при получении повторных заказов или заказов по рекомендациям. Очевидно, что повторные заказы более прибыльны вследствие более низких до- и послепродажных издержек, отсутствия необходимости переналадки оборудования и т.д.

Цель работы – предложить методику и ее программную реализацию для оценки эффективности работы лесоперерабатывающего предприятия, которые учитывают согласованность деятельности служб снабжения, производства и сбыта.

Модель функционирования ЛПП

Для оценки хозяйственной деятельности ЛПП предложена модель, интегрирующая деятельность служб снабжения, производства и сбыта. Она,

используя случайные процессы, рассматривает заданный период функционирования ЛПП, начиная от хода поставок и переработки древесины до реализации готовой продукции.

В модели используют следующие предположения:

– время разгрузки сырья, загрузки продукции, подачи сырья на производственную линию и готовой продукции на склад пренебрежительно мало по сравнению со временем функционирования ЛПП и поэтому принимается равным нулю;

– производственные линии останавливаются по трем причинам: из-за нехватки сырья; при затаривании склада готовой продукции; при возникновении аварийной ситуации на самой линии (после ликвидации этих причин линия мгновенно начинает работу);

– аварию на производственной линии начинают ликвидировать сразу после возникновения;

– при затоваривании склада сырья его поставщик поставляет продукцию позднее;

– при нехватке готовой продукции на складе покупатель уходит к другим поставщикам.

Исходные данные для построения модели: продолжительность работы ЛПП; характеристика склада сырья; характеристика склада готовой продукции; характеристика поставщиков (их количество, объем поставляемой древесины, распределение времени поставки, стоимость поставляемой древесины); характеристика производственных мощностей (количество линий переработки, количество рабочих смен в сутках, интенсивность переработки древесины каждой из линий, объем выхода готовой продукции по каждой линии в отдельности, закон распределения времени отказов каждой из перерабатывающих линий, закон распределения времени восстановления каждой из перерабатывающих линий, средние стоимостные оценки периодов работы и восстановления в единицу времени); характеристика процесса отгрузки (количество заказчиков, распределение времени поступления заказов, распределение объема поставки, стоимость единицы продукции).

Вектор исходных параметров модели формируется по результатам модельных предположений и статистической оценки вышеназванных характеристик конкретного ЛПП.

Выходные параметры в модели: динамика движения материальных потоков через склад сырья и склад готовой продукции; характеристика процесса поставки (день, время и объем поставки древесины от конкретного леспромхоза, случаи отказов от поставки древесины); характеристика процесса переработки древесины (фиксируются отказы перерабатывающих линий: номер отказавшей линии и причина отказа, дата отказа и время восстановления); характеристики процесса отгрузки (время и объем отгруженной продукции конкретному заказчику, случаи отказа отгрузки готовой продукции); суммарный доход от функционирования ЛПП.

В качестве показателей эффективности функционирования ЛПП приняты: суммарный доход; количественные параметры деятельности ЛПП,

например движение материальных потоков через склад, количество и вид отказов от момента поставки сырья до момента сбыта продукции.

Алгоритм и его программная реализация

При исследовании предложенной модели и получении выходных данных применяют метод имитационного моделирования. Основным его достоинством является простота получения результатов. Для его практической реализации разработана специальная компьютерная программа, позволяющая имитировать процесс функционирования ЛПП заданное число раз и получать для анализа как усредненные характеристики, так и экстремальные. Для моделирования процессов отказа восстановления оборудования, поставок сырья, спроса используют случайные величины, имеющие нормальное, экспоненциальное, Вейбулла, логнормальное и равномерное распределения. Вид распределения и его параметры пользователь задает при выборе модели функционирования ЛПП.

В программной реализации предусмотрены два режима работы:

- оценка экономических параметров функционирования ЛПП;
- оценка количественных параметров работы ЛПП, включая загруженность складов, количество и виды отказов.

Наиболее эффективна следующая цепь: поставка – склад сырья – производство – склад готовой продукции – сбыт. Она обеспечивает наибольшую согласованность служб снабжения, производства и сбыта, т.е. характеризуется минимумом отказов (с учетом, что каждый отказ имеет свою цену). При оценке функционирования ЛПП по количеству и видам отказов не требуется вводить стоимостные показатели работы (средняя стоимость древесины и готовой продукции, стоимостная оценка работы и восстановления перерабатывающих линий).

Выходные данные представлены в табличном и графическом виде, что удобно для их анализа. Получаемые таблицы имеют структуру, пригодную для дальнейшей обработки электронными средствами. На рисунке показан пример движения материальных потоков через склад сырья и склад готовой продукции для заданных условий. Анализ данных позволяет оптимальным образом планировать работу служб снабжения, производства и сбыта. Программная реализация с удобным интерфейсом для ввода исходных данных и выбора параметров функционирования ЛПП позволяет ее использовать человеку, не имеющему специальных знаний.



Предложенные модель, алгоритм и их программную реализацию можно использовать для анализа работающего предприятия, принятия экономически эффективных решений при его модернизации, планирования работы и оценки эффективности деятельности нового предприятия.

В дальнейшем предполагается доработать программу для анализа работы ЛПП по выпуску многономенклатурной продукции и приему сырья разных типов.

Петрозаводский государственный университет

Поступила 17.05.03

V.M. Kostyukevich

Logistic Approach in Analysis of Woodworking Company Operation

Possibility of efficiency assessment of woodworking company operation is substantiated through factors of reliability – failure probability in raw material supply, production and product selling. Based on the simulation modelling the algorithm is realized allowing to get the dependence of failure type and frequency of the regular production chain structure, including supply, production and product sale.

УДК 621.935

И. И. Иванкин

Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет 22 печатные работы в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.

**К ВОПРОСУ О НАЧАЛЬНОМ ИЗГИБЕ
ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ**

Полученная формула для определения начального прогиба является универсальной для любых свободных длин пилы и может быть использована при настройке ленточнопильных станков на заданный размер выпиливаемых пиломатериалов.

Ключевые слова: жесткость, ленточная пила, изгиб, прогиб.

Ленточная пила обладает определенной изгибной жесткостью. При огибании полотном пилы шкивов (рис. 1, *а*) или криволинейных направляющих (рис. 1, *б*) происходит изгиб пилы в зоне резания, вследствие чего она смещается на величину y (пунктир) относительно положения, которое занимала бы будучи абсолютно гибкой.

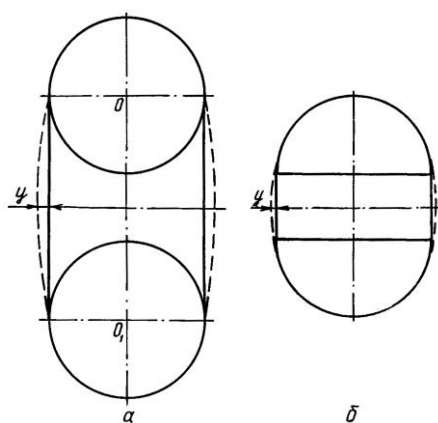


Рис.1. Изгиб пилы в зоне резания

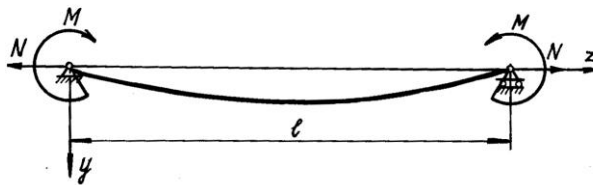


Рис. 2. Расчетная схема для определения прогиба пилы в зоне резания

Цель работы – получить универсальную формулу для расчета начального прогиба ленточной пилы в зоне резания, который необходимо учитывать при настройке станков на заданный размер выпиливаемых материалов.

Расчетная схема для определения прогиба пилы в зоне резания приведена на рис. 2.

Пила, имеющая свободную длину l в плоскости наименьшей жесткости, растянута силой натяжения N . При наличии собственной изгибной жесткости пилы на ее опорах возникают изгибающие моменты M , которые можно определить по известному уравнению [3]

$$M = \frac{E J}{R}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала пилы, МПа;

$J = bs^3/12$ – момент инерции полотна пилы при изгибе ее в плоскости наименьшей жесткости, мм⁴;

b – ширина полотна пилы, мм;

s – толщина пилы, мм;

R – радиусы шкивов или криволинейных направляющих, мм.

В работах [2, 4, 5] приведена формула для определения прогиба балки, нагруженной сосредоточенной поперечной силой P с одновременным действием продольной силы N (рис. 3):

$$y = \frac{2P l^3}{E J \pi^4} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2(n^2 + \alpha)} \sin \frac{n \pi c}{l} \sin \frac{n \pi z}{l}, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{N l^2}{E J \pi^2}$.

Для перехода от расчетной схемы (рис. 3) к схеме, изображенной на рис. 2, необходимо выражение (2) проинтегрировать по c [2, 5]. С учетом того, что значение c на опорах равно соответственно 0 и l , а значение M определяется по выражению (1), получаем

$$y = \frac{2l^2}{R \pi^3} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n(n^2 + \alpha)} \sin \frac{n \pi z}{l}. \quad (3)$$

Для случая, имеющего практическое значение, когда прогиб пилы определяется на середине ее свободной длины, т.е. $z = l/2$, имеем

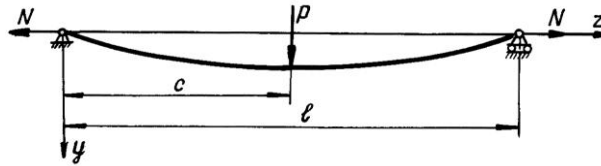


Рис. 3. Расчетная схема для определения прогиба балки

$$y = \frac{2l^2}{R\pi^3} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n(n^2 + \alpha)} \sin \frac{n\pi}{2}. \quad (4)$$

В работе [1] приведена формула для определения начального прогиба ленточной пилы в зоне резания:

$$y = \frac{EJ}{2NR}. \quad (5)$$

Расчеты показывают, что при заданных силах натяжения N и заданных геометрических размерах пил, характерных для ленточнопильных станков с пильными шкивами, значения прогибов, вычисленные по формулам (4) и (5), практически совпадают при $l = 400$ мм (разница не превышает 0,2 %).

Однако у ленточнопильных станков с криволинейными направляющими [1] свободная длина пилы может быть значительно меньше 400 мм. В этом случае формула (5) будет давать значительную погрешность при определении прогибов пилы в зоне резания. Например, при $N = 2,5$ кН, $s = 1$ мм, $b = 110$ мм, $E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа разница результатов, рассчитанных по формулам (4) и (5), при $l = 150$ мм составляет 13,8 %, а при $l = 100$ мм – 32,8 %.

Расчеты по формуле (4) удобно производить на персональном компьютере с использованием любого математического пакета, например MathCAD фирмы «MathSoft». При отсутствии компьютера, в формуле (4) можно принять только три первых члена ряда ($n = 1, 3, 5$), при этом погрешность вычислений не превысит 1,5 %, что вполне приемлемо для практических целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
2. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
3. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. Т. 1. – 3-е изд. – М.: Наука, 1965. – 365 с.
4. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. Т. 2. – 3-е изд. – М.: Наука, 1965. – 480 с.

5. Тимошенко С.П. Статические и динамические проблемы теории упругости. – К.: Наукова думка, 1975. – 563 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 21.02.02

I.I. Ivankin

To Question of Initial Bandsaw Bending in Cutting Zone

The formula gained for determining initial bending is a universal one for any free saw lengths and could be applied when adjusting bandsaw machines to the given size of sawn timber.

УДК 674.093

А.М. Копейкин, Е.Б. Сергеева, Е.В. Серых

Копейкин Адольф Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, заместитель генерального директора ОАО «Научдревпром-ЦНИИМОД», заслуженный работник лесной промышленности. Имеет около 100 научных трудов в области прогнозирования развития отрасли и технологий, технологических процессов лесопиления и деревообработки, комплексного использования древесины.



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОПИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ 2ЦДБ-60*

Приведены результаты экспериментальных исследований на лесопильной установке 2ЦДБ-60, спроектированной в ЦНИИМОДе; установлены выход продукции, точность размеров пиломатериалов и годовая производительность.

Ключевые слова: производство пиломатериалов, технология, выход пиломатериалов, производительность, предприятия малой мощности.

В последние годы на малых предприятиях, производящих пиломатериалы из древесины хвойных и лиственных пород, получили распространение установки с подвижным узлом резания. По литературным источникам, патентам и рекламным материалам нами было изучено более 50 вариантов подобных технических решений, что позволило сделать следующие выводы.

1. В качестве режущего инструмента могут использоваться пильная цепь, лента, круглые пилы и комбинированный инструмент для пиления и фрезерования.

2. Инструмент может располагаться в горизонтальной или вертикальной плоскости, либо иметь поворачивающий суппорт для обработки в промежуточных положениях.

3. Обработку можно производить одновременно одним, двумя и даже тремя режущими инструментами.

4. Степень механизации таких установок в отношении подачи узла резания, настройки на размер весьма широка.

5. У некоторых установок механизированы навалка, кантовка и закрепление бревна, удаление пиломатериалов и брусьев практически во всех случаях не механизировано.

Диаметр распиливаемого сырья зависит от типа применяемого инструмента и для ленточнопильных установок составляет 10 ... 150 см; для установок с пильной цепью – до 62 см; для круглопильных установок – 8 ... 37 см.

* Депонирована в ВИНТИ 18.03.2002, № 483–В2002.

Скорость подачи пильного узла на рабочем ходе достигает 45 м/мин, производительность по распиленному сырью по перспективным материалам для ленточнопильных установок гарантируется 4 ... 48 м³/см; для круглопильных – 4 ... 8 м³/см.

В проспектах и научных публикациях отсутствуют какие-либо сведения о точности этих установок, разноречива и информация о фактически достигнутой производительности. Представляют интерес результаты исследований, полученные на установке 2ЦДБ-60, разработанной ОАО «Научдревпром-ЦНИИМОД».

Круглопильная установка 2ЦДБ-60 (рис. 1) имеет раму с направляющими путями уголкового профиля, по которым на двухребордных катках перемещается портал с двумя пильными суппортами: первый оснащен делительной пилой с торцовым креплением, расположенной в горизонтальной плоскости, второй – отрезной пилой, расположенной в вертикальной плоскости. Оба суппорта передвигаются по круглым направляющим с помощью винтовых пар. Контроль за перемещением суппортов осуществляют с помощью шкал и указателей. Распиливаемое бревно базируют и фиксируют на раме специальными приспособлениями вручную. Перемещение портала при распиловке и обратном ходе обеспечивает реверсивный механический механизм с приводом от электродвигателя через червячный редуктор. Скорость подачи

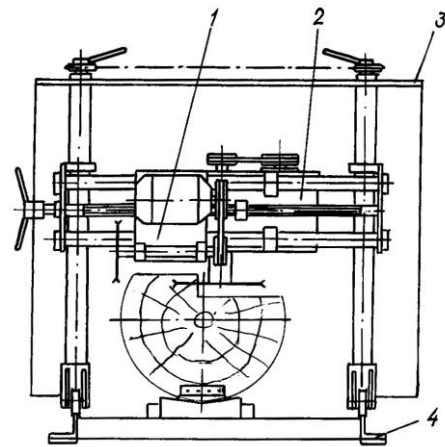


Рис. 1. Схема лесопильной установки 2ЦДБ-60: 1 – суппорт отрезной пилы; 2 – суппорт делительной пилы; 3 – портал; 4 – рама с направляющими путями

до 9,7 м/мин.

6*

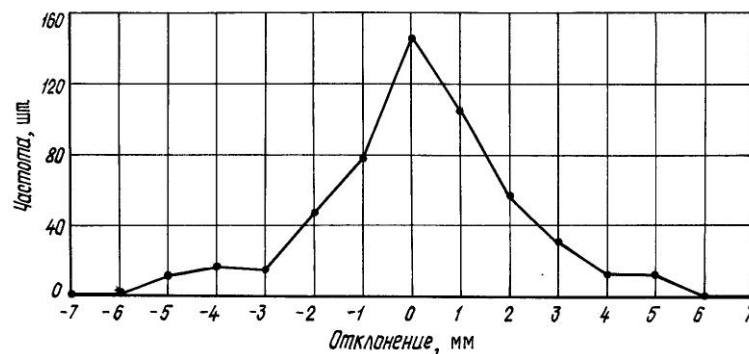


Рис. 2. Отклонение размеров пилопродукции по сечению

При распиловке было обработано 37 бревен диаметром 12 ... 16 см, длиной 3,75 м. Полученные брусья, бруски и доски были использованы в качестве экспериментального материала для определения точности размеров пилопродукции и объемного выхода.

Для проверки точности размеров все брусья были размечены через 0,25 м, в сечениях замерены все четыре пласти с точностью до 0,1 мм. Первичную информацию обрабатывали следующим образом: вначале сравнивали размеры двух противоположных пластей в каждом сечении и анализировали величину и характер распределения полученных отклонений. Этот методический прием позволил исключить погрешность настройки и показал (рис. 2), что большая часть отклонений не выходит за пределы поля допуска ± 4 мм. Затем было вычислено среднее значение размера каждой пласти и определены отклонения фактических размеров пласти в сечениях через 0,5 м. По результатам вычислений построена гистограмма (рис. 3), из которой видно, что за пределы допускаемых отклонений вышли 2,2 % измеренных величин.

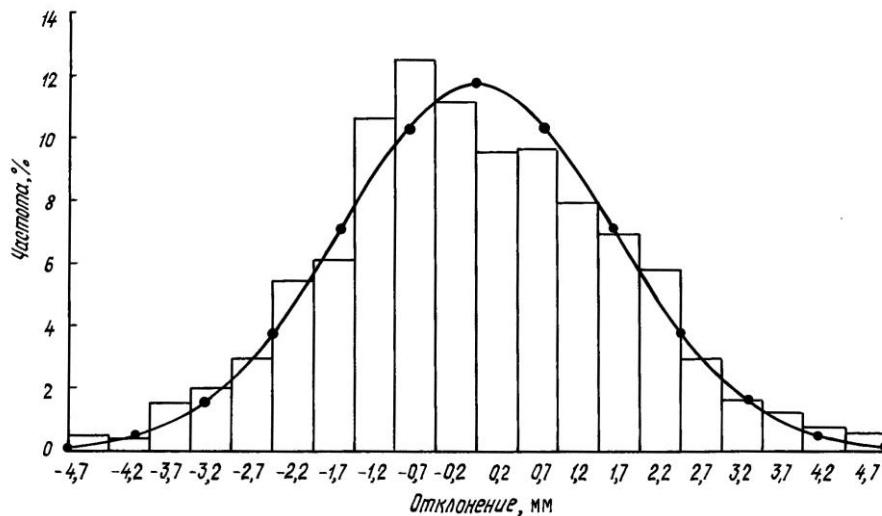


Рис. 3. Отклонение размеров пиломатериалов по длине бруса

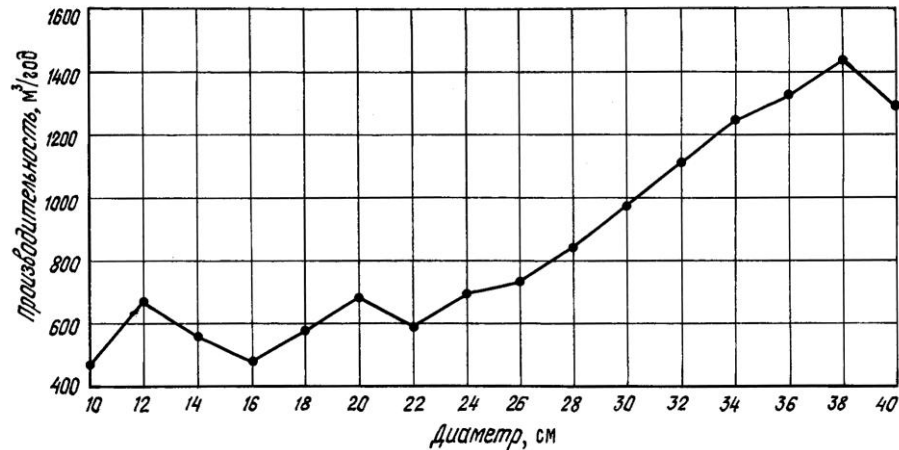


Рис. 4. Производительность установки 2ЦДБ-60 по распиленному сырью

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что поперечная и продольная жесткость конструкции пролета, а также точность выверки направляющих для перемещения портала обеспечивают достаточную прямолинейность реза как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении по всей длине бревна.

При проведении экспериментов фиксировали с точностью до ± 1 с затраты времени на выполнение следующих вспомогательных операций:

установка бревна, его крепление и настройка на первый пропил – 240 с;

кантовка бревна (снятие фиксаторов, поворот, крепление, настройка на размер) – 260 с;

обратный ход (движение, настройка на размер) – 100 с.

С учетом этого, а также поставок для бревен диаметром от 10 до 40 см была рассчитана годовая производительность установки 2ЦДБ-60 для двухсменного режима работы (рис. 4), которая даже на предельных диаметрах составляла около 1500 м³ по сырью.

Выход пилопродукции (без раскря брусьев на доски) оказался близким к расчетному – 54 ... 55 %.

Полученные экспериментальные данные следует учитывать при расчете производительности лесопильных установок и выборе технологических решений.

ОАО «Научдревпром – ЦНИИМОД»

Поступила 22.02.02

A.M. Kopeikin, E.B. Sergeeva, E.V. Serykh

Analysis of Technological Characteristics of Sawing Unit 2ZDB-60

Results of experimental analysis on sawing unit 2ZDB-60 designed in Central Scientific Research Institute of Mechanical Wood Processing are provided; the yield, accuracy of sawngood dimensions and annual productivity are set.

УДК 674.038.6

Д.В. Иванов

Иванов Давид Васильевич родился в 1937 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 научных работ в области комплексного использования древесины, создания и совершенствования технологии и техники производства пиломатериалов и подготовке сырья к распиловке.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНОГО БРЕВНОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НА МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Рассмотрены вопросы использования различного бревнопильного оборудования (лесопильные рамы, ленточнопильные и круглопильные станки) для производства пиломатериалов.

Ключевые слова: пиломатериалы, лесопильная рама, ленточнопильный станок, круглопильный станок, фрезерно-брусующий станок, выход пиломатериалов, производительность.

К малым предприятиям относят лесопильные предприятия, имеющие мощность по распилу сырья до 25 тыс. м³ в год.

В настоящее время для распиловки сырья используется разнообразное оборудование: одноэтажные лесопильные рамы, ленточнопильные и круглопильные установки. По методу раскроя их подразделяют на «батареинное» оборудование, предусматривающее распиловку бревен набором рамных или круглых пил, и индивидуальное с раскроем бревна одиночными круглыми или ленточными пилами.

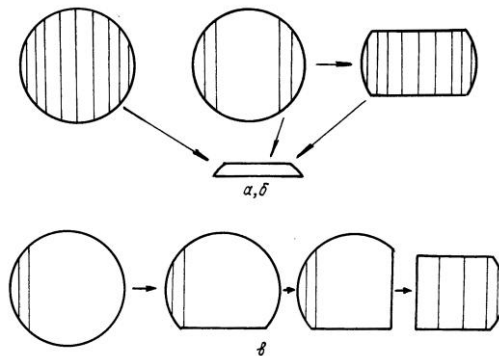
Для раскроя по первому методу используют одноэтажные лесопильные рамы или многопильные круглопильные станки.

Отечественная промышленность выпускает целую гамму одноэтажных лесопильных рам (Р65-4М; Р63-4А/Б; Р80-2; РТ-36; РК-63-1,2; Р40-1 и др.), которые имеют следующие характеристики: просвет пильной рамки 400 ... 800 мм; ход рамки 210 ... 400 мм; частота вращения коленчатого вала 250 ... 650 об/мин; установленная мощность 24,5 ... 64,0 кВт, скорость подачи до 12 м/мин; число пил в поставе до 12; толщина пил 2,2 ... 2,5 мм; ширина пропила 3,8 ... 4,1 мм.

Недостаток лесопильных рам – значительные динамические нагрузки в вертикальной плоскости, что является одной из причин снижения скоростей распиловки и подачи и, как следствие, снижения производительности рам.

Рамные и круглопильные потоки работают по развальной и брусоразвальной схемам (рис. 1, а, б).

Рис. 1. Схемы раскря бревен:
а – развальный способ, *б* – бру-
 сово-развальный, *в* – круговой
 (для линий с однопильными
 станками)



Круглопильные станки делят на станки для распиловки бревен и бруса. Для продольного раскря бревен используют круглопильные станки только для индивидуальной распиловки (ЦДТ 6-4, ЦДТ-7, ЦМД, ЦМК Д-28А, 2ЦДБ-60), имеющие высоту пропила 500 ... 800 мм и скорость подачи до 90 ... 120 м/мин. Для продольного раскря брусьев выпускают следующие круглопильные станки: СБ-8, СБ-8М, 2ЦДГ-300, (ЦНИИМОД); Ц8Д-80М, Ц8Д-80, Ц12Д1М (КРМЗ); ЦМ-150К (ЗДС, Данилов); Ц7Д(К) (станкозавод, Киров); WP-100, WP-150, (ООО «Экодревпром») и др. Они допускают высоту пропила 80 ... 200 мм, имеют 5–8 пил диаметром 450 ... 900 мм и скорость подачи 15 ... 80 м/мин. Для распиловки сырья небольших диаметров (12 ... 16 см) на ряде предприятий устанавливают линии на базе фрезерно-брусующих станков ФБС-750 и ФБЛ-16 и многопильных круглопильных станков (СевНИИП–АЛТИ, СКТБ (Петрозаводск), ДСК (Шарья), БРМ-1(Минск) и др.). Они имеют диаметр пил 500 ... 700 мм и скорость подачи 6 ... 50 м/мин.

На мелких предприятиях применяют однопильные ленточнопильные и круглопильные установки как отечественного, так и импортного производства. Наиболее известны следующие модели ленточнопильных станков: Гравитон-КЛГ-05, МЛК, КЛБ (Калининград); ЛЛК-1,2, ЛГД1-50, БЛП-50 (ЗДС, Данилов); ЛБЛ-130, ЛБ-100 (ООО «Экодрев»); ЭДП-03, ЛГС-50 («Северный Коммунар», Вологда); ЛПС, ЛГУ1000 («Экодревпром»); Кедр-1000; ЛГ 680, ЛГ 40 (Kamі); LT-40 HD (Wood-Mizer); SS J1250 (Эло, Jocar) и др. Они имеют горизонтальные или вертикальные пилы, движущиеся на шкивах диаметром 500 ... 1300 мм. Скорость подачи тележки с пильным узлом или бревном 0 ... 90 м/мин; мощность электродвигателей 11 ... 50 кВт; толщина пил 1,5 ... 3,0 мм; ширина пропила 3,0 ... 4,5 мм.

Недостатком ленточнопильных станков является возможная волнистость пропила и разнотолщинность досок.

Из однопильных круглопильных станков наиболее известны станки Кара F2000, Лаймет-120 (Финляндия), МП-1200 (Kamі); УСК-1-1 (ЗДС, Вологда), УП-1 («Северный Коммунар», Вологда), YPS 5550 (АО «Альстром») и др. Они имеют пилы диаметром 630 ... 1200 мм. Скорость подачи 12 ... 120 м/мин; мощность электродвигателей 30 ... 45 кВт; толщина пил 1,6 ... 3,2 мм; ширина пропила 3,2 ... 4,8 мм.

Недостаток круглопильных станков – большая толщина пил, большой пропили и, как следствие, снижение выхода пиломатериалов.

Преимуществом ленточнопильных и круглопильных станков является их небольшая стоимость и отсутствие вертикальных нагрузок, что исключает устройство мощного фундамента.

При раскросе на однопильных станках используют индивидуальные схемы раскроса, показанные на рис. 1, в. Следует отметить, что в потоках с однопильными станками механизированы лишь операции подачи бревен и привода пилы, вспомогательные операции выполняют вручную с значительными затратами времени и физических усилий.

Для сравнения работы потоков с различным пильным оборудованием выполнен расчет их часовой производительности и объемного выхода пиломатериалов. Расчет производительности потоков выполнен согласно методике ЦНИИМОД, приведенной в «Инструкции по расчету производственной мощности лесопильного предприятия».

Часовая производительность потока с использованием однопильных (круглопильных или ленточнопильных) станков

$$P_{\text{ч}} = 3600q k_{\text{т}} / (T_{\text{ц}} + \sum t_{\text{п}}),$$

где q – объем бревна, м³;
 $k_{\text{т}}$ – коэффициент использования рабочего времени, $k_{\text{т}} = 0,88$;
 $T_{\text{ц}}$ – время рабочего цикла обработки бревна, с,
 $T_{\text{ц}} = t_{\text{р}} + t_{\text{в}}$;
 $t_{\text{р}}$ – продолжительность распиловки, с,
 $t_{\text{р}} = 60 z l_{\text{бр}} / u$;
 z – число резов на бревне;
 $l_{\text{бр}}$ – длина бревна, м;
 u – скорость подачи, м/мин;
 $t_{\text{в}} = [t_1 + (z - 1) t_2 + (t_3 + t_4) z + t_5] k_{\text{в}}$;
 t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 – продолжительность навалки, установки и закрепления бревна; поворота бревна; установки размера доски при подаче к пиле; откатки тележки; удаления остатков пиления,
 $t_1 = 11,2$ с; $t_2 = 12,5$ с; $t_3 = 3,0$ с; $t_4 = 5,0$ с; $t_5 = 2,7$ с;
 $k_{\text{в}}$ – коэффициент инерционности механизмов, $k_{\text{в}} = 1,1$;

$\sum t_{\text{п}}$ – суммарные внецикловые потери головного станка, $\sum t_{\text{п}} = 10,5$ с.
 Расчеты проведены для бревен диаметром 14 ... 28 см, $l_{\text{бр}} = 5,2$ м при скоростях подачи 20, 40, 60, 80, 100 м/мин для поставов, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Диаметр бревна, см	Постав	Диаметр бревна, см	Постав
14	1×100/2×50	22	1×150;2×25/2×50;4×25
16	1×100;2×25/2×50;2×25	24	1×150;2×25/2×50;4×25
18	1×125;2×25/2×50;2×25	26	1×175;2×25/2×63;4×25
20	1×125;2×25/2×50;2×25	28	1×175;4×25/2×63;4×25

Таблица 2

Диаметр бревна, см	Производительность по распилу сырья, м ³ /ч						
	Однопильные станки при различных скоростях подачи, м/мин					Лесопильные рамы	
	20	40	60	80	100	2Р-75	Р-63
14	1,59	1,97	2,15	2,24	2,30	11,56	6,34
16	1,22	1,54	1,69	1,78	1,83	14,74	8,08
18	1,54	1,95	2,13	2,25	2,31	17,88	10,19
20	1,09	1,96	2,15	2,26	2,33	21,55	12,43
22	1,86	2,35	2,58	2,71	2,80	24,51	14,91
24	2,17	2,75	3,12	3,29	3,40	26,87	17,40
24	1,74	2,13	2,31	2,40	2,53	26,87	17,40
26	2,05	2,51	2,72	2,83	2,98	30,14	20,51
28	2,36	2,90	3,13	3,26	3,43	33,15	21,65

Результаты расчетов представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Полученные результаты показывают, что производительность потоков на базе однопильных станков (ленточных и круглопильных), несмотря на высокую скорость подачи, ниже чем у рамных потоков из-за потерь времени цикла на многократную подготовку и повороты бревен. Даже применение сдвоенных ленточнопильных станков не позволяет повысить производительность потоков из-за необходимости возврата тележки, а получение на них горбылей вместо досок снижает выход или требует дополнительного оборудования для переработки.

Объемный выход пиломатериалов на потоках, использующих различное оборудование, определяли из расчета поставов для диаметров бревен 14 ... 26 см при толщине пил 2,0 ... 4,0 мм и ширине пропилов 3,6 ... 5,6 мм с помощью программы «Постав», разработанной в АГТУ (табл. 3).

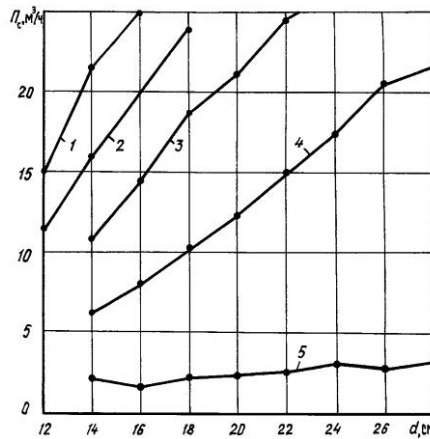


Рис. 2. Производительность P_c потоков по распилу сырья (d – диаметр): 1 – с фрезерно-брусующими станками ФБС-36; 2 – ФБС-24; 3 – с двухэтажными лесопильными рамами 2Р-75; 4 – с одноэтажными лесопильными рамами Р-63; 5 – с однопильными станками (ОС)

Таблица 3

Диаметр бревна, см	Объемный выход пиломатериалов, %, при толщине пил/ ширине пропила, мм					
	2,0/3,6	2,5/4,1	3,0/4,6	3,5/5,1	4,0/5,6	2,2/3,8
	Однопильные станки					Лесопильные рамы
16	52,0	51,1	50,3	49,4	48,6	51,9
18	54,7	53,4	53,4	52,7	52,0	53,8
20	53,0	53,0	52,4	52,4	51,9	52,1
22	57,5	56,1	53,9	54,8	54,1	55,6
24	57,0	56,5	55,7	55,2	54,8	56,0
26	59,7	59,2	58,1	57,5	56,7	57,6
28	60,2	59,2	58,7	58,0	57,9	58,7

Расчеты показывают, что увеличение толщины пил и ширины пропилов вызывает снижение объемного выхода пиломатериалов (рис. 3). Следует отметить, что используемые пилы требуют заточки, вальцовки, проковки, насечки зубьев и др. Повреждение ленточных пил приводит к значительным финансовым затратам (например 100 ... 1000 долларов для широких пил).

Распиловка бревен больших диаметров требует применения толстых пил большого диаметра (что снижет выход пиломатериалов) или использования сдвоенных по высоте блоков пил (что приводит к увеличению мощности узлов резания и появлению «зарезов» на досках, т.е. появлению брака).

Результаты расчета выхода пиломатериалов и производительности для различных потоков приведены в табл. 4.

Выход пиломатериалов на ФБС ниже, чем на лесопильных рамах: на 2,5 ... 5,9 % – при наличии в потоках обрезных станков, на 5,2 ... 8,5 % – при их отсутствии.

При расчете производительности по распилу сырья на потоках с ФБС для обеспечения качества распиловки скорость подачи принимали равной 24 и 36 м/мин, учитывая объемы сырья. Производительность по распилу сырья у агрегатных потоков выше, чем у рамных при скорости подачи 24 и 36 м/мин соответственно в 2,3 и 3,5 раза.

Производительность различного оборудования по выпуску пиломатериалов определяется произведением производительности по распилу на объемный выход пиломатериалов. Результаты представлены на рис. 4.

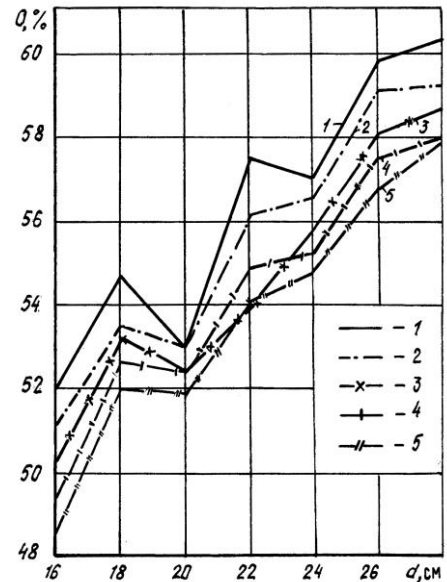


Рис. 3. Влияние толщины пил t_p на выход пиломатериалов Q : 1 – $t_p = 2,0$ мм; 2 – 2,5; 3 – 3,0; 4 – 3,5; 5 – 4,0 мм

Таблица 4

Диаметр бревна, см	Выход пиломатериалов, %		Производительность потоков, м ³ /ч		
	ФБС с ОС	ФБС	Лесопильные рамы	ФБС-36	ФБС-24
12	46,22	42,27	4,20	15,00	12,00
14	47,70	44,70	6,34	22,00	16,00
16	49,34	46,70	8,08	25,00	20,00
18	47,90	45,27	10,19	32,00	23,50

Годовой объем по распилу сырья и производству пиломатериалов определяется произведением часовой производительности на годовой фонд рабочего времени.

В год на однопильных установках можно распиливать 3 ... 7 тыс. м³ сырья и получать 1,5 ... 3,5 тыс. м³ пиломатериалов, на одноэтажных лесопильных рамах – соответственно 17 ... 35 тыс. м³ сырья и 8,5 ... 17 тыс. м³ пиломатериалов, на потоке с ФБС – соответственно 35 ... 50 тыс. м³ сырья и 16,0 ... 25,0 тыс. м³ пиломатериалов.

При сложившемся на российском рынке уровне цен на деревообрабатывающее оборудование стоимость кубометра распиленного в год сырья для потоков на базе ФБС с многопильным станком составляет 12 ... 15 руб, для потоков с двумя одноэтажными лесопильными рамами Р-63 – 16 ... 20 руб, для потоков с однопильными станками – около 50 руб. Это совместно с текущими затратами на эксплуатацию оборудования и инструмент естественно скажется на себестоимости пиломатериалов.

Большинство фирм и предприятий выпускают оборудование для распиловки бревен и бруса, мало заботясь об их объединении в поток, механизации и автоматизации процессов. Лишь фирма «Кара» предлагает комплексно механизированные цеха на базе круглопильных станков. В них предусмотрена взаимосвязь станков и введены обрезные станки.

Долгое время потоки с одноэтажными лесопильными рамами обслуживались вручную, причем их структура мало отличалась от потоков с двухэтажными лесопильными рамами. В последнее время на Даниловском ЗДС разработаны средства механизации производственных процессов для потоков с одноэтажными лесопильными рамами.

В основном мелкие предприятия работают без подсортировки сырья по диаметрам и применяют индивидуальные схемы раскроя бревен. Схемы подбираются операторами установок, однако они не всегда оптимальны и зачастую ведут к значительным потерям древесины.

Фирма «СпецТрейдстандарт» предложила программы для раскроя бревен на заданные сортименты и выполнения спецификации. В настоящее время реализованы следующие версии: Раскрой 4.12 – для ленточнопиль-

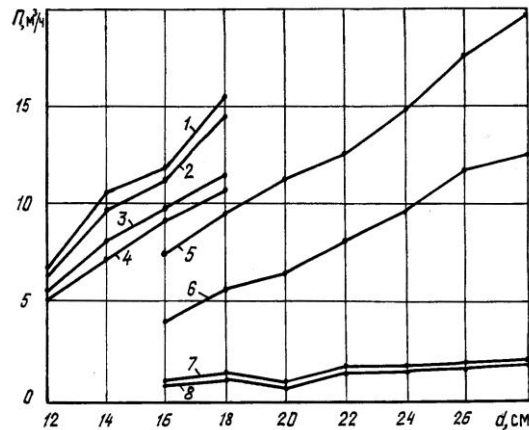


Рис. 4. Производительность потоков P по выпуску пиломатериалов: 1 – с ФБС-36 и ОС; 2 – с ФБС-36; 3 – с ФБС-24 и ОС; 4 – с ФБС-24; 5 – с двухэтажными рамами 2Р-75; 6 – с одноэтажными рамами Р-63; 7 – с однопильными ленточнопильными станками; 8 – с однопильными круглопильными станками

ных круглопильных установок; Раскрой 6.11 – для многопильных установок и лесопильных рам.

Эти программы позволяют составлять задания для операторов на распиловку бревен, планировать выполнение заданий по выпилке пиломатериалов определенных сечений, оптимизировать раскрой бревен для получения бóльших выходов пилопродукции или выручки от продаж. Внедрение программ позволит повысить выход продукции на 4 ... 5 % и получить дополнительно в среднем по 3 ... 5 долларов с каждого выпиленного кубометра пиломатериалов.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 28.11.02

D.V. Ivanov

Use of Different Log-sawing Equipment for Producing Sawn Timber by Small Companies

Questions of using different log-sawing equipment (saw frames, band saw and circular saw machines) for sawn timber production are reviewed.





ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 634.0.813:547.992.3

**А.П. Карманов, К.Г. Боголицын, Л.С. Кочева,
Д.В. Кузьмин, В.Ю. Беляев**

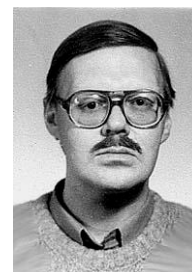
Карманов Анатолий Петрович родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Куйбышевский политехнический институт, доктор химических наук, заведующий лабораторией физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 180 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, самоорганизации и фракталов, нелинейной динамики.



Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии при АГТУ, академик МАНЭБ и РАИН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 250 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.



Беляев Валерий Юрьевич родился в 1963 г., окончил в 1985 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат химических наук, ст. научный сотрудник лаборатории физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 50 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, целлюлозы, лигноуглеводного комплекса.



ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИГНИНОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И АКАЦИИ*

Методами скоростной седиментации, поступательной диффузии и вискозиметрии исследованы гидродинамические свойства растворов лигнина сосны (*Pinus silvestris*) и белой акации (*Robinia pseudoacacia*); определены параметры зависимостей типа Марка–Куна–Хаувинка и величины гидродинамических инвариантов; установлена взаимосвязь гидродинамических и конформационных свойств образцов лигнина.

Ключевые слова: физико-химические свойства лигнинов, сосна, акация, вторичная ксилема.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 01-03-96402).

Одним из ключевых факторов, определяющих строение и свойства лигнина, является его филогенетическая предыстория как биологического объекта. Установлено, что лигнины эволюционно продвинутых покрытосеменных растений имеют более сложную химическую структуру, чем лигнины относительно более примитивных голосеменных [8, 14]. Топологическая структура макромолекул и физико-химические свойства лигнинов изучены еще недостаточно глубоко. Многие исследователи полагают, что природные лигнины имеют сетчатое строение вне зависимости от их ботанического происхождения. Однако в ряде работ [6, 7, 16] показано, что лигнины голосеменных и покрытосеменных растений отличаются как по химическому строению, так и по топологической структуре макромолекул. В связи с этим представляет интерес сравнительное изучение физико-химических свойств и структуры лигнинов различных растений, в том числе и цветковых, которые играют важную роль в жизни человека. Так, М.Ф. Борисенков показал [4] влияние природного лигнина травянистых растений на механизм гепато-энтеральной циркуляции половых гормонов у млекопитающих. По мнению Х. Адлеркройца [13] лигнин способствует профилактике онкологических заболеваний репродуктивных органов человека, связанных с нарушением в организме баланса стероидных гормонов, в частности эстрогенов и эстрадиолов.

В данной работе представлены результаты исследования лигнинов, выделенных из древесных растений – сосны обыкновенной и робинии псевдоакалии. Робиния (белая акация) может служить прекрасным сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности [17]. Это связано с высоким содержанием целлюлозы в древесине (более 50 % от массы вторичной ксилемы) при низком содержании лигнина (21 ... 24 %) и достаточно большой длиной волокна. Общая площадь плантаций белой акации, отличающейся высокой скоростью прироста биомассы, достигает в настоящее время более 3 млн га. Цель данной работы – исследовать физико-химические свойства разбавленных растворов лигнинов указанных биополимеров для установления топологической структуры их макромолекул.

Объекты исследования – лигнины вторичной ксилемы (стволовая часть) сосны обыкновенной *Pinus silvestris* (Архангельская область) и белой акации *Robinia pseudoacacia* (Краснодарский край). Лигнин сосны выделяли методом механического размола по Бьеркману (ЛБС), лигнин акации – диоксановым методом путем обработки предварительно измельченной и обесмоленной древесины смесью диоксан–вода в присутствии хлористого водорода при температуре кипения раствора (ДЛА). Аналитическая характеристика образцов получена с использованием стандартных методов. В табл. 1 представлены результаты элементного анализа (Hewlett Packard) и определения метоксильных групп.

Фракционирование лигнинов проводили методом дробного осаждения в системе диоксан (растворитель) – бензол (осадитель). Для исследования гидродинамических свойств лигнина были использованы методы скоростной седиментации, поступательной диффузии и вискозиметрии. Раствори-

Таблица 1

Характеристика препаратов лигнина

Препарат	Углерод	Водород	Метоксильные группы
	%		
ЛБС	62,2	5,9	13,2
ДЛА	59,1	6,6	19,5

тель – диметилформаид (ДМФА), плотность $\rho_0^{25} = 0,9473 \text{ г/см}^3$, вязкость $\eta_0^{25} = 0,78 \cdot 10^{-2} \text{ П}$. Концентрация полимера при измерениях отвечала критерию разбавленности Дебая $c[\eta] < 1$.

Коэффициенты скоростной седиментации S измеряли на аналитической ультрацентрифуге MOM-3180 в двухсекторной полиамидной кювете с образованием искусственной границы (при $48 \cdot 10^3 \text{ об/мин}$) по скорости смещения максимума ординаты седиментограммы:

$$S = (\Delta \ln x / \Delta t) \omega^{-2},$$

где x – координата максимума седиментограммы;

$\omega = 2\pi n$ – частота вращения ротора центрифуги.

Концентрация растворов примерно $(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$. Концентрационной зависимостью коэффициента S пренебрегали, поскольку, как показали предшествующие измерения на других лигнинных полимерах, указанная зависимость практически отсутствует. На рис. 1 представлена зависимость $\Delta \ln x$ от продолжительности седиментации t для некоторых фракций ДЛА в ДМФА.

Коэффициенты диффузии D определяли также с помощью аналитической ультрацентрифуги MOM-3180

($5 \cdot 10^3 \text{ об/мин}$) при использовании полиамидной кюветы наплаивающего типа, рабочие полости которой имеют секториальную форму. Концентрация растворов около $3 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$. Диффузионные кривые имеют симметричную форму, что позволило рассчитать значения коэффициентов D из построений на рис. 2 по формуле $D = \Delta(S/H)^2 / (4\pi F^2 \Delta t)$ [2] (где S и H соответственно площадь и максимальная ордината контура диффузионной кривой, F – масштабный множитель).

Вязкость растворов измеряли в капиллярном вискозиметре Оствальда с временем истечения растворителя 52 с. Температура измерения 298 К.

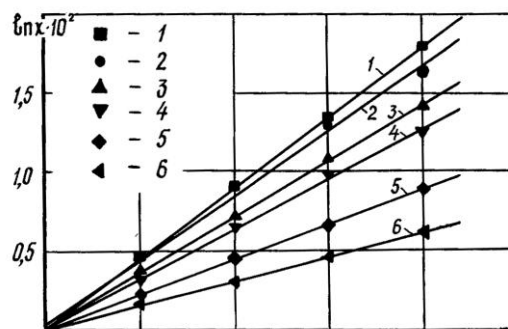
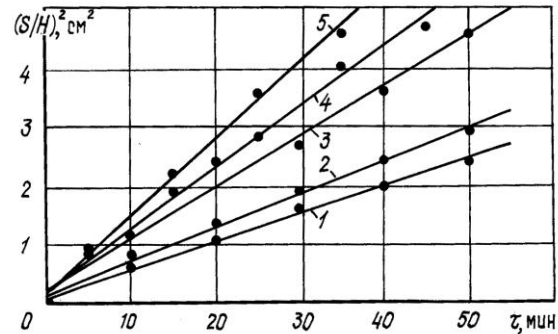


Рис. 1. Зависимость $\Delta \ln x$ (координата максимума границы седиментации) от времени седиментации фракций образца ЛА в ДМФА (номер прямой соответствует номеру фракции в табл. 2)

Рис. 2. Временная зависимость $(S/H)^2$ для некоторых фракций образца ДЛА: 1 – фракция 1; 2 – фракция 3; 3 – фракция 6; 4 – фракция 7; 5 – фракция 8



Характеристическую вязкость $[\eta]$ фракций полимера определяли линейной экстраполяцией зависимостей приведенной вязкости $[\eta]_{уд}/c$ к бесконечному разбавлению, выполненной в соответствии с известным уравнением Хаггинса и учетом поправки на плотность растворов.

Для вычислений M_{SD} использовали экспериментальные данные, найденные непосредственно для каждой из анализируемых фракций лигнина:

$$M_{SD} = S_0 RT / (1 - \bar{v}_0) D_0,$$

где $(1 - \bar{v}_0)$ – фактор плавучести Архимеда системы полимер – растворитель, для образца ЛБС имеем $(1 - \bar{v}_0) = 0,3146$, для образца ДЛА – $0,3494$.

При определении ММ низкомолекулярных фракций, в отличие от высокомолекулярных, вместо соотношения Сведберга использовали уравнение

$$M_{D\eta} = A_0^3 ([D]^3 [\eta]),$$

где A_0 – гидродинамический инвариант, определенный по результатам исследований высокомолекулярных фракций методом седиментационно-диффузионного анализа, $A_0 = \eta_0 D_0 (M_{SD} [\eta])^{1/3} / T$;

$$D = \eta_0 D_0 / T.$$

Существенное влияние полиэлектролитных эффектов на результаты измерений маловероятно, о чем свидетельствуют следующие факты: симметричность диффузионных кривых, уменьшение приведенной вязкости $[\eta]_{уд}/c$ с уменьшением концентрации раствора, возрастание (а не убывание!) приведенной вязкости при добавлении в раствор низкомолекулярной соли (LiCl).

В табл. 2 представлены гидродинамические характеристики фракций ЛБС и ДЛА соответственно. Величины характеристической вязкости $[\eta]$ всех фракций образцов сравнительно малы. Приблизительно такой же характеристической вязкостью обладают синтетические хаотически разветвленные полимеры и регулярно разветвленные полимеры из класса дендримеров [11]. Макромолекулы указанных полимеров характеризуются весьма высокой плотностью макромолекулярного клубка, в несколько раз превышающей аналогичный показатель для типичных линейных макромолекул. В то же время концепция непроницаемых жестких сфер для образцов ЛБС и

Таблица 2

Гидродинамические свойства образцов лигнина

Порядковый номер фракции	$[\eta]$, см ³ /г	$D \cdot 10^7$, см ² /с	$S \cdot 10^{13}$, с	$M_{SD} \cdot 10^{-3}$	$MD_{D\eta} \cdot 10^{-3}$	$A_0 \cdot 10^{10}$, эрг·К ⁻¹ ·моль ^{-1/3}	k_x	q
Лигнин сосны обыкновенной (ЛБС)								
1	7,6	11,1	2,06	14,6	14,6	3,0	0,81	4,2
2	7,2	12,9	1,64	10,0	9,8	3,0	1,23	4,0
3	6,7	14,3	1,41	7,8	7,7	3,0	1,33	3,7
4	6,0	16,2	1,09	5,3	5,9	2,9	1,23	3,3
5	5,6	18,6	0,97	4,1	4,2	3,0	1,07	3,1
6	5,1	22,2	0,85	3,0	2,7	3,1	1,22	2,8
7	4,5	24,6	–	–	2,3	–	1,47	2,5
8	4,1	26,1	–	–	2,1	–	1,71	2,3
9	3,7	28,9	–	–	1,7	–	1,87	2,1
10*	6,2	14,7	–	–	7,7	–	1,43	3,4
Лигнин белой акации (ДЛА)								
1	17,9	6,0	2,94	31,1	22,2	2,8	0,67	11,1
2	13,3	6,2	2,71	27,7	27,1	2,5	1,09	8,2
3	9,6	6,9	2,34	21,5	27,3	2,3	0,90	6,0
4	7,1	9,1	2,09	14,6	16,1	2,4	1,09	4,4
5	6,2	11,9	1,47	7,8	8,2	2,5	0,87	3,8
6	4,8	10,7	–	–	14,6	–	1,67	3,0
7	4,3	13,2	–	–	8,7	–	1,71	2,7
8	3,5	17,4	–	–	4,7	–	1,58	2,2
9*	8,2	9,4	–	–	12,8	–	1,09	5,1

* Нефракционированный образец

ДЛА не применима. Отличие от модели жестких сфер проявляется, в частности, в том, что $[\eta]_{\text{эксп}}$ существенно превышает величину, рассчитанную по уравнению Эйнштейна $[\eta] = 2,5 \cdot \bar{v}$. В табл. 2 представлены значения коэффициентов набухания q , рассчитанные по соотношению $q = 0,4\rho[\eta]$. Согласно расчетам, для высокомолекулярных фракций ДЛА коэффициент $q = 7 - 11$. Хвойный лигнин при прочих равных показателях характеризуется несколько меньшими значениями коэффициента набухания (2 – 4). Таким образом, характеристическая вязкость изучаемых полимеров в несколько раз превышает вязкость непроницаемых сферических частиц, поэтому модель Эйнштейна в данном случае неприменима.

Проанализируем более детально гидродинамические характеристики полимерной системы ЛБС–ДМФА (табл. 2). Для первой фракции характеристическая вязкость составляет 7,6 см³/г, для последней – 3,7 см³/г. Коэффициенты поступательной диффузии D изменяются в обратном порядке: минимальное значение $11,1 \cdot 10^{-7}$ см²/с установлено для фракции 1, максимальные значения $(26,1 \dots 28,9) \cdot 10^{-7}$ см²/с определены для фракций 8 и 9. Малые значения $[\eta]$, в 3-4 раза меньшие, чем для обычных гибкоцепных полимеров, указывают, как было отмечено выше, на относительно высокую плотность и компактность макромолекул лигнина. Погрешность определе-

ния коэффициентов седиментации S для олигомерных фракций существенно выше, чем для высокомолекулярных, поэтому седиментационные измерения были проведены не для всех фракций. Как видно из табл. 2, S закономерно возрастает при увеличении гидродинамических размеров макромолекул от 0,85 св для фракции 6 до 2,06 св для фракции 1. Значения молекулярной массы M_{SD} , рассчитанные по формуле Сведберга, варьируются в интервале 3 000 ... 14 600.

Известно, что конкретные числовые значения гидродинамических параметров имеют второстепенное значение с точки зрения решения задачи о выявлении конформационного состояния макромолекул в разбавленных растворах. Конформация макромолекул полимера в растворе идентифицируется путем установления корреляционных соотношений между $[\eta]$, коэффициентами диффузии D , седиментации S и молекулярной массой. Зависимость между этими величинами выражается степенными соотношениями типа Марка–Куна–Хаувинка:

$$[\eta] = K_{\eta}M^a; \quad S = K_S M^c; \quad D = K_D M^b.$$

Для установления конформации макромолекул необходимо, чтобы полученные фракции полимера попадали в так называемую область скейлинга (масштабная инвариантность). Прямолинейность зависимостей $\lg[\eta], \lg D_0, \lg S_0$ от $\lg M$ (рис. 3, а) для препарата ЛБС свидетельствует о соблюдении принципа масштабной инвариантности в диапазоне измеренных молекулярных масс, что позволило вычислить скейлинговые параметры (табл. 3), а также значения гидродинамического инварианта Цветкова–Кленина A_0 . Оказалось, что для препарата ЛБС значение A_0 заметно ниже, чем для типичных линейных полимеров. Отличительной особенностью гваяцильных лигнинов [10], в том числе и препарата ЛБС, является сравнительно низкая величина коэффициентов Марка–Куна–Хаувинка a и b . В данном случае, т.е. для системы ЛБС–ДМФА, в среднем $a = 0,26 \pm 0,01$. Это показывает, что скейлинговый индекс a практически соответствует теоре

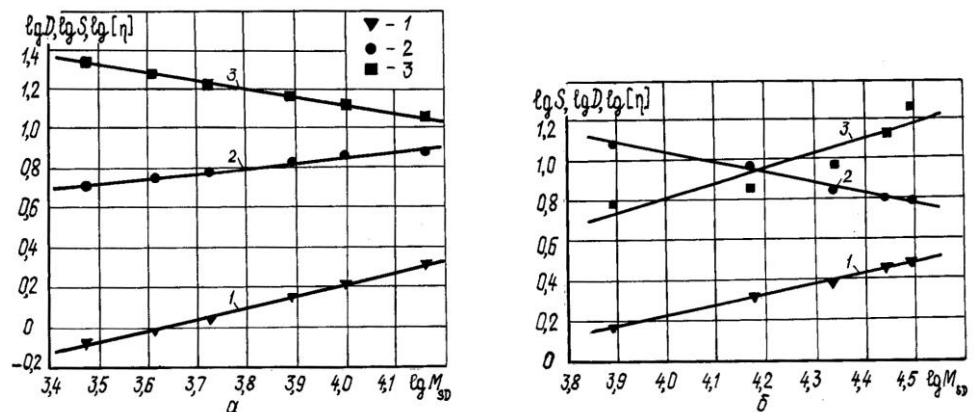


Рис. 3. Зависимости Марка–Куна–Хаувинка для систем ЛБС – ДМФА (а) и ДЛА – ДМФА (б): 1 – $\lg S - \lg M_{SD}$; 2 – $\lg[\eta] - \lg M_{SD}$; 3 – $\lg D - \lg M_{SD}$

Таблица 3

Параметры уравнения Марка–Куна–Хаувинка для различных образцов

Препарат	Вид обработки	Растворитель	a	b	c	K_{η}	K_D	K_S
Лигнин акация	ДЛА	ДМФА	$0,72 \pm 0,07$	$-0,52 \pm 0,03$	$0,48 \pm 0,02$	$0,83 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,97 \cdot 10^{-15}$
Лигнин сосны	ЛБС	ДМФА	$0,26 \pm 0,01$	$-0,43 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,03$	$64,20 \cdot 10^{-4}$	$0,66 \cdot 10^{-4}$	$0,84 \cdot 10^{-15}$
»	ЛМР	ДМСО	$0,25 \pm 0,02$	$-0,43 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,01$	$7,00 \cdot 10^{-4}$	$0,27 \cdot 10^{-4}$	$0,21 \cdot 10^{-15}$
Лигнин березы	ДЛ	ДМФА	$0,57 \pm 0,04$	$-0,45 \pm 0,04$	$0,55 \pm 0,05$	$4,00 \cdot 10^{-4}$	$0,65 \cdot 10^{-4}$	$0,85 \cdot 10^{-15}$

Примечание. ДЛ – диоксанлигнины, ЛМР – лигнины молотой древесины.

тическому значению этого параметра для хаотически разветвленных полимеров, хотя ДМФА не является Θ -растворителем для хвойных лигнинов. Ранее уже отмечалось [12] совпадение значений a в хорошем и Θ -растворителе для некоторых типов разветвленных полимеров. Поэтому полученное значение вискозиметрического показателя Марка–Куна–Хаувинка вполне согласуется с предположением о возможности отнесения лигнинов хвойных пород к типу хаотически разветвленных полимеров.

На рис. 3, б представлены зависимости $\lg[\eta]$, $\lg S$ и $\lg D$ от $\lg M_{SD}$ для препарата ДЛА, которые также носят прямолинейный характер. Стандартные ошибки определения скейлинговых индексов (a , b , c) для исследованных препаратов лигнина невелики, что свидетельствует о корректности линейной аппроксимации результатов в координатах уравнения Марка–Куна–Хаувинка и указывает на соблюдение принципа масштабной инвариантности, т. е. фракции полимеров ДЛА составляют полимергомологический ряд.

Сравнение скейлинговых индексов показывает, что конформационные характеристики лигнинов ЛБС и ДЛА существенно различны. Для препарата ДЛА установлено: $a = 0,72$, $b = -0,52$, $c = 0,48$. Т.А. Марченко [9] для лигнина из осины и березы определила аналогичные скейлинговые индексы: $a = 0,57 \dots 0,62$, $b = -0,45 \dots -0,55$, $c = 0,47 \dots 0,55$; для хвойных лигнинов ранее получены [5] следующие значения параметров Марка–Куна–Хаувинка: $a = 0,25 \pm 0,1$, $b = -0,38 \pm 0,05$, $c = 0,6 \pm 0,05$. Таким образом, по конформационным характеристикам гваяцилсирингильные лигнины, синтезируемые покрытосеменными растениями, существенно отличаются от лигнинов гваяцильного типа хвойных растений.

Для изучаемого в данной работе лигнина ДЛА значения скейлинговых показателей a , b и c являются типичными для линейных гибкоцепных полимеров. Как известно [1], в зависимости от термодинамического качества растворителя, числа мономерных звеньев и размера сегмента Куна линейные макромолекулы могут принимать несколько различных конформаций. Чаще всего в разбавленных растворах реализуются такие конформации, как статистически свернутый (гауссов) клубок, набухший непротекаемый

клубок, компактная глобула и протекаемый клубок. Последняя конформация характерна для полимеров с повышенной жесткостью макромолекулярной цепи. По мнению Д. Горинга [15], фрагменты сетчатой структуры полимеров в разбавленном растворе могут находиться в конформации типа набухшая глобула со скейлинговыми параметрами $a = 0 \dots 0,15$, $b = -0,33 \dots -0,38$, $c = 0,67 \dots 0,62$. Классы разветвленных полимеров (хаотические, звездообразные, дендримерные и др.) также образуют непротекаемые клубки, однако статистика распределения мономерных звеньев для этих структур отличается от гауссовой, поскольку макромолекулы указанных типов образуют более компактные клубки, чем простые линейные полимеры. В данном случае значения показателей степени a в вискозиметрическом соотношении Марка–Куна–Хаувинка отвечают линейным макромолекулам в конформации набухшего непротекаемого клубка. Значения параметров, характеризующих явления поступательного трения макромолекул, соответствуют конформации гауссового клубка, т.е. гидродинамическое поведение макромолекул ДЛА аналогично поведению линейных макромолекул в разбавленных растворах. Однако преждевременно делать вывод о том, что лигнин, выделенный из вторичной ксилемы белой акации, относится к обычным линейным полимерам.

Во-первых, следует отметить аномально низкую (для линейной структуры) характеристическую вязкость. Обычно линейные гибкоцепные полимеры имеют вязкость в несколько раз больше, а жесткоцепные на порядок выше, чем наблюдаемые в данной работе.

Во-вторых, следует обратить внимание на значения гидродинамического инварианта Цветкова–Кленина A_0 , которое существенно отличается от значений для типичных линейных полимеров. Параметр A_0 представляет собой квинтэссенцию гидродинамических свойств высокомолекулярных соединений. Для синтетических гибкоцепных и умеренно жесткоцепных полимеров обычно $A_0 = (3,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-10}$ эрг·моль^{-1/3}·К⁻¹. Жесткоцепные полимеры характеризуются средним значением $A_0 = (3,7 \pm 0,4) \cdot 10^{-10}$ эрг·моль^{-1/3}·К⁻¹. Для лигнинных полимеров, в отличие от типичных синтетических, инвариант A_0 является изменчивым параметром и зависит от ботанического происхождения. По данным [16] наименьшее значение A_0 имеют лигнины листовых пород древесины ($\leq 2,7 \cdot 10^{-10}$ эрг·К⁻¹·моль^{-1/3}), затем идут хвойные лигнины ($(2,9 \dots 3,0) \cdot 10^{-10}$ эрг·К⁻¹·моль^{-1/3}), далее – травянистые ($3,2 \cdot 10^{-10}$ эрг·К⁻¹·моль^{-1/3}). Как видно из табл. 1 и 2, для препарата ЛБС инвариант Цветкова–Кленина равен $3,0 \cdot 10^{-10}$ эрг·К⁻¹·моль^{-1/3}, для ДЛА – $2,5 \cdot 10^{-10}$ эрг·К⁻¹·моль^{-1/3}.

Таким образом, физико-химические свойства препарата ДЛА (см. табл. 2, 3) указывают на то, что топология его макромолекул не отвечает ни структуре сетчатого микрогеля, ни линейной структуре, ни хаотически разветвленной. По нашему мнению, в данном случае присутствуют основные признаки звездообразных структур, которые выявляются при анализе теоретических и экспериментальных данных по гидродинамическим и кон-

формационным свойствам полимеров со звездной топологией. Это подтверждается сравнением наших и ранее проведенных работ [7, 13, 17], в которых были исследованы гидродинамические свойства лигнинов, выделенных из древесины березы (*Betula verrucosa*) и осины (*Populus tremula*). Этот лигнин характеризовался следующими уравнениями Марка–Куна–Хаувинка:

$$[\eta] = 2,78 \cdot 10^{-4} M^{0,61}; S = 1,94 \cdot 10^{-15} M^{0,47}; D = 1,55 \cdot 10^{-4} M^{0,53}.$$

По мнению авторов [7, 9], макромолекулы березового лигнина представляют собой тетрафункциональные звезды, гидродинамические и конформационные свойства которых определяются линейной топологией ветвей и наличием единого центра – узла разветвления. Вопрос о природе центра звезды остается пока открытым, хотя наиболее вероятно, что таким центром может быть фенилпропановая единица (ФПЕ), при этом ветви могут отходить как от алифатической части ФПЕ (C_{α} и C_{β} -атомы), так и от ароматического кольца ($C1$, $C4$ и $C5$).

Таким образом, при исследовании физико-химических свойств разбавленных растворов лигнина из древесины сосны обыкновенной и белой акации определены значения молекулярных масс, характеристической вязкости, коэффициентов поступательной диффузии, седиментации, констант Хаггинса, показана выполнимость принципа масштабной инвариантности и вычислены значения гидродинамических параметров Цветкова–Кленина и Марка–Куна–Хаувинка. Полученные результаты свидетельствуют о том, что лигнин древесины сосны относится к хаотически разветвленным полимерам. Показана возможность отнесения лигнина акации к универсальному классу звездообразных высокомолекулярных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В.Г., Френкель С.Я., Бресткин Ю.В. Мерность различных состояний линейной макромолекулы // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 290, № 2. – С. 369–372.
2. Бектуров Е.А. и др. Практическое руководство по исследованию полимеров. Метод ультрацентрифугирования / Е.А. Бектуров, Ш.Ш. Шаяхметов, В.В. Роганов и др. – Алма-Ата, 1983. – 250 с.
3. Беляев В.Ю. и др. Гидродинамические свойства и топологическая структура диоксанлигнина осины по данным седиментационно-диффузионного анализа / В.Ю. Беляев, Т.А. Марченко, Л.И. Данилова, А.П. Карманов // Тр. Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 1999. – № 162. – С. 85–90.
4. Вайкшнорайте М.А. и др. Адсорбция половых стероидных гормонов на компонентах химуса рубца овец / М.А. Вайкшнорайте, А.М. Канева, А.П. Карманов, М.Ф. Борисенков // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сб. тр. – Москва, 2002. – № 6. – С. 176–180.
5. Карманов А.П., Монаков Ю.Б. Лигнин. Структурная организация и фрактальные свойства // Успехи химии. – 2003. – № 9. – С. 180–185.
6. Карманов А.П., Монаков Ю.Б. Структура макромолекул лигнина // Высокомолекул. соединения. – 1996. – Т. 38(Б), № 9. – С. 1631–1642.

7. Карманов А.П. и др. Топологическая структура природного лигнина березы / А.П.Карманов, В.Ю. Беляев, Т.А. Марченко и др. // Высокомолекул. соединения. – 2002. – Т. 44 (А), № 2. – С. 233–238.
8. Лигнины (структура, свойства и реакции) / Под ред. К. Сарканена, К. Людвиг. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 340 с.
9. Марченко Т.А. Топологическая структура макромолекул лиственных лигнинов: Дис. ... канд. хим. наук. – Архангельск, 2002. – 28 с.
10. Павлов Г.М. и др. Молекулярные характеристики фракций лигнина молотой древесины / Г.М. Павлов, Н.А. Михайлова, В.Ю. Беляев, В.Н. Сюткин // Журн. прикл. химии. – 1995. – Т. 68, № 2. – С. 316–320.
11. Павлов Г.М. и др. Поступательное и вращательное трение молекул лактодендримеров в растворах / Г.М. Павлов, Е.В. Корнеева, С.А. Непогодьева и др. // Высокомолекул. соединения. – 1998. – Т. 40 (А), № 12. – С. 2056–2064.
12. Твердохлебова И.И. Основные гидродинамические характеристики полимеров со звездной и гребнеобразной структурой макромолекул // Успехи химии. – 1977. – Т. 46. – Вып. 7. – С. 1279–1301.
13. Adlercreutz H. Western diet and Western diseases. Some hormonal and biochemical mechanisms and associations // Scand. J. Clin. Invest. – 1990. – Vol. 50. – P. 3–23.
14. Fengel D., Wegener G. Wood: Chemistry. Ultrastructure, Reaction. – Berlin: Walter de Gruyter, 1983. – 320 с.
15. Goring D.A.I. The physical chemistry of lignin // Pure Appl. Chem. – 1962. – Vol. 5, 1/2. – P. 233–253.
16. Karmanov A.P. at els. Topological structure of lignin macromolecules / A.P. Karmanov, L.S. Kocheva, V.Yu. Belyaev, T.A. Marchenco // XI Intern. Symposium on Wood and Pulping Chemistry: Proc. Nice, France, 2001. – Vol. 2. – P. 7–10.
17. Kopitovic S., Klasnja B. Study of some young wood properties of several black locust clones // Drev. Vysk. – 2000. – Vol. 45, N 2. – P. 15–24.

Институт химии Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 11.07.03

*A.P. Karmanov, K.G. Bogolitsyn, L.S. Kocheva,
D.V. Kuzmin, V.Yu. Belyaev*

Analysis of Physical-and-chemical Properties of Pine and Acacia Lignins

Hydrodynamic properties of *Pinus Silvestris* and *Robinia Pseudoacacia* lignin solutions have been investigated by methods of velocity sedimentation, translational diffusion and viscosimetry. Parameters of Mark-Kuhn-Houwink dependencies and hydrodynamic invariants have been determined. The relationship between hydrodynamic and conformational lignin properties is set.

УДК 533.9:630*86

Ю.В. Чуркина, О.М. Соколов, М.Н. Васильев, Д.Г. Чухчин

Чуркина Юлия Викторовна родилась в 1974 г., окончила в 1997 г. Поморский государственный университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ в области химической переработки растительного сырья.



Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, ректор, заведующий кафедрой биотехнологии Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 170 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.



Васильев Михаил Николаевич родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Московский физико-технический институт, доктор технических наук, зам. проректора МФТИ по научной работе. Имеет более 80 печатных трудов в области физики и химии плазмы.



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 30 печатных работ в области химической переработки древесины.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОЭНТАЛЬПНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ НА ТОРФ

Исследовано воздействие низкоэнтальпийной электронно-пучковой плазмы на торф; предложены пути использования продуктов обработки в промышленности.

Ключевые слова: торф, обработка, низкоэнтальпийная электронно-пучковая плазма.

Несмотря на огромные запасы торфа в мире и в России, в частности, применение его в народном хозяйстве крайне незначительно. В настоящее время торф используется в сельском хозяйстве и как топливо, исключая другие, быть может более перспективные, направления.

Основными компонентами торфа, как и древесины, являются целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин и экстрактивные вещества. Элементарный состав растений-торфообразователей сходен с элементарным составом древесины хвойных и лиственных пород.

Известные методы химической переработки растительного сырья, в том числе и торфа, требуют высоких затрат реагентов, энергии и приводят, как правило, к инициированию нежелательных процессов и образованию большого количества отходов.

Физические способы воздействия, основанные на использовании современных методов радиационной обработки, также не находят применения в промышленности из-за низкого КПД и высокой энергоемкости процессов.

Поэтому актуален поиск методов безреагентного воздействия на торф, позволяющих увеличить растворимость обработанного продукта в воде и водных растворах реагентов и тем самым повысить коэффициент использования сырья, а также снизить уровень антропогенного воздействия на окружающую среду.

Для этой цели предложено использовать низкоэнтальпийную электронно-пучковую плазму (ЭПП), генерируемую при инъекции электронного пучка в газообразную среду [3]. В качестве объекта исследования использовали комплексный торф верхового типа моховой группы со степенью разложения 5 и 20 %. Степень разложения торфа характеризуется процентным содержанием в нем аморфной массы. Частицы измельченного торфа (фракция 0,09 ... 0,50 мм) закрепляли на фильтровальной бумаге (мишень диаметром 200 мм) в листоотливном аппарате путем высаживания из водной взвеси и последующего высушивания. Варьируя состав и давление плазмообразующей среды, а также параметры электронного пучка, обработку ЭПП проводили на специальной установке [2], разработанной на кафедре физической механики МФТИ. После обработки мишени делили на примерно одинаковые по массе зоны, для каждой из которых были рассчитаны удельные энергозатраты на обработку.

Интересным представлялось исследовать влияние удельного расхода энергии ($E_{уд}$) ЭПП на обработку и вида плазмообразующей среды на деструкцию торфа. Изменение компонентного состава торфа в результате воздействия оценивали в соответствии со стандартными методиками определения химического состава растительного сырья по следующим параметрам: содержание веществ, экстрагируемых горячей водой; содержание легко- и трудногидролизуемых полисахаридов (ЛГП и ТГП), негидролизуемого остатка.

Влияние удельной дозы обработки ЭПП на деструкцию верхового торфа со степенью разложения 5 %

Обработка торфа в течение 10 мин при использовании H_2O в качестве плазмообразующего газа, мощности пучка электронов 140 Вт (ускоряющее напряжение и ток – $28 \text{ кВ} \times 5 \text{ mA}$) и давления 14 мм рт. ст. показала, что воздействие на торф низкоэнтальпийной ЭПП приводит к значительному изменению его компонентного состава (рис. 1). Так, при повышении

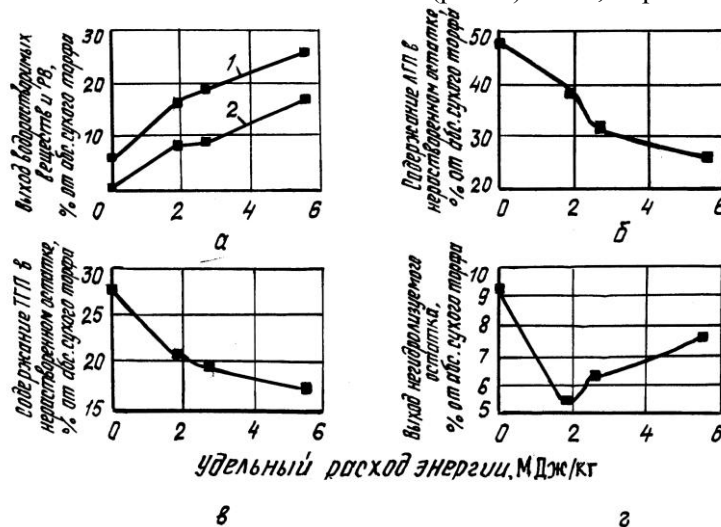


Рис. 1. Влияние удельного расхода энергии на содержание основных компонентов торфа: 1 – водорастворимые вещества (ВВ); 2 – редуцирующие вещества (РВ) после инверсии; а – выход ВВ и РВ; б – содержание ЛГП; в – содержание ТГП; г – выход негидролизующего остатка (■ – плазмообразующий газ H_2O)

удельных энергозатрат на обработку торфа происходит снижение содержания ЛГП (вследствие их превращений в низкомолекулярные соединения) и ТГП (в результате деструкции макромолекул целлюлозы). Продукты деструкции ЛГП и ТГП переходят в водорастворимое состояние, что подтверждается увеличением количества водорастворимых веществ с 5,4 % в исходном торфе до 25,5 % ($E_{уд} = 5,6 \text{ МДж/кг}$). Рост выхода негидролизующего остатка вследствие конденсационных процессов наблюдается при $E_{уд} = 1,9 \text{ МДж/кг}$.

Влияние удельных энергозатрат на плазмохимическую обработку и вида плазмообразующей среды на деструкцию верхового торфа со степенью разложения 20 %

Обработка торфа со степенью разложения 20 % при использовании плазмообразующих газов O_2 и H_2O и мощности пучка электронов 260 Вт ($26 \text{ кВ} \times 10 \text{ mA}$) в течение 10 мин показала, что плазмохимическое воздействие, как и в эксперименте с торфом со степенью разложения 5 %, повышает

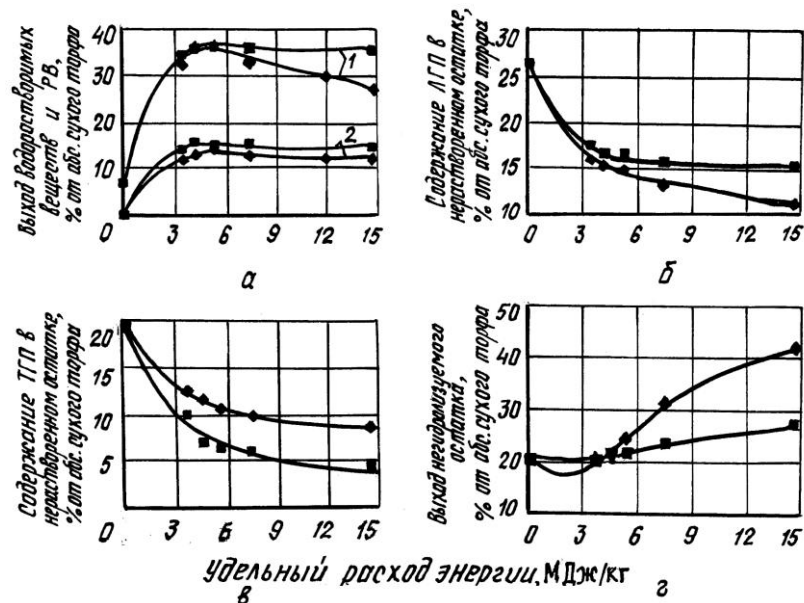


Рис. 2. Влияние удельного расхода энергии на содержание основных компонентов торфа (см. обозначения на рис. 1; ■ – плазмообразующий газ H_2O , ◆ – O_2)

выход водорастворимых веществ (ВВ) за счет уменьшения содержания ЛГП и ТГП (рис. 2). Причем, максимальный выход ВВ в обоих вариантах достигается при $E_{уд}$ до 4,2 МДж/кг, и дальнейшее увеличение удельного расхода энергии на обработку практически не приводит к росту этого показателя. Такая же закономерность характерна и для содержания редуцирующих веществ (РВ) в составе этой фракции.

Однако не все водорастворимые вещества определяются как углеводы, о чем свидетельствует значительная разница (более чем в 2 раза) между количеством ВВ и РВ после инверсии в составе этой фракции.

Некоторая часть продуктов превращения полисахаридов, не перешедших в водный раствор, по-видимому, через промежуточные низкомолекулярные соединения участвует в конденсационных процессах, о чем можно судить по увеличению выхода негидролизующего остатка.

Сравнение результатов обработки торфа в среде плазмообразующих газов H_2O и O_2 показало, что процессы конденсации происходят интенсивнее в присутствии O_2 , о чем свидетельствует больший выход (до 41,7 % при $E_{уд} = 14,7$ МДж/кг) негидролизующего остатка (рис. 2, z).

Обработка ЭПП при расходе энергии свыше 4,2 МДж/кг сопровождается высокими энергозатратами, однако она не приводит к увеличению количества ВВ. Поэтому с целью поиска оптимального интервала удельного расхода энергии (дозы) была проведена обработка (продолжительность обработки 5 мин, мощность пучка электронов 260 Вт, давление 7 мм рт. ст.)

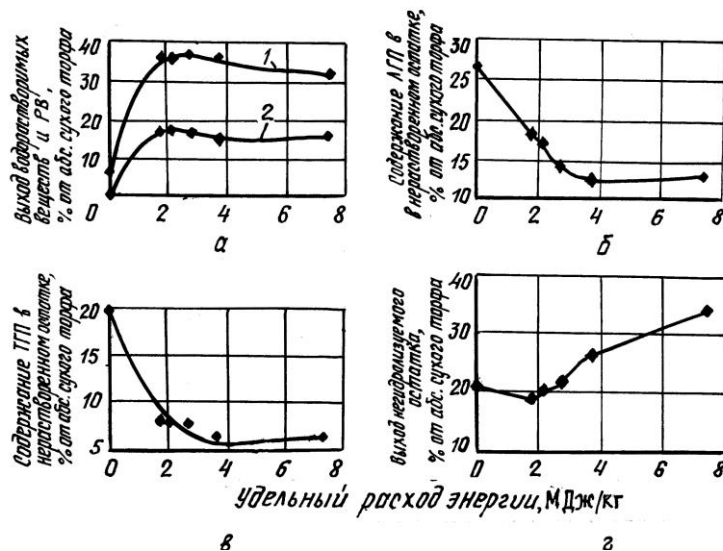


Рис. 3. Влияние удельного расхода энергии на содержание основных компонентов торфа (см. обозначения на рис. 1; \blacklozenge – плазмообразующий газ O_2)

в среде O_2 в интервале $E_{уд} = 1,8 \dots 7,4$ МДж/кг (рис. 3). Полученные данные подтверждают общие закономерности изменения компонентного состава торфа в результате воздействия ЭПП. Удельный расход энергии на плазмохимическую обработку можно снизить $E_{уд} < 1,8$ МДж/кг, так как при этом значении достигается максимальный выход ВВ. Дальнейшее увеличение удельного расхода энергии приводит к усилению конденсационных процессов. Следует отметить, что использовать плазму, образованную газом H_2O , предпочтительнее, нежели образованную O_2 .

Оптимизация обработки торфа ЭПП с целью достижения максимального выхода водорастворимых веществ при минимальных энергозатратах

Обработка ЭПП в среде H_2O при мощности пучка электронов 150 Вт (25 кВ \times 6 мА) и продолжительности обработки от 0,5 до 5,0 мин показала, что достаточно высокий выход водорастворимых веществ (26 %) достигается уже при энергозатратах до 1,0 МДж/кг. Дальнейшее увеличение дозы обработки приводит к незначительному (на 2,0 ... 2,5 %) росту их количества (рис. 4).

Удельная мощность обработки незначительно влияет на выход ВВ, что позволяет интенсифицировать процесс и уменьшить продолжительность воздействия до нескольких секунд.

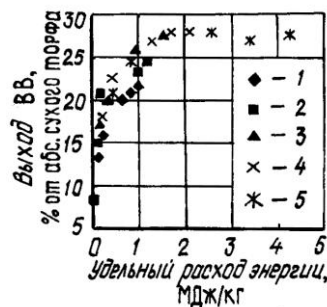


Рис. 4. Зависимость выхода ВВ от удельного расхода энергии на обработку при различных значениях удельной мощности: 1 – 3,4; 2 – 4,0; 3 – 5,1; 4 – 7,1; 5 – 14,3 кВт/кг

*Исследование состава и свойств водорастворимых веществ
плазмохимически обработанного верхового торфа*

Химическое и спектрометрическое исследование экстрактов водорастворимых веществ торфа, обработанного в среде O_2 , показало, что плазмохимическая обработка приводит к увеличению содержания карбоксильных (до 8,3 %) и карбонильных (до 12,9 %) групп (в исходном торфе соответственно 5,0 и 5,2 %).

При изучении экстрактов водорастворимых веществ методом эксклюзионной ВЭЖХ с УФ детектором при 280 нм было обнаружено (рис. 5), что обработка торфа ЭПП не приводит к коренным изменениям размеров макромолекул, поглощающих при этой длине волны и переходящих в водорастворимое состояние.

При малых дозах обработки коэффициент экстинкции ϵ водорастворимых веществ при $\lambda = 280$ нм снижается, при больших (более $E_{уд} = 4,2$ МДж/кг) – увеличивается (рис. 6). Возрастание выхода ВВ совпадает с уменьшением ϵ , и наоборот. Снижение ϵ связано с разрушением ароматических структур, а его рост совпадает с процессом их конденсации, о чем свидетельствует и увеличение выхода негидролизованного остатка (см. рис. 2, 3).

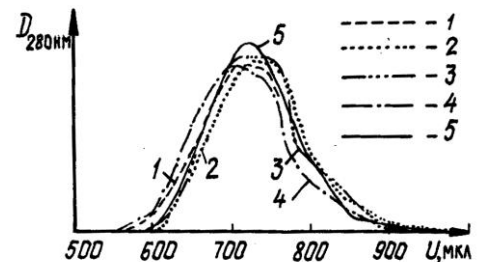


Рис. 5. Нормированные хроматограммы ВВ торфа при различных значениях удельного расхода энергии на обработку: 1 – 14,7 МДж/кг; 2 – 7,4; 3 – 5,3; 4 – 3,5 МДж/кг (5 – исходный образец)

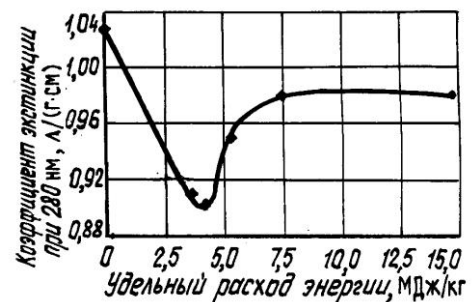


Рис. 6. Зависимость коэффициента экстинкции ВВ от удельных энергозатрат на обработку торфа

*Исследование возможности применения верхового торфа,
обработанного ЭПП, для производства кормовых дрожжей*

Нами проведен маломодульный гидролиз исходного торфа со степенью разложения 5 % и обработанного торфа ($E_{уд} = 1,9$ МДж/кг, плазмообразующий газ – H_2O). Выращивание кормовых дрожжей на полученных гидролизатах показало благоприятное влияние плазмохимической предобработки торфа электронно-пучковой плазмой на рост биомассы дрожжей. В проведенных экспериментах выход дрожжей достигал соответственно 53 и 140 кг на 1 т абс. сухого торфа.

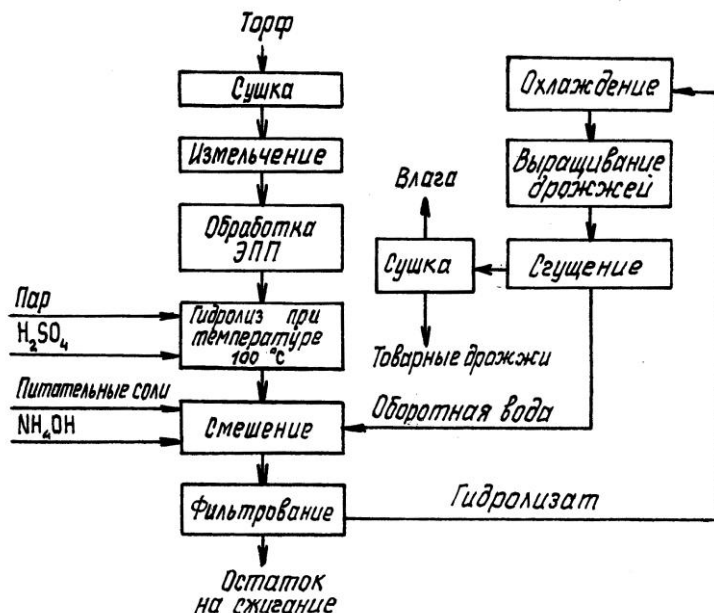


Рис. 7. Принципиальная схема переработки верхового торфа на кормовые дрожжи с включением обработки ЭПП

Исходя из полученных данных, была разработана блок-схема производства кормовых дрожжей на верховом торфе, обработанном ЭПП (рис. 7).

Особенностью данной схемы является проведение гидролиза при атмосферном давлении, что упрощает технологический процесс и практически сводит к минимуму разложение образующихся моносахаридов. Схема почти полностью исключает сброс сточных вод и вредных парогазовых выбросов. Применение в этой схеме предобработки торфа ЭПП позволит повысить долю извлекаемых из торфа и ассимилируемых микроорганизмами органических веществ и значительно увеличить выход дрожжей. Проведение гидролиза при малом гидромодуле (1–3) дает возможность снизить энергозатраты на нагрев варочной кислоты, расходы воды, кислоты и нейтрализующих реагентов.

Оценка эффективности применения экстрактов верхового торфа, обработанного ЭПП, в производстве бумаги

Благодаря высокому содержанию гемицеллюлоз верховой торф может служить источником углеводов, подобных тем, что применяют в качестве добавки при производстве бумаги для увеличения межволоконных сил связи. Дополнительное воздействие ЭПП на торф позволяет увеличить количество экстрагируемых водой веществ, значительно снизить степень полимеризации гемицеллюлоз и целлюлозы, а также увеличить содержание в этих полимерах гидрофильных функциональных групп.

Ранее [3] было установлено, что вносимые в целлюлозу добавки водорастворимых веществ способствуют улучшению механических свойств бумаги. При расходе добавки в количестве 0,5 % разрывная длина бумаги увеличивается на 11 % при одновременном росте сопротивления продавливанию на 14 %. Добавка в целлюлозу такого же количества специального катионитного крахмала дает увеличение этих показателей соответственно на 10 и 20 %.

Предложена блок-схема получения добавок водорастворимых веществ, извлеченных из плазмохимически обработанного верхового торфа, для применения в ЦБП с целью увеличения прочности бумажного листа. Согласно этой схеме высушенный до воздушно-сухого состояния верховой торф обрабатывают ЭПП, затем экстрагируют горячей водой при гидромодуле 5. После фильтрования полученный экстракт вносится в бумажную композицию. В экстракт переходит до 26 % от массы торфа, остаток рекомендуется использовать для сжигания.

Проведенный расчет себестоимости полученной добавки показал, что применение экстракта водорастворимых веществ плазмохимически обработанного торфа более чем в 4 раза экономичнее, чем использование для этой цели модифицированного крахмала.

На основании полученных результатов сделаны следующие выводы.

1. Обработка торфа ЭПП приводит к увеличению количества веществ, экстрагируемых горячей водой, с 6,7 до 36,7 % за счет деструкции ЛГП, ТГП, лигнина. Однако при высоком удельном расходе энергии на обработку (свыше 2,7 МДж/кг) происходит уменьшение количества водорастворимых веществ за счет процессов конденсации, циклизации продуктов гидролиза, в результате чего увеличивается выход негидролизуемого остатка.

2. Определены оптимальные условия обработки торфа ЭПП: плазмообразующий газ – H_2O , удельный расход энергии – до 1,0 МДж/кг, давление газа – 12 ... 20 мм рт. ст. при ускоряющем напряжении 26...28 кВ.

3. Предобработка верхового торфа ЭПП с последующим малоомдульным гидролизом позволит организовать экологически безопасное производство кормовых дрожжей.

4. Водорастворимый продукт деструкции плазмохимически обработанного торфа может быть использован в качестве связующего материала в производстве бумаги. При его введении в композицию улучшаются прочностные характеристики бумажного листа. Например, при введении добавки водорастворимых веществ в количестве 0,5 % разрывная длина увеличивается на 11 %, сопротивление продавливанию – на 14 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков В.Л., Васильев М.Н., Коротеев А.С. Электронно-пучковая плазма. Генерация, свойства, применение: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГОУ, 1993. – 168 с.

2. Соколов О.М., Васильев М.Н., Чухчин Д.Г. Исследование изменения состава древесины при обработке низкоэнтальпийной электронно-пучковой плазмой // Лесн. журн. – 1999. – № 2–3. – С. 167–175. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Соколов О.М. и др. Перспективы использования плазмохимически обработанного торфа в ЦБП / О.М. Соколов, В.И. Комаров, Ю.В. Чуркина и др. // Перспективы освоения минерально-сырьевой базы Архангельской области: Сб. науч. тр. межд. научно-практ. конф. – Архангельск, 2002. – С. 161–164.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 21.03.03

Yu. V. Churkina, O. M. Sokolov, M. N. Vasiljev, D. G. Chukhchin
Study of Influence of Low-enthalpy Electron-beam Plasma on Peat

The influence of low-enthalpy electron-beam plasma on peat has been studied. The ways of utilizing treatment products in industry are suggested.

УДК 676.163.082.2

Ю.Г. Хабаров, Н.А. Онохина, Л.В. Гусаков

Хабаров Юрий Германович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор химических наук, профессор кафедры технологии ЦБП Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 печатных трудов в области химической переработки древесины.



Гусаков Леонид Вячеславович родился в 1947 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, начальник научно-исследовательского сектора, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных трудов в области теории растворов и физико-химического анализа многокомпонентных систем.



ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗОЛИГНОСУЛЬФОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛИГНОСУЛЬФОНОВЫХ КИСЛОТ ЖЕЛЕЗОМ В ПРИСУТСТВИИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Исследовано влияние различных факторов на образование железолигносульфонатного комплекса.

Ключевые слова: лигносульфонаты, железолигносульфонатный комплекс, железо, емкость.

Лигносульфонаты представляют собой универсальный продукт с широким диапазоном потребительских свойств. Они находят непосредственное применение в различных отраслях промышленности. В таблице приведены основные направления использования лигносульфонатов.

Модифицирование лигносульфоновых кислот является основным путем расширения области их применения [12]. Одним из перспективных направлений использования лигносульфонатов является сельское и лесное хозяйство. Микроудобрения на основе лигносульфоновых кислот (ЛСК) представляют собой прочные комплексы с катионами биогенных металлов [11]. Наиболее важным биогенным микроэлементом является железо, так как его ионы потребляются растениями в значительных количествах. Производные ЛСК и железа можно получить различными способами [12]. Первой в этом направлении была работа Беннета [2]. Его способ был нами усовершенствован [3]. По этому способу железолигносульфонатный комплекс (FeЛСК) получают смешением щелочного раствора ЛСК с солью трехвалентного железа в присутствии сульфит-аниона, в результате чего образует-

ся водорастворимый комплекс, содержащий до 28 % железа в форме, устойчивой в широком диапазоне рН.

Отрасль	Назначение
Черная и цветная металлургия	Литейные крепители для формовочных и стержневых смесей; противопопригарные пасты, краски; связующая добавка, обеспечивающая необходимую прочность огнеупорных изделий; средство для окомкования металлургического сырья; связующее для окускования металлургической шихты [7].
Цементная промышленность	Разжижитель сырьевого шлама для снижения его влажности и повышения текучести при мокром способе производства цемента [10].
Строительная индустрия	Добавка в бетоны и железобетонные изделия в целях улучшения их пластических свойств и повышения водонепроницаемости и морозостойкости; производство кирпича, керамических изделий [14].
Геология, добыча полезных ископаемых	Реагенты для бурения в нефтяной, газовой промышленности и геологии, для выработки модифицированных продуктов; приготовление буровых растворов [8].
Легкая промышленность	Производство синтетических дубителей, выработка искусственных кож, фарфоровых изделий [12].
Химическая промышленность	Производство химических средств защиты растений и удобрений [7].
Промышленность химико-лесного комплекса	Производство фанеры, древесностружечных и древесноволокнистых плит [9].
Лесное и сельское хозяйство	Производство микро- и макроудобрений, стимуляторов биологических процессов [12].

Нитрирование ЛСК [4] позволяет значительно увеличить их емкость по отношению к катионам биогенных металлов. Аналогичный продукт может быть также получен путем обработки раствора ЛСК азотной кислотой в присутствии соли двухвалентного железа [5]. При проведении полевых испытаний с различными сельскохозяйственными культурами нами установлено, что использование FeЛСК является экономически предпочтительным по сравнению с синтетическими комплексонами железа. Однако полученные вышеуказанными способами комплексы обязательно содержат балластные ионы, которые при внесении в почву не усваиваются растениями и в ряде случаев оказывают негативное влияние. Не содержащий балластных ионов продукт можно получить при анодном растворении железа [6]; недостатками этого способа являются большой расход электроэнергии и затраты на технологическое оборудование.

Попытки получить железолигносульфонатный комплекс путем растворения металлического железа в растворе лигносульфонатов или лигносульфоновых кислот успехом не увенчались, поскольку скорость растворения железа слишком мала. Для увеличения скорости растворения металли-

ческого железа нами было предложено проводить синтез комплекса не в растворе лигносульфонатов, а в их смесях с азотной кислотой, что приводит к получению продукта, содержащего только нитрат-анионы, которые усваиваются растениями, тогда как введение других анионов (сульфаты, хлориды и др.) снижает качество получаемого продукта.

В этом способе синтеза железолигносульфонатного комплекса, кроме растворения железа, параллельно происходят процессы нитрования ЛСК и комплексообразования железа с ЛСК. Соотношение этих процессов определяется условиями синтеза. Цель данной работы состояла в изучении влияния температуры, расхода азотной кислоты и концентрации ЛСТ на свойства железолигносульфонатного комплекса.

Экспериментальная часть

В ходе эксперимента использовали раствор технических лигносульфонатов (концентрация 48 г/л); азотную кислоту квалификации «ч.д.а.» (концентрация 63 %); стружку серого чугуна (просеянные частицы размером менее 1 мм); раствор сульфата железа (II) квалификации «х.ч.» (концентрация по катиону железа 1 г/л); серную кислоту (плотность 1830 кг/м³, концентрация 93 %); сульфосалициловую кислоту (концентрация 200 г/л); раствор аммиака (концентрация 205,6 г NH₃/л).

Синтез FeЛСК осуществляли путем добавления к 100 мл раствора лигносульфонатов заданного объема раствора HNO₃ и определенного количества чугунной стружки. Реакционную смесь выдерживали в течение суток с последующим фильтрованием. В фильтрах определяли емкость синтезированного комплекса по отношению к катиону железа и содержание в нем железа фотометрическим методом [13].

Для определения емкости к 1 мл исследуемого раствора добавляли заданный объем раствора сульфата железа (II) и доводили его до 4 мл дистиллированной водой, тщательно перемешивали, добавляли раствор аммиака и снова перемешивали. Наличие осадка контролировали визуально. За емкость железолигносульфонатного комплекса по отношению к иону двухвалентного железа принимали максимальный расход катиона железа по отношению к лигносульфонатам, при котором не наблюдается выделения осадка.

Для определения содержания железа проводили термическую кислотную обработку синтезированного продукта в мерных колбах вместимостью 25 мл на кипящей водяной бане. Перед нагреванием в колбу вносили 5 мл исследуемого раствора и 0,6 мл раствора концентрированной серной кислоты. После нагревания в течение 10 мин содержимое колбы охлаждали до комнатной температуры и доводили объем до метки дистиллированной водой. Образующийся при этом осадок лигнинных соединений отделяли фильтрованием. В фильтрате содержание железа определяли фотометрически с сульфосалициловой кислотой: в мерную колбу вместимостью 100 мл вносили известный объем исследуемого раствора, добавляли 1 мл раствора сульфосалициловой кислоты (концентрация 200 г/л) и 3 мл раствора кон-

центрированного аммиака, содержимое колбы перемешивали, доводили объем до метки дистиллированной водой, снова перемешивали. Оптическую плотность раствора определяли при длине волны 440 нм по отношению к дистиллированной воде в кюветах толщиной 10 мм.

Обсуждение результатов

Для синтеза железолигносульфонатного комплекса, пригодного для практического использования, необходимо подобрать такие расходы реагентов и условия проведения реакции, при которых образующиеся модифицированные лигносульфонаты имели максимальное содержание железа и были устойчивые в широком диапазоне рН.

Расход азотной кислоты варьировали от 25 до 100 % от ЛСК. Связь между расходом азотной кислоты и концентрацией железа в растворе и емкостью комплекса по катиону Fe(II) отражена на рис. 1, 2, из которых видно, что при увеличении расхода азотной кислоты концентрация железа в растворе возрастает, тогда как на емкость комплекса по катиону железа увеличение расхода кислоты особого влияния не оказывает в области повышенных концентраций лигносульфонатов.

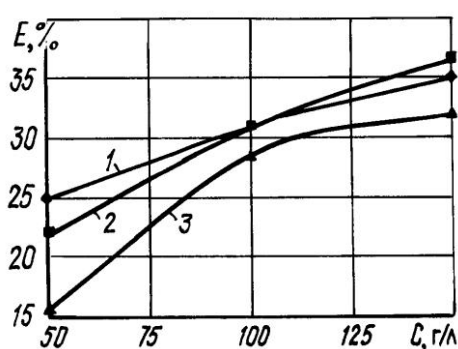


Рис. 2. Зависимость емкости E комплекса по катиону Fe(II) в растворе от концентрации ЛСК (C) при температуре 20 °C и расходе азотной кислоты 25 (1), 50 (2), 100 % от с.в. ЛСК (3)

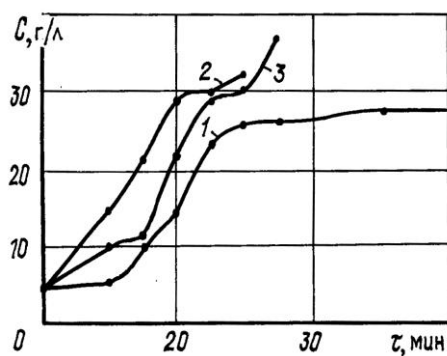


Рис. 3. Зависимость концентрации C катионов железа (II) от продолжительности τ реакции получения FeЛСК при температуре 20 (1), 40 (2), 50 °C (3)

В ходе синтезов, выполненных с большим расходом азотной кислоты (150 ... 200 %), выделяется большое количество оксидов азота, появляются сильное пенообразование и осадок.

Как видно из рис. 1, при концентрациях ЛСК 100 и 150 г/л увеличение расхода азотной кислоты свыше 50 % незначительно влияет на концентрацию ионов железа в растворе.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что для синтеза железолигносульфонатного комплекса следует использовать ЛСК с максимально возможной концентрацией, что выгодно с экономической точки зрения. Эксперимент показал (рис. 2), что емкость комплекса по катиону Fe(II) в большей степени зависит от концентрации лигносульфонатов, чем от расхода азотной кислоты.

Как известно [1], при повышении температуры взаимодействие азотной кислоты с лигносульфонатами идет более интенсивно. Влияние температуры на продолжительность реакции было изучено в опытах, при проведении которых температуру изменяли в диапазоне от 20 до 50 °С. Продолжительность реакции составляла до 80 мин.

Анализируя рис. 3 можно сделать вывод, что увеличение температуры обработки, как и следовало ожидать, ускоряет реакцию образования железолигносульфонатного комплекса. Однако при увеличении температуры выше 50 °С, происходит выделение осадка, что снижает потребительское качество синтезируемого продукта.

Также следует отметить, что увеличение температуры не оказывает существенного влияния на конечные значения содержания железа и емкости по отношению к катиону Fe(II).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парашина Ф.И., Елкин В.В., Шорыгина Н.Н. Исследование нитролигносульфоновых кислот // Химия древесины. – 1972. – № 11. – С. 69–76.
2. Пат. 2929700 США, МКИ³ С 07 G 1/00 С 07 F 15/02. Composition and method of plants/ J.P. Bennett (США; Lafayette, Calif.) N 532375; Заявлено 02.09.55; Оpubл. 22..03.60; НКИ 71-1. – 5 с.
3. Пат. 988823 СССР, МКИ³ С 07 G 1/00, С 07 F 15/02. Способ получения железолигносульфонатного комплекса / Ю.Г. Хабаров, Г.В. Комарова, Г.Ф. Прокшин // Открытия. Изобрет. – 1983. – № 2. – С. 104
4. Пат. 2165936 РФ, МКИ⁷ С 07 F 15/02, С 07 G 1/00. Способ получения щелочерастворимого хелата железа / Ю.Г. Хабаров, Н.Н. Кошутина, А.Е. Шергин // Открытия. Изобрет. – 2001. – № 12. – С. 429.
5. Пат. 2007414 РФ, МКИ⁵ С07G 1/00. Способ получения антихлорозного средства на основе железолигносульфонатного комплекса / Ю.Г. Хабаров, Г.В. Комарова, Л.М. Софрыгина, И.С. Образцова, Н.А. Зайцева // Открытия. Изобрет. – 1994. – № 3. – С. 74.
6. Пат. 2100365 РФ, МКИ⁶ С 07 F 15/02, С 07 G 1/00. Способ получения антихлорозного препарата / Ю.Г. Хабаров, Г.В. Комарова, Н.А. Зайцева, А.Е. Шергин, Л.М. Софрыгина // Открытия. Изобрет. – 1997. – № 36. – С. 286.
7. Попова В.Л., Шитова Т.Т., Макарова Г.А. Новые связующие материалы на основе технических лигносульфонатов // Использование древесного сырья: Тез. докл. 1-й Всесоюз. конф. – Рига, 1984. – 1984. – С. 64–66.

8. Прохоров Н.М. и др. Украинские лигносульфонаты в производстве реагентов для бурения / Н.М. Прохоров, Л.Н. Смирнова, В.Ф. Коваленко, А.В. Смирнова // Экотехнологии и ресурсосбережение [Хим. технол.]. – 1997. – № 3. – С. 49–51.

9. Свиткина М.М. Использование ЛС в производстве древесностружечных плит // Плиты и фанера: Экспресс-инф. – Вып. 9. – 1979. – 8 с.

10. Сергеев В.Н. и др. Лигносульфонаты как пластификаторы цемента / В.Н. Сергеев, Г.М. Марнауцкий, Н.В. Грибанова, Г.Н. Тельшева // Химия древесины. – 1979. – № 3. – С. 3–12.

11. Тельшева Г.М., Панкова Р.Е. Удобрения на основе лигнина. – Рига: Зинатне, 1978. – 61 с.

12. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 368 с.

13. Шергин А.Е., Хабаров Ю.Г. Прямое фотометрическое определение железа в производных технических лигносульфонатов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. – Архангельск: АГТУ, 1994. – С. 89–92.

14. Stranel O., Sebok F. Možnosti efektivního využití ligninsulfonátu jako plastifikací při sád do betonových směsí // Pap. A Selvi. – 1997. – Vol.52, N 1. – S. 21–23.

Архангельский государственный
технический университет
Поступила 19.09.03

Yu. G. Khabarov, N.A. Anokhina, L.V. Gusakov

Producing Iron-lignosulphonate Complexes under Iron Treatment of Lignosulfonic Acids in Nitric Acid Environment

The influence of different factors on iron-lignosulphonate complex formation has been studied.



УДК 630*624

С.Е. Грязнов, Ю.В. Кузминых, Д. Керквлит

Грязнов Сергей Ефимович родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат экономических наук, доцент, декан факультета экономики и управления, заведующий кафедрой экономической теории С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 50 печатных работ в области экономики и организации лесного хозяйства и лесопользования.



Кузминых Юлия Валерьевна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 10 печатных работ в области экономики и организации лесного хозяйства и лесопользования.



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УВЕЛИЧЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

На примере Ленинградской области выполнена стоимостная оценка накопления углерода лесными экосистемами для различных вариантов лесопользования и лесовосстановления. Определена минимальная цена предложения за 1 т углерода на рынке углеродных сертификатов.

Ключевые слова: углерод, стоимостная оценка, динамика углеродного баланса, продажа прав на выброс углерода.

Озабоченность мирового сообщества антропогенным воздействием на окружающую среду нашла отражение в Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК), которая была принята 9 мая 1992 г. и вступила в силу 21 марта 1994 г. В настоящее время сторонами конвенции являются около 190 стран, включая все развитые страны, Россию и страны СНГ. Конвенция призвана объединить усилия по предотвращению опасных изменений климата и добиться стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на относительно безопасном уровне. На Первой конференции сторон РКИК (Берлин, 1995 г.) было принято решение о поэтапных действи-

ях в этом направлении и создании соответствующей системы эколого-экономических отношений.

Важным этапом реализации решений РКИК стало принятие Киотского протокола на Третьей конференции сторон РКИК (Киото, 1997 г.). В этом документе закреплялись количественные обязанности развитых стран и стран с переходной экономикой, включая Россию, по ограничению и снижению поступлений парниковых газов в атмосферу.

Согласно Киотскому протоколу «для выполнения обязательств ... используются чистые изменения в величине выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, являющиеся прямым результатом деятельности человека в области изменений в землепользовании и в лесном хозяйстве, ограниченной, начиная с 1990 г., облесением, лесовозобновлением и обезлесиванием, измеряемым как поддающиеся изменения в накоплениях в каждый период действия обязательств» (ст. 3, п. 3 Киотского протокола) [1]. Таким образом, необходимо не только сокращать выбросы, но и учитывать долю поглощения (стока) их естественными абсорбентами, в первую очередь лесами.

Указанное положение Киотского протокола существенно для России, так как здесь леса являются природными ресурсами глобального масштаба. Покрытые лесом земли России составляют примерно пятую часть лесопокрытой площади в мире. Выполняя важную экологическую функцию, леса являются одним из основных абсорбентов, поглощая углекислый газ, составляющий около 80 % всех парниковых газов.

В соответствии с п. 4 ст. 2 Киотского протокола [1] о проведении исследовательских работ и разработке технологий поглощения диоксида углерода был осуществлен совместный проект « Driving forces of changes in regional carbon stocks: comparison of the Western Oregon (USA) and St. Petersburg region (Russia)» специалистами Государственного университета штата Орегон (США) и российскими специалистами Северо-Западного региона, в число которых вошли сотрудники С.-Петербургской государственной лесотехнической академии.

Основная цель проекта – разработать согласованную методику оценки общих углеродных запасов в лесных экосистемах и продуктах деревопереработки в региональных бюджетах углерода, а также методические подходы к экономической оценке стоимости поглощенного углерода. Результатом проекта явилась количественная оценка балансов углерода и стоимостная оценка 1 т накопленного углерода в лесных экосистемах штата Орегон и Ленинградской области.

Спад национальной экономики России в период 1986–1997 гг., вызванный объективными причинами перехода к рыночным принципам ведения хозяйства, дал положительные результаты в увеличении стока углерода в лесных экосистемах Ленинградской области.

По данным лесоустройства, за 1963–1998 гг. в лесах Ленинградской области увеличились запасы древесины и, как следствие, углерода с 154,7 до 276, 8 млн т. Ежегодное накопление углерода с 1988 г. по 1998 г. составило

около 1,7 млн т [2]. На такую динамику стока углерода повлияли не только сокращение объемов лесозаготовок в указанный период, но и возрастная структура лесов Ленинградской области, прежде всего повышение доли средневозрастных насаждений.

В зависимости от сценариев развития лесного сектора России и в частности Северо-Западного региона в перспективе динамика стока углерода может иметь как положительное, так и отрицательное сальдо.

Институциональные изменения в лесном секторе и экономике в целом могут обусловить различные варианты углеродного баланса. Однако в любом случае следует искать пути, способствующие положительному балансу стока углерода в лесные экосистемы. При этом нужно учитывать, что экономические результаты лесопользования (заготовка древесины) по своей направленности объективно противоположны идее увеличения стока углерода в лесные экосистемы. Такой акцент до настоящего времени не рассматривался. Более того, считалось, что активизация и увеличение лесопользования будет способствовать положительной динамике углеродного баланса в лесных экосистемах. Российские правила рубок и порядок отпуска леса по своему лесоводственному содержанию в основном направлены на увеличение продуцирующей биомассы древостоев, однако экономика лесопользования и лесовосстановления, добровольный характер рубок главного и промежуточного лесопользования со стороны хозяйствующих субъектов (лесозаготовительных предприятий) приводят к негативной динамике углеродного баланса. Нахождение разумных компромиссов между заготовками древесины и накоплением углерода в древостоях – основная цель возможных институциональных изменений в лесном секторе.

Вывод о разнонаправленности векторов доходности лесопользования и положительной динамики углеродного баланса сделан на основании анализа затрат, результатов лесовыращивания и заготовки древесины в соответствии с действующими правилами, нормами воспроизводства лесных ресурсов и условиями рубок. Для этой цели проведены макетные расчеты затрат на лесовыращивание и прибыльности заготовки древесины в условиях Северо-Западного региона.

На основании структуры лесного фонда Ленинградской области, правил рубок и перечня обязательных мероприятий по лесовосстановлению сформированы и оценены 140 вариантов режимов лесопользования, включая рубки главного и промежуточного пользования [3]. По моделям, разработанным специалистами Государственного университета штата Орегон для моделирования прироста леса и подсчета накопленного углерода, оценены результаты различных режимов лесопользования с точки зрения накопления углерода и экономической выгоды в лесных экосистемах штата Орегон и Ленинградской области. Режимы лесопользования отличались различными комбинациями оборотов рубки, типов лесовосстановления, интенсивностью и частотой рубок ухода. По результатам анализа установлены эффективные режимы лесопользования, при которых сток углерода не может увеличиваться без экономических потерь. При расчетах определен предельный про-

дукт, который показывает взаимосвязь между стоком углерода и экономической выгодой. Кроме того, рассчитаны предельные затраты на 1 т углерода как основной экономический показатель при оценке перехода от режимов с большей экономической выгодой, но с меньшим накоплением углерода, к лесопользованию, при котором увеличивается накопление, но снижается экономическая целесообразность.

Для каждого из вариантов (режима лесопользования и лесовосстановления) по модели STANDCARB рассчитаны маржинальные затраты на накопление углерода и маржинальная прибыль от заготовки древесины при главном и промежуточном пользовании. Полученные данные показали, что варианты лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов, позволяющие обеспечить положительную динамику стока углерода, всегда хуже вариантов с нулевой или отрицательной динамикой углеродного баланса. Иными словами, для того чтобы обеспечить экономическую заинтересованность лесопользователя, в обязанности которого входят работы по воспроизводству лесных ресурсов, а также возможность проведения рубок промежуточного пользования, необходимы экономические механизмы, обеспечивающие положительную динамику углеродного баланса.

Возможны различные пути решения этой проблемы. Наиболее рациональным путем, обеспечивающим положительную динамику углеродного баланса на лесных площадях, вовлеченных в хозяйственный оборот, является формирование рыночных институтов по продаже лесных углеродных сертификатов (прав на выброс углерода).

Выполненные расчеты по оценке маржинальных затрат на накопление углерода и маржинальной прибыли от заготовок древесины при главном и промежуточном пользовании позволяют в качестве первого приближения определить уровень цены предложения лесного углеродного сертификата. Так, для условий Ленинградской области при существующих структуре и величине затрат и цен на факторы производства в системе «лесопользование – воспроизводство лесных ресурсов», с одной стороны, и доходов от реализации древесины, с другой, минимальная цена предложения за 1 т углерода может составлять от 0,08 до 17 долларов [3] в зависимости от конкретных условий лесопользования. Полученные значения существенно зависят также от нормы дисконтирования, которая в расчетах принята 2 ... 4 %. Для реальной экономики России она должна быть существенно выше, что приведет к увеличению цены предложения.

Спрос на лесные углеродные сертификаты, его оценка и формирование – задачи самостоятельного исследования. Изучается также проблема гарантий со стороны эмитентов лесных углеродных сертификатов, формирование правовой и экономической ответственности по обеспечению стока углерода в лесные экосистемы не только в целом по крупным экономическим регионам, но и по каждому хозяйствующему субъекту на конкретных участках лесного фонда.

Рынки лесных углеродных сертификатов, процедуры их формирования, порядок функционирования, несомненно, должны быть поддержаны государством.

Проблема углеродного баланса, ее транснациональный характер могут послужить полезным толчком для институциональных изменений в лесном секторе России. В обсуждении этих изменений полезно активное участие широкого круга специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата: Протокол ООН от 11. 12. 1997 г. // База данных «Гарант». – 2003. – 20 с.
2. Кобак К.И., Трейфельд Р.Ф., Грязькин А.В. Динамика запасов углерода в живой биомассе лесов Ленинградской области // Динамика запасов углерода в лесах Северо-Запада: экология, экономика и политика: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Под ред. С.Е. Грязнова. – СПб.: СПбГЛТА, 2003. – С. 21–38.
3. *Griaznov S. a.o. Submitted Forest Management, Economics, and Carbon Storage in Northwest Russian / S. Griaznov, J. Kerkvliet, V. Panchenko, O. Zyrina // Carbon Dynamics of Two Forest Systems: Northwest Russian and the Pacific Northwest / M. Harman and O. Krankina, ed. – Springer-Verlag, USA, 2002. – P. 271–294.*

С.-Петербургская лесотехническая академия
Орегонский государственный университет (США)

Поступила 02.04.03

S.E. Griaznov, Yu.V. Kuzminykh, J. Kerkvliet

Economic Appraisal of Carbon Stock Growth in Forest Ecosystems

Cost assessment of carbon storage by forest ecosystems has been carried out for different variants of forest management and reforestation on the example of the Leningrad region. Minimal supply price per 1 ton of carbon in the carbon certificate market has been set.





КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ

УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 630*587

***Ю.Ю. Герасимов, Г.А. Давыдков, С.А. Кильпеляйнен,
А.П. Соколов, В.С. Сюнев***

Герасимов Юрий Юрьевич родился в 1964 г., окончил в 1988 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры тяговых машин Петрозаводского государственного университета. Имеет более 100 печатных работ в области технологии лесозаготовок и лесных машин.



Давыдков Геннадий Анатольевич родился в 1965 г., окончил в 1990 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук старший преподаватель кафедры тяговых машин Петрозаводского государственного университета. Имеет около 20 печатных работ в области технологии лесозаготовок и лесных машин.



Кильпеляйнен Сергей Адольфович родился в 1961 г., окончил в 1988 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана лесоинженерного факультета Петрозаводского государственного университета. Имеет около 30 печатных работ в области технологии лесозаготовок и лесных машин.



Соколов Антон Павлович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры тяговых машин Петрозаводского государственного университета. Имеет более 20 печатных работ в области информатизации лесного комплекса.



Сюнев Владимир Сергеевич родился в 1957 г., окончил в 1980 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тяговых машин Петрозаводского государственного университета. Имеет около 80 печатных работ в области технологии лесозаготовок и лесных машин.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ

Изложены перспективные направления применения новых информационных технологий в лесном комплексе, обоснован выбор географических информационных систем в качестве основы для построения корпоративных информационных систем предприятий отрасли.

Ключевые слова: лесной комплекс, управление, информационные технологии, географические информационные системы, дистанционное зондирование.

На современном этапе развития лесного комплекса на одно из первых мест выходят задачи оперативного получения информации о текущем состоянии лесных ресурсов, ее качественной обработки и анализа в целях всестороннего научного обоснования принимаемых решений в процессе управления как отдельными предприятиями, так и отраслью. Повышение эффективности работы предприятий за счет внедрения современных подходов к управлению, основанных на применении новых информационных технологий, является одним из перспективнейших направлений развития. Реализация потенциала предприятий за счет модернизации системы управления становится на сегодняшний день одной из основных стратегических целей лесного комплекса.

Решение данной задачи в большинстве случаев основывается на создании корпоративных информационных систем, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, передачу, анализ и визуализацию всей необходимой для работы предприятия информации, а также имеющих в своем составе блоки, реализующие современные научные методы поддержки принятия решений в ключевых направлениях деятельности [1, 5].

Накопленный к настоящему времени опыт информатизации лесного комплекса, особенно в области лесного хозяйства, позволяет с большой долей уверенности предположить, что неотъемлемым компонентом при создании подобных корпоративных систем должны стать географические информационные системы (ГИС). Применение этого класса систем обусловлено спецификой предмета труда предприятий лесного комплекса – леса, распределенного по большим территориям земной поверхности [3, 6].

Внедрение ГИС в российское лесоустройство происходит ускоренными темпами, но зачастую при этом используется только та часть их функциональных возможностей, которые позволяют решать задачи сбора, учета и обработки данных о лесе, его пространственном размещении на местности. Эти возможности, конечно, могут существенно повысить эффек-

тивность работ, традиционно выполняемых в органах управления лесами вручную с использованием бумажных карт, таблиц и описаний. Применение же анализа данных ограничивается лишь требованиями нормативных документов по лесоустройству, а ряд специфических свойств ГИС по анализу и отображению информации, открывающих совершенно новые перспективы, используется безусловно недостаточно [6].

Сегодня ГИС следует рассматривать не только как одно из технических средств в лесоустройстве, но и в качестве нового инструмента управления во всех отраслях лесного комплекса.

ГИС могут предоставить возможность пространственного анализа не только данных о лесном фонде, но и других данных, относящихся к рассматриваемым территориям и предприятиям (дороги, населенные пункты, рельеф местности, речная и болотная системы, почвы, сельскохозяйственные угодья, плотность и состав населения, грузопотоки, транспортные узлы, размещение и состав производственных мощностей, кадастр и схемы размещения оборудования в цехах и на территориях предприятий и т. д.). Наличие блоков оценки инвестиционной привлекательности лесосек, банков данных материально-технических ресурсов, комплекса программ планирования и отчетности хозяйственной деятельности, работающих на базе единой корпоративной информационной системы, которая имеет в своем составе ГИС, как один из основных компонентов, позволит повысить эффективность процессов управления [2].

Применение ГИС дает возможность анализировать информацию об участках лесного фонда, территориях в целом, предприятиях, а также вырабатывать управляющие воздействия, учитывающие ресурсные, экологические и социальные аспекты управления предприятиями лесного комплекса. Кроме того, ГИС являются эффективным средством контроля за качеством лесопользования и выполнения лесохозяйственных работ.

Необходимо отметить, что эффект от внедрения ГИС без интеграции их в комплексную корпоративную информационную систему, включающую, кроме ГИС, такие элементы, как корпоративная локальная вычислительная сеть, системы управления базами данных, системы информационного обеспечения хода выполняемых процессов (передача данных, управление потоками работ), интерфейсы пользователей (проектные порталы, ситуационные центры, АРМ), системы обеспечения безопасности (дифференцированный доступ, резервные копии) и т. д., будет значительно меньше. Кроме того, подобные системы всегда предполагают разработку специализированного программного обеспечения для решения конкретных производственных задач.

Такое программное обеспечение может создаваться с применением специальных языков программирования, которые поставляются вместе с наиболее распространенными ГИС и позволяют более полно использовать имеющиеся у этих ГИС ресурсы. Это дает возможность максимально учитывать все особенности предприятия при разработке корпоративной информационной системы и полностью привести в соответствие информационную

систему и структуру производственных процессов. При этом ряд задач, требующих своего решения с помощью разрабатываемой корпоративной информационной системы предприятия лесного комплекса, не имеют ярко выраженной пространственной компоненты, что делает возможным их решение и без использования ГИС, чаще всего на основе реляционных баз данных и систем управления базами данных (СУБД). В данной ситуации необходимо убедиться, можно ли решить эти задачи средствами ГИС, так как ГИС объединяют в себе СУБД с системами создания и анализа цифровых карт. Если это возможно, то рассматривать эти задачи в качестве самостоятельных и использующих обособленные технические решения будет нецелесообразно как с точки зрения интеграции систем, обеспечения их совместимости, так и с точки зрения необоснованных затрат, связанных с применением различных видов программного обеспечения.

При разработке специализированных ГИС-приложений для решения конкретных производственных задач в зависимости от их особенностей и сложности применяют следующие подходы [3]:

решения на основе информационно-справочных систем, обеспечивающих удобный и быстрый доступ к информации, хранящейся в системе, и ее наглядную визуализацию в виде карт;

решения на основе информационно-аналитических систем, имеющих информационно-справочные функции и, кроме того, позволяющих создавать новую информацию с помощью универсальных математических соотношений;

решения на основе информационно-моделирующих систем, обеспечивающих помимо вышеизложенных функций построение специальных имитационных моделей, позволяющих выполнять анализ возможных производственных ситуаций с точки зрения прогнозирования их развития;

решения на основе экспертных систем, вырабатывающих конечные ответы (решения) путем анализа имеющейся информации с помощью определенных решающих правил.

Важнейшей характеристикой любых корпоративных информационных систем является то, что пользователь-специалист должен получать необходимую информацию в полном объеме, в необходимых для сравнения сочетаниях и как можно в более наглядной форме. В этом смысле ГИС имеют неопределимые преимущества по сравнению с другими, поскольку результаты анализа представляются не только в традиционном цифровом (табличном) виде, но и в графическом с привязкой к карте. Таким образом может быть с успехом реализована одна из возможностей, которые предоставляют ГИС. Речь идет о механизме построения тематических карт, с помощью которых в предельно наглядном виде могут быть представлены различные аспекты работы системы, непосредственно увязанные с территориями исследуемых объектов. Этот метод намного наглядней традиционного цифрового вывода и позволяет сравнительно легко проводить комплексную оценку текущего состояния производства и результатов работы систем анализа и поддержки принятия решений.

При разработке корпоративных информационных систем предприятий лесного комплекса с использованием ГИС необходимо учитывать еще один немаловажный аспект, связанный с тем, что для обеспечения эффективного функционирования таких систем в современных условиях требуется собирать и анализировать значительные объемы пространственной информации с высокой периодичностью. Для решения этой задачи успешно можно применять методы дистанционного зондирования (ДЗ) земной поверхности совместно с эффективными автоматизированными процедурами обработки получаемых данных [4].

Дистанционные методы занимают важное место в решении проблем комплексного изучения, освоения и рационального использования природных ресурсов. Причем необходимо отметить, что речь идет не только об энергетических и минеральных ресурсах (нефть, железная руда и т. п.), но и о ресурсах био-, гидро- и атмосферы (лес, животный мир, пресная вода и т.д.).

К методам ДЗ относятся космическая- и аэросъемка в видимом, ближнем и тепловом инфракрасном диапазоне электромагнитного излучения, а также радиолокационная съемка в диапазоне радиоволн сверхвысокой частоты. Данные, получаемые этими методами, могут обладать различными характеристиками и в соответствии с этим применяться для решения различных практических задач, связанных с мониторингом природных ресурсов, составлением топографических карт местности, планированием и размещением промышленных, хозяйственных или рекреационных объектов и т.д.

Получение информации о лесах и древесно-кустарниковой растительности обеспечивается космическими аппаратами многоцелевого назначения, созданными специально для исследования природных ресурсов и состояния окружающей среды. К ним относят искусственные спутники Земли, пилотируемые космические корабли и орбитальные станции.

В лесном хозяйстве применяют фотографические и сканерные космические снимки, получаемые с космических летательных аппаратов Ресурс-Ф, Ресурс-01, SPOT, Landsat TM, NOAA и др. Находят применение радиолокационные съемки земной поверхности из космоса аппаратами RADARS AT (Канада), ERS (Европейское космическое агентство), JERS-1 (Япония).

Дистанционное зондирование является косвенным методом получения информации о земной поверхности. Для извлечения этой информации из исходных данных требуются специальные методы обработки (дешифрирование) данных ДЗ. Эти методы реализованы в системах обработки изображений [4].

Автоматизация процессов обработки и анализа данных ДЗ связана с применением современной вычислительной техники и специальных алгоритмов, которые реализуются, в том числе, и в рамках ГИС. Современные ГИС позволяют эффективно выполнять весь комплекс работ, связанных с ДЗ, но для этого необходимы данные, представленные в цифровом формате.

Существует довольно большое количество возможных источников получения данных ДЗ в цифровом формате. К ним относятся как отечественные, так и иностранные спутники.

В качестве основных этапов обработки и анализа данных о природной среде, получаемых дистанционными методами, можно выделить следующие:

1) отображение – представление данных (изображений), полученных непосредственно из источника, в удобном для пользователя наглядном виде без потерь и искажений;

2) улучшение – изменение параметров изображения (яркость, контрастность, цветовой баланс, фильтрация помех и т. д.), направленное на улучшение его читаемости и облегчение дальнейшего анализа;

3) геометрическое трансформирование – приведение изображения к заданному масштабу и картографической проекции с устранением смещений из-за наклона оси съемки, рельефа местности, кривизны поверхности Земли и геометрических искажений;

4) географическая привязка – идентификация участка земной поверхности, полученного на изображении, и присвоение каждой точке изображения координат, соответствующих координатам данных точек на местности;

5) классификация – распознавание на изображении участков, соответствующих различным категориям объектов, и построение на этой основе нового (тематического) изображения, на котором объекты, принадлежащие к одной категории, отображаются одинаково (одним цветом);

6) ГИС-анализ – анализ взаимного пространственного положения различных объектов на изображениях и атрибутивной (описательной) информации о них, производимый в целях решения разнообразных прикладных задач;

7) подготовка отчета – создание качественных отчетных информационных материалов, содержащих результаты обработки и анализа данных и сопровождающихся необходимыми иллюстрациями, пояснениями и т. д.

К настоящему времени разработано большое количество достаточно эффективных методов и алгоритмов решения задач по каждому из перечисленных этапов. Эти методы и алгоритмы реализуются в целом ряде программных продуктов различных производителей. Высокие требования к качеству применяемого программного обеспечения во многом обуславливают ситуацию, сложившуюся на сегодняшний день на рынке программных продуктов. Подавляющее большинство существующих пакетов программ направлено на решение нескольких конкретных узких задач, связанных с обработкой и анализом данных. В такой ситуации для осуществления всего цикла работ с результатами ДЗ пользователю необходимо иметь в своем распоряжении как минимум несколько разных программных продуктов. Например, задачи по отображению, улучшению, классификации и подготовке отчетов в той или иной мере могут быть решены с использованием обычных редакторов растровой графики, самые современные из которых решают их

на очень высоком уровне качества и эффективности. Задачи по географической привязке, ГИС-анализу и подготовке отчетов более или менее качественно могут быть решены в среде большинства векторных ГИС (например ARC/INFO фирмы ESRI или MapInfo фирмы «Mapping Information Systems Corporation»), которые являются смешанными системами, т. е. оснащаются функциями для работы как с векторными, так и с растровыми изображениями.

На сегодняшний день лишь несколько производителей могут предложить интегрированные решения для осуществления всего комплекса работ с данными дистанционного зондирования на базе одного программного продукта. Лидером среди них является компания ERDAS «Earth Resources Data Analysis System», с апреля 2001 г. – подразделение компании «Leica», которая контролирует около 60 % мирового рынка программного обеспечения подобного типа. Наиболее популярным продуктом фирмы ERDAS является пакет программ ERDAS IMAGINE, позволяющий решать все задачи по обработке и анализу данных дистанционного зондирования от стадии их импорта из обменных форматов различных источников до подготовки качественных отчетов.

Таким образом, к настоящему времени сложились все предпосылки для широкого внедрения в лесном комплексе современных информационных систем, основанных на комплексном взаимодействии различных программных продуктов, включающих средства обработки и анализа данных ДЗ, ГИС, специализированного программного обеспечения, а также целого ряда других компонентов, позволяющих решать весь спектр задач, стоящих перед предприятиями. Подобный подход позволит повысить эффективность их работы за счет увеличения оперативности, качества и обоснованности принимаемых решений, а также за счет снижения трудоемкости процессов управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. В., Николаев А. Ю. Методы и технология построения корпоративных информационных систем // Проблемы информатизации. – 2001. – № 3. – С. 37–39.
2. Голосков С.В., Росликов А.А. Концепция региональной геоинформационной системы для обеспечения процессов принятия решений (ГИС «Управление») // Проблемы информатизации. – 1998. – № 1. – С. 72–77.
3. Герасимов Ю.Ю., Кильпелайнен С.А., Давыдов Г.А. Геоинформационные системы. – Иенсуу: Изд-во университета Иенсуу, 2001. – 201 с.
4. Герасимов Ю.Ю., Кильпелайнен С.А., Соколов А.П. Географические информационные системы: Обработка и анализ растровых изображений. – М.: Дата+, 2002. – 118 с.
5. Соколов А.П. Процессный подход к организации управления предприятиями лесопромышленного комплекса // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. Вып. 5. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2002. – С. 123–126.

6. *Страхов В. В., Сысоев В. В.* Перспективы использования географических информационных систем для устойчивого управления лесами России // Лесн. хозяйство. – 1998. – № 3. – С. 19–22.

Петрозаводский государственный университет

Поступила 07.04.03

*Yu. Gerasimov, G.A. Davydkov, S.A. Kilpelainen,
A.P. Sokolov, V.S. Syunyov*

**Prospects of Applying New Information Technologies
in Forest Complex**

Perspective areas of applying new information technologies in the forest complex are stated, selection of geographical information systems as a basis for building corporate information systems of the forest branch companies is substantiated.

УДК 676.16: 519.7

Е.А. Питухин

Питухин Евгений Александрович родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Балтийский государственный технический университет, кандидат технических наук, докторант кафедры математического моделирования систем управления Петрозаводского государственного университета. Имеет более 40 научных трудов в области математического моделирования, анализа и синтеза систем управления, управления технологическими объектами в реальном времени.



ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Разработана система управления верхнего уровня технологическим процессом производства сульфатной целлюлозы для решения задачи баланса щелоков; получены оптимальные и близкие к оптимальным алгоритмы управления, которые можно использовать для увеличения экономической эффективности и повышения надежности процесса производства целлюлозы.

Ключевые слова: варка целлюлозы, баланс щелоков, супервизорное управление, следящая система, оптимальное управление.

9

Производство сульфатной целлюлозы является непрерывным технологическим процессом, который нуждается в постоянном наблюдении и управлении. Одна из первых работ [9], посвященных оптимизации технологических режимов и разработке алгоритмов оперативного управления картонно-бумажным производством, выделяет иерархичность ступеней управления и закладывает основы решения таких задач с позиции автоматического управления. Принципы построения автоматизированных систем оперативно-диспетчерского управления целлюлозно-бумажным производством, методы и алгоритмы оперативно-производственного планирования, поиск оптимальных технологических режимов систематизированы в монографии [1]. В работе [4] детально проанализированы математические модели агрегатов всего технологического цикла варки целлюлозы и регенерации щелоков, рассмотрены детерминированные и статистические модели производственных процессов, приведен пример системы автоматического управления непосредственно варочным котлом. В монографии [5] изложен системный подход к исследованию, анализу и моделированию систем управления технологическими процессами производства целлюлозы и бумаги; наиболее полно отражена концепция супервизорного управления. Подходы зарубежных ученых к описанию технологических процессов производства целлюлозы представлены в [12, 13].

Несмотря на высокий уровень этих работ, они не в полной мере применяются в отечественной промышленности. Как показывает практика, на сегодняшний день на Северо-Западе России большинство предприятий, выпускающих целлюлозу, имеют устаревшее оборудование и нуждаются в полной или частичной модернизации производства. На их технологических линиях установлены, в основном, локальные системы управления варочными котлами, процессами сорегенерации и отстоя щелоков. Как правило, управление звеньями технологической цепочки ведется раздельно. Положительным фактором является наличие информационной системы, которая контролирует охваченные ею технологические участки.

В ситуации недостаточного числа дистанционных исполнительных устройств и надежных информационных каналов затруднительно осуществить внедрение эффективной и современной системы автоматического управления, которая бы помогла достичь желаемых целей увеличения качества и объема производимой целлюлозы, минимизации издержек. Тем не менее, проблема повышения эффективности варки целлюлозы путем нахождения оптимального баланса в контуре регенерации химикатов существует [5, 6]. Она была решена в работах [6, 8], результаты которых были успешно внедрены на ряде производств. При этом ставилась задача нахождения супервизорного управления для контроля за уровнями химикатов в емкостях промежуточного хранения и вывода агрегатов технологической цепочки на заданные режимы работы.

Математическая модель верхнего уровня цикла регенерации химикатов представлена в работах [6, 8]. Ее достаточно эффективно применяли для решения задач управления верхнего уровня. Модель являлась линейной статической и не учитывала транспортные запаздывания и инерционность агрегатов. Управляющие воздействия были ступенчатыми и их задавали один раз за период планирования. Такой алгоритм контроля не требовал наличия исполнительных автоматических устройств и был удобен с точки зрения доступности его осуществления в режиме ручного управления.

С развитием рыночной экономики встал вопрос о еще большем снижении потерь в контуре регенерации химикатов. Уточненная модель управления верхнего уровня была разработана в работах [2, 3]. Высокая сложность модели не позволила (без снижения ее адекватности) получить решение за приемлемое время.

Автором совместно с А.И. Шабаетым в работе [7] была предложена новая динамическая модель супервизорного управления циклом регенерации щелоков, учитывающая, как и в [3], транспортные запаздывания и инерционность агрегатов. Она представлена в виде системы линейных дифференциальных уравнений с запаздыванием. Такой вид записи сводится к векторно-матричному уравнению для пространства состояний системы. Решение и исследование таких уравнений хорошо известно в теории управления [10]; в математике есть наработанные методы анализа таких моделей и синтеза для них оптимального управления [11, 14]. Модель получена на основе схемы производства целлюлозы с циклом восстановления химикатов

одной из очередей Архангельского ЦБК [6, 3]. Данная схема, приведенная на рис. 1 (эллипсы – емкости промежуточного хранения; прямоугольники – агрегаты/цеха; ОЦ – отбеленная целлюлоза, ЧЩ – черный щелок, УЧЩ – упаренный ЧЩ, ЗЩ – зеленый щелок, БЩ – белый щелок, ИРП – известерегенерационная печь, ЦКРИ – цех каустизации и регенерации извести, СРК – содорегенерационный котел, ВС – выпарная станция), была выбрана в качестве основы для исследования моделей, поскольку наиболее полно отражает технологическую цепочку производства целлюлозы, так как содержит этапы отбелики и сушки. Необходимо отметить, что во всех работах [2, 3, 6–8] математическая модель основана на анализе только материальных потоков; энергетические, тепловые и химические процессы не рассматриваются в рамках синтеза управления верхнего уровня.

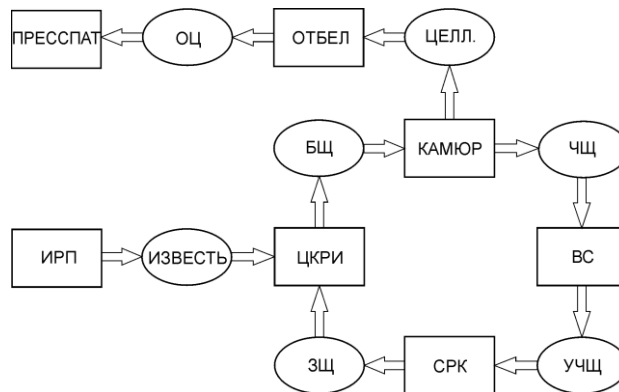


Рис. 1. Схема производства сульфатной целлюлозы

9*

В работе [7] были проведены первичные исследования процессов производства целлюлозы на базе разомкнутой модели. В трудах [2, 3, 6, 8] моделирование процесса также было разомкнутым в терминах управления, т. е. при определении управляющих воздействий не использовалась информация о текущем состоянии объекта управления (ОУ).

Цель статьи – разработка таких алгоритмов управления циклом регенерации химикатов при варке целлюлозы, которые способствовали бы увеличению экономической эффективности производства. Достигается это за счет исследования новой предлагаемой модели управления верхнего уровня, которая более адекватна реальным процессам в материальных потоках (баланс щелоков), чем предлагаемые ранее.

В настоящей работе автор развивает идею [7] о создании модели замкнутой системы управления (СУ) и предлагает перейти к созданию следящей системы. Такой подход является классическим с точки зрения теории автоматического управления и имеет преимущества в постоянном отслеживании и уничтожении ошибки рассогласования и автоматическом определении управляющих воздействий. Он позволяет более эффективно добиваться цели управления, которая может быть сформулирована в поддержании заданных показателей работы технологического цикла производства целлюлозы при обеспечении ряда областных и функциональных ограничений. Это

может достигаться путем решения ряда следующих задач: поддержание максимально возможного выпуска целлюлозы; стабилизация системы на заданном режиме работы; программный переход системы с режима на режим.

В работах [2, 6, 7] отмечено, что основная проблема при проектировании системы автоматического управления состоит в соблюдении значений управляемых и управляющих параметров технологии производства (ТП) в пределах допустимых ограничений. На рис. 1 можно выделить множество емкостей ($N = 7$) и агрегатов ($M = 7$). Качество разработанной СУ должно быть таковым, чтобы в любом режиме выполнялись ограничения на уровни в емкостях ($X_l \leq X \leq X_u$) и на производительности агрегатов ($Y_l \leq Y \leq Y_u$). Здесь $X \in R^N$ – вектор уровней в емкостях, а $Y \in R^M$ – вектор производительностей, индексы l (*low*) и u (*up*) принадлежат векторам нижних и верхних ограничений соответственно.

Технологический процесс производства целлюлозы как ОУ, работающий в непрерывном режиме, может быть управляем двумя различными системами – непрерывной или дискретной. Рассмотрим непрерывную систему. Вначале разберем замыкание разомкнутой системы. Пример унифицированного участка структурной схемы ТП вида агрегат – емкость – агрегат приведен на рис. 2.

Математическая модель структурной схемы на рис. 2 при ненулевых начальных условиях может быть записана в виде системы трех дифференциальных уравнений первого порядка (индекс i (*input*) относят к агрегату, который подает в емкость материальный поток химиката; индекс o (*output*) относят к агрегату, который забирает вещество из емкости):

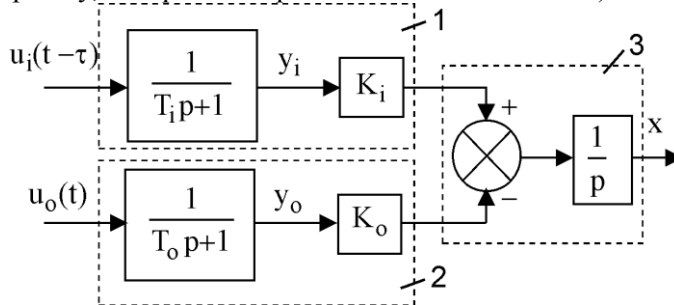


Рис. 2. Структурная схема моделирования взаимодействия агрегатов и емкости в технологической цепочке: 1 – агрегат, наполняющий емкость; 2 – агрегат, опустошающий емкость; 3 – емкость промежуточного хранения

$$\begin{cases} u_i(t - \tau) = T_i y_i' + y_i \\ u_o(t) = T_o y_o' + y_o, & y_i(t_0) = y_{i0}, \quad y_o(t_0) = y_{o0}, \quad x(t_0) = x, \\ K_i y_i - K_o y_o = x' \end{cases} \quad (1)$$

где $u_i(t - \tau)$ и $u_o(t)$ – управляющие воздействия входного и выходного агрегатов соответственно;

t – время движения системы, определено на $t \in [t_0, T_f]$ (где t_0 – начало, а T_f – конец горизонта планирования);

τ – транспортное запаздывание, τ присутствует в описании входного агрегата и характеризует временную задержку материального потока в процессе его производства;

T_i и T_o – инерционность;

y_i и y_o – производительность;

x – уровень вещества в емкости;

K_i и K_o – нормы расходов.

Система (1) может быть приведена к матричной форме записи:

$$X' = AX + BU, \text{ где } A \in R^{n \times n}, B \in R^{n \times q}, X = (t_0) = X_0 \in R^n. \quad (2)$$

Здесь при $n = 3, q = 2$:

$$A = \begin{pmatrix} -1/T_i & 0 & 0 \\ 0 & -1/T_o & 0 \\ K_i & K_o & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 1/T_i & 0 \\ 0 & 1/T_o \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$X \in R^n$ – вектор переменных состояния;

$U \in R^q$ – вектор управляющих воздействий.

Транспортное запаздывание вводят в структуру модели соответствующего агрегата путем аппроксимации предполагаемой передаточной функции звена запаздывания (экспоненты) рядом Паде [10]. При трех членах ряда средняя точность аппроксимации при работе в замкнутых режимах для данной модели составляет не более 4 ... 5 %. Таким образом, размерность подматрицы A , отвечающей за локальную группу агрегат – емкость – агрегат, вырастает до $n = 6$. Поскольку мы имеем в схеме семь емкостей, то размерность общей разомкнутой системы вырастает до $n = 42, q = 7$.

Чтобы сделать общую систему следящей, необходимо замкнуть локальные системы по выходящим координатам – сначала по емкостям, а затем и по производительностям. Замыкание по емкости дает возможность реализовать программное управление по уровню; замыкание по производительности препятствует выходу управляющих воздействий за ограничения. Пример такой системы приведен на рис. 3. Коэффициенты усиления в прямых цепях K_{xi}, K_{yi} и K_{io}, K_{yo} позволяют выбрать нужный режим работы следящей системы и разделить главные и второстепенных управляемые переменные в процессе стабилизации. Переменные x_d, y_{id} и y_{od} являются задающими воздействиями, которые определяют расчетные режимы работы агрегатов и уровней в емкости.

Первоначально замкнутая система является неустойчивой и требует введения стабилизирующего управления. Для этого система приводится к

виду (2) с добавлением в нее уравнений для трех задающих воздействий. Порядок системы: $n = 9$, $q = 2$. Увеличение размерности необходимо, чтобы составить квадратичный функционал качества управления, элементы которого используются при поиске оптимальных управляющих воздействий u_i^* и u_o^* [14]. Был проведен синтез оптимального линейного регулятора, для этого было найдено решение матричного алгебраического уравнения Риккати (УР) [14] для локальной системы. В результате решения была получена матрица оптимальных позиционных управлений. Локальная следящая система получилась устойчивой с хорошими показателями качества функционирования.

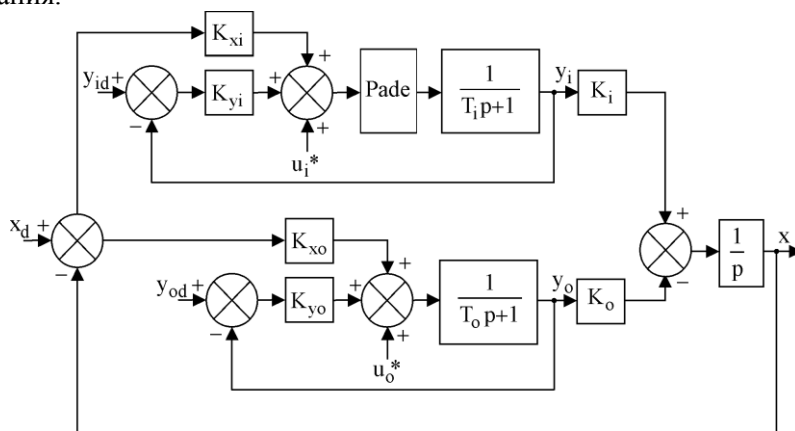


Рис. 3. Структурная схема замкнутой системы управления локальной группой агрегат – емкость – агрегат

При этом получены следующие порядки общей системы: $n = 63$, $q = 7$. В силу особенностей структуры общая система является плохо управляемой и для нее в общем случае не существует решения алгебраического УР. Из этого можно сделать вывод, что непрерывное автоматическое регулирование можно применять только для управления ограниченным участком технологической цепочки производства целлюлозы.

Для управления системами неустойчивой структуры применяется техника решения нелинейного дифференциального УР общего вида, которое определяется функционалом качества управления на малом конечном промежутке. В этом случае не идет речь об асимптотической устойчивости системы. Однако получение решения УР в аналитическом виде для общей системы порядка $n = 63$ или $n = 42$ не представляется возможным.

Рассмотрим решение уравнения Беллмана [11, 14] для данной системы применительно к дискретному виду регулирования. В отличие от УР оно дает возможность найти оптимальное управление с учетом ограничений без создания вспомогательной замкнутой структуры объекта управления. Но найти решение уравнения Беллмана в общем виде для общей системы весьма затруднительно. Поэтому предлагается искать субоптимальное решение на основе анализа уравнения Беллмана, принимая допущение о структуре оптимального управления.

Предположим, что в дискретном случае интервал наблюдения разбивается на L шагов, тогда любое управляющее воздействие можно аппроксимировать кусочно-линейными функциями вида

$$u = \sum_{k=1}^L u_k,$$

где $u_k = u_{k-1} + K_{k-1}h$;
 $h = (T_f - t_0) / L$.

В случае упрощения формы управляющих воздействий до линейных становится возможным получение строгого аналитического решения для общей системы в виде составных функций. Поскольку структура оптимального управления для уравнения Беллмана уже определена, остается выписать граничное условие из областного ограничения на диапазон изменения коэффициента K_k для каждого k -го участка. Решая L раз систему уравнений, записанных из уравнения Беллмана, получаем оптимальные значения коэффициентов K_k для каждого управляющего воздействия и участка движения h . Величина h , характеризующая степень разбиения горизонта планирования, влияет на устойчивость системы управления и ее способность отслеживать заданные траектории движения. Таким образом, решена задача построения дискретного регулятора системы управления уровнями химикатов в емкостях для модели технологического процесса производства целлюлозы. Надо отметить, что в данном случае значения производительностей агрегатов не являются управляемыми переменными, а только находятся в пределах допустимых ограничений.

В заключение можно отметить, что при супервизорном управлении производством целлюлозы целесообразно использовать комбинированную систему, которая применяет аналоговый или дискретный алгоритм в зависимости от поставленных задач. Результаты исследования аналоговой и дискретной системы управления являются предварительными и решены только в детерминированной постановке. Построение наблюдателей и управление системой со случайными параметрами есть задача будущих исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные системы оперативно-диспетчерского управления предприятиями целлюлозно-бумажной промышленности / Под ред. И.Е. Вьюкова. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 248 с.
2. Воронин А.В., Кузнецов В.А. Математические модели и методы в планировании и управлении предприятиями ЦБП. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 256 с.
3. Воронин А.В., Кузнецов В.А., Тарасенко А.Ю. Система математических моделей для построения прогноза и оптимизации выбора управления в АСУ ТП // Тр. ПетрГУ. Сер. Прикладная математика и информатика. – 1997. – Вып. 6. – С. 7–18.

4. Вьюков И. Е., Зорин И.Ф., Петров В.П. Математические модели и управление технологическими процессами целлюлозно-бумажной промышленности. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 373 с.
5. Зорин И.Ф., Петров В.П., Роговская С.А. Управление процессами целлюлозно-бумажного производства. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 272 с.
6. Кузнецов В.А., Поляков В.В., Чернецкий В.И. Оптимизационные модели в АСОДУ ЦБП // Оптимизационные задачи и модели прикладной математики: Межвуз. сб. – Петрозаводск, 1989. – С. 25–32.
7. Питухин Е.А., Шаббаев А.И. Динамическая модель цикла регенерации щелоков // Тр. ПетрГУ. Сер. Прикладная математика и информатика. – 2000. – Вып. 9. – С. 7–30.
8. Поляков В.В. Координация работы технологического оборудования в переходных режимах // Оптимизационные задачи и модели прикладной математики: Межвуз. сб. – Петрозаводск, 1989. – С. 45–51.
9. Рувинский А.А., Зак Ю.А., Рейдман Р.М. Математические модели и алгоритмы в системах управления картонно-бумажным производством. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 232 с.
10. Чернецкий В.И. Математическое моделирование динамических систем. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1996. – 432 с.
11. Янг Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления / Пер. с англ. М. Г. Элуашвили. Под. ред. В. М. Алексева. – М.: Мир, 1974. – 488 с.
12. Balchen, Jens G., Mumme, Kenneth I. Process Control: Structures and Applications. – New York: Van Nostrand Reinhold Company, Inc, 1988. – 540 pp.
13. Chemical Pulping: Papermaking Science and Technology / Under editing of J. Gullichsen and C.-J. Fogelholm. – Helsinki: Fapet Oy, 2000. – Vol. A. – 689 pp. – Vol. B. – 493 pp.
14. Jacobs O.L.R. Introduction to Control Theory: Second Edition. – Department of Engineering Science, University of Oxford: Oxford University Press, 1993. – 390 pp.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 17.05.03

E.A. Pitukhin

Analysis of Top Level Mathematical Model for Pulp Production

The top-level control system of technological process in sulphate pulp production has been developed for solving the liquors balance problem. Optimal and close to optimal control algorithms to be used for increasing economic efficiency and enhancing reliability of pulp production have been obtained.





ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 630*284.2

*А.С. Ярунов, В.В. Петрик***ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ПОДСОЧКИ ЛЕСА**

Прижизненное лесопользование по стоимости продукции сопоставимо с заготовкой лесоматериалов. Одним из его видов является подсочка (добыча живицы), которая обеспечивает промышленность канифолью и скипидаром. Уникальность свойств этих продуктов, в частности высокая реакционная способность, делает их незаменимыми для синтеза ряда химических соединений, используемых в народном хозяйстве.

До 1925 г. в России практически не существовало промышленной подсочки в целях добычи живицы. На севере с XVIII в. проводилась осмолподсочка сосняков, при которой добывали баррас (низкосортную живицу). Деревья после этого использовали для получения смолы, широко применявшейся в деревянном судостроении. В середине и к концу XIX в. под осмолподсочку было отведено около 1 млн десятин леса.

Возникновение этого способа подсочки объясняется, вероятно, тем, что в связи с войной за независимость в Северной Америке 1775–1783 гг. английское кораблестроение лишилось заморских товаров (смола, канифоль, скипидар). В попытке восполнить утрату английский предприниматель Бойс в 1780 г. попытался организовать их добычу на севере России в Вельском уезде Вологодской губернии по американской технологии. Однако эта технология подсочки не подошла для нашей сосны обыкновенной, производство оказалось очень дорогим и неконкурентоспособным. В 1793 г. Бойс вывез через Архангельский порт около 100 т живицы [9]. Вскоре это производство было прекращено, но северные крестьяне успели убедиться на опыте, что деревья, пройденные подсочкой, являются хорошим сырьем для смолокурного производства, которым в России занимались издавна. В результате был разработан вельский способ подсочки – осмолподсочка, которая основной целью ставит получение смолистого сырья при попутном получении барраса.

Потребности России в канифоли и скипидаре удовлетворялись за счет их ввоза. Накануне первой мировой войны ежегодно ввозили 30 ... 35 тыс. т канифоли и свыше 1 тыс. т скипидара. К этому времени подсочное производство в ряде развитых стран достигло значительных размеров: в 1914 г. в США добыто около 250, во Франции – 85 тыс. т живицы.

Первые опыты по подсочке в России поставлены в 60-е гг. XIX в. профессором Рейхелем в Новгородской губернии. Позднее русские ученые

Ф.М. Флавицкий в 1883 г. и В.В. Шкателов в 1889 г. выполнили исследования химических свойств естественных смол сосны и ели, результаты которых опровергали поддерживаемое за границей мнение о непригодности терпентина российской сосны обыкновенной и ели для получения качественной канифоли.

В 1892 г. появилась книга Д.И. Менделеева «Толковый тариф», в которой дан анализ русской промышленности, указаны пути ее развития и целесообразность организации в России добычи живицы. По ходатайству Д.И. Менделеева С.-Петербургским университетом в 1892 г. на Всемирную выставку в Чикаго командирован В.Е. Тищенко, который подробно ознакомился с подсочкой леса в США и написал в 1895 г. книгу «Канифоль и скипидар», содержащую сведения о состоянии подсочного хозяйства в России, США и странах Европы. Этот труд стал энциклопедией теории и практики канифольно-скипидарного производства того времени.

В.В. Шкателов в 1895 г. и Н.А. Филиппов в 1899 г. провели в разных районах России опыты по подсочке сосны, результаты которых были не совсем корректными из-за несовершенства примененной технологии. Более удачными оказались опыты Л.Л. Волкова в 1908–1912 гг. в западных областях России. Он сделал вывод, что российская сосна вполне пригодна для получения живицы в промышленных масштабах [1]. Л.Л. Волков сам ознакомился с подсочкой леса во Франции и привлек к работам в России опытных мастеров-французов. Полученные им результаты послужили основанием для организации в 1911 г. в Конске Радомской губернии акционерного общества по добыче живицы на площади 235 десятин.

В 1911–1915 гг. В.В. Шкателовым и Ю.О. Пахарем были получены положительные результаты, которые доказали возможность и экономическую целесообразность организации в России добычи живицы в промышленных масштабах, при применении соответствующей технологии с учетом биологических особенностей сосны обыкновенной. Развитие подсочки сдерживали первая мировая война, а также предубеждения лесоводов и частных владельцев, считавших, что лес служит только целям эксплуатации древесины, и не учитывавших его других ресурсов.

Возрождение работ по подсочке началось на Украине. В 1919 г. под Киевом были заложены первые опыты лесничим В.И. Седлецким и проф. П.С. Пищемухой. В 1920 г. в Киевской губернии начаты опытные работы по подсочке сосны акад. Е.Ф. Вотчалом при участии проф. В.Д. Огиевского. В 1921 г. при АН УССР создана Комиссия по изучению подсочки и ее влиянию на дерево. В состав комиссии вошли Е.В. Алексеев, П.С. Погребняк, Д.И. Товстолес, Е.Ф. Вотчал. При кафедре ботаники Киевского политехнического института зимой 1920/21 гг. Е.Ф. Вотчал и В.Д. Огиевский создали курсы по подсочке, позднее переданные на лесоинженерный факультет Киевского лесохозяйственного института. Преподавателями были академики В.И. Липский, А.В. Фомин, профессора Е.В. Алексеев, Д.И. Товстолес, П.С. Погребняк. Эти курсы сыграли большую роль в подготовке кадров

подсочников, так как практически никакой литературы и учебников не существовало [4].

В 1922–1924 гг. подсочку начали развивать: на Урале – И.И. Орлов, в Архангельской области – В.И. Лебедев, в Казани – А.Е. Арбузов, в Белоруссии – В.В. Шкателов.

Промышленное развитие подсочки в то время было делом местной инициативы. Ею занимались разные лесопромышленные, торговые и кооперативные организации. В 1925 г. была проведена I Всероссийская канифольно-терпентинная конференция, которая одобрила намеченные Всесоюзным советом народного хозяйства (ВСНХ) мероприятия по практической организации подсочного производства. Специальным постановлением Совета труда и обороны подсочка леса во всех ее формах была поручена ВСНХ, который возложил практическое руководство работой на специально созданный трест «Русская смола», преобразованный позднее в государственный трест «Лесохим». После этого подсочка в СССР стала очень быстро развиваться, и в 1936 г. было добыто уже 89 тыс. т живицы.

Наращивание объемов добычи живицы было бы невозможно без проведения исследований по актуальным вопросам подсочки. Основными направлениями исследований являлись: улучшение технологии подсочки, способствующее увеличению выхода живицы; влияние подсочки на состояние деревьев, так как ученые-лесоведы серьезно возражали против подсочки, ссылаясь на уменьшение прироста, ухудшение качества древесины и лесопатологического состояния. На Украине под руководством комиссии были поставлены широкомасштабные опыты, программа которых охватывала: физиологию смолы выделения; влияние подсочки на прирост древесины, ее физико-механические свойства и устойчивость подсоченных деревьев; технологические параметры, инструменты и оборудование для подсочки. Аналогичные исследования проводились и в других районах. В 1928–1929 гг. возникло еще несколько научных центров по изучению подсочки: в Белоруссии (В.В. Шкателов, В.П. Синицкий), Ленинграде (Л.А. Иванов, Ф.И. Терехов, А.Н. Шатерникова, И.В. Высоцкий), Харькове (Б.И. Гаврилов), Москве (А.А. Бессер, А.Н. Толкачев), Архангельской области (В.И. Лебедев), на Урале (И.И. Орлов).

В 1932 г. Ф.Т. Солодкий и Т.И. Васьяковская провели исследования по стимулированию выхода живицы серной кислотой, нанесенной на ранение (на основе данных А.И. Калниньша, 1925–1929). В этот период интенсивно изучали химические свойства естественных смол А.Е. Арбузов, Б.А. Арбузов, В.В. Шкателов, Г.В. Пигулевский, В.Н. Крестинский и основоположник лесохимической промышленности в России акад. В.Е. Тищенко. Для подготовки специалистов в ряде вузов и техникумов введены особые курсы. Издан ряд книг и брошюр, освещавших в основном вопросы техники и организации промышленной подсочки. Наиболее интересной и популярной оказалась изданная в 1934 г. книга Л.А. Иванова «Биологические основы использования хвойных СССР в терпентинном производстве», обобщающая теоретические вопросы подсочки. С дополнениями и несколько измененным

названием она переиздавалась еще дважды (последний раз в 1961 г.), в том числе на иностранных языках.

Большое внимание уделялось разработке технологии подсочки сосняков Севера и Сибири в связи с истощением сырьевой базы в центральных районах европейской части и увеличением сроков подсочки. Совершенствовались инструменты и оборудование для проведения подсочки. Сотрудники Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства (ЦНИИЛХ) Ф.И. Терехов, А.К. Толкачев и И.В. Высоцкий провели первые большие работы по изучению смолопродуктивности сосняков. Результаты исследований легли в основу их классификации, определяющей смолопродуктивность древостоев по диаметру и протяженности кроны (в процентах от высоты дерева).

Многие работы были прерваны Великой Отечественной войной 1941–1945 гг., но все-таки ежегодно добывалось 24 ... 29 тыс. т живицы. После войны объемы заготовки были быстро восстановлены и к 1949 г. достигли довоенного уровня (добыто 73,3 тыс. т). Широко развернулись научно-исследовательские работы. Организована лаборатория подсочки в ЦНИИЛХе на базе Центральной научно-исследовательской лесохозяйственной опытной станции (ЦНИЛХОС), а также Центральная и Сибирская зональные опытные станции по подсочке леса в Горьковской и Иркутской областях, в ЛенНИИЛХе в 1946 г. создан отдел терпентинной промышленности с лабораторией физиологии и подсочки леса.

Основные направления исследований в этот период: выявление возможности широкого применения стимуляторов смолы выделения – серной кислоты и хлорной извести; совершенствование технологии и технологических схем подсочки и осмолподсочки, подсочка ели и других пород; влияние подсочки на жизнедеятельность сосняков; разработка новых инструментов и оборудования. Проведены теоретические исследования размеров зоны смолы выделения, передвижения воды в стволе подсоченного дерева, анатомии смолывыделительного аппарата. Результаты этих разработок позволили обосновать преимущества и недостатки восходящего, нисходящего и двухъярусного способов подсочки, возможность применения стимуляторов смолы выделения.

Внедрение стимуляторов в производство сдерживалось отсутствием инструментов. Значительный прорыв в их конструировании осуществлен в 1956 г., когда был изобретен огибающий хак, позволяющий наносить мелкие огибающие ствол подновки на высоте до 5 м, не пользуясь лестницами. Коренным образом изменились технология и эффективность подсочки, так как появилась возможность увеличить нагрузку деревьев каррами и ширину карр на 27 % при улучшении состояния подсоченных деревьев. Значительно повысилась производительность труда вздымщиков. Этому способствовало применение серной кислоты и хлорной извести, которое стало возможным при использовании разработанного в 1956 г. М.П. Тимофеевым инструмента для подсочки с каолиновой пастой серной кислоты. Широкое внедрение подсочки с серной кислотой позволило увеличить объемы заготовки живи-

цы в стране (максимум в 1965 г. – 198 тыс. т) и одновременно привело к быстрому использованию и сокращению сырьевой базы, так как древесстои часто использовались только в течение 2 ... 3 лет, после чего вырубались. Нерациональное использование сырьевой базы подсочкой во многом определялось значительным увеличением объемов лесозаготовок в этот период. В результате приходилось вовлекать в подсочку все больше сосняков Севера и Сибири, постоянно передвигая северную границу зоны обязательной подсочки [3, 7, 8].

В 50-е и особенно 60-е гг. научно-исследовательские работы по вопросам подсочки очень широко вели: ЦНИИЛХ, Институт химии древесины АН ЛатвССР, ЛенНИИЛХ, БелНИИЛХ, Сибирский технологический институт, СибНИИЛП, Московский лесотехнический институт, Ленинградская лесотехническая академия, Институт биологии УрФ АН СССР, Украинская лесная опытная станция. В 1963 г. начаты исследования по подсочке дальневосточных древесных пород в ДальНИИЛХе [2]. В 1967 г. в Архангельском институте леса и лесохимии (АИЛиЛХ) образована лаборатория подсочки, которая сразу активно включилась в исследования актуальных вопросов подсочки. Увеличение объемов исследований сопровождалось нарастанием числа публикаций по вопросам подсочки: за период 1805–1962 гг. опубликовано 1260, за 1960–1970 гг. более 1000 работ [6].

В 60-е гг. совершенствовалась технология подсочки на основе новых инструментов; большое внимание уделялось применению серной кислоты с увеличением сроков ее воздействия, снижению трудоемкости и повышению рентабельности подсочного производства. Сделана попытка разработать таблицы смолопродуктивности сосняков (ЦНИИЛХ). Обоснована целесообразность создания высокосмолопродуктивных сосновых насаждений на основе селекции сосны обыкновенной и других видов (Е.П. Проказин, А.В. Гордеев, А.В. Чудный, А.А. Высоцкий и др.). К сожалению, практической реализации результатов исследований не было, хотя в этот период аналогичные работы развернулись в США, Западной Европе, Китае. В настоящее время КНР основной объем заготовки ведет в высокосмолопродуктивных сосняках (около 100 тыс. га), созданных в 50–60-е годы. Западные страны и США в середине XX в. переориентировались на выпуск в основном экстракционной, а затем талловой канифоли.

С середины 60-х гг. в России развернулись широкие исследования по поиску новых стимуляторов, обоснованию эффективности их применения на протяжении всего периода подсочки (10 ... 15 лет). В качестве стимуляторов было испытано большое количество веществ, но до практического применения доведены только побочные продукты производства целлюлозы: сульфитно-спиртовая барда и сульфитно-дрожжевая бражка. Со второй половины 60-х гг. широко развернулись опытные работы по изучению эффективности этих стимуляторов, разработке и внедрению технологии подсочки, которая позволяла повысить выход живицы с карры и подновки на 25 ... 50 % по сравнению с обычной подсочкой. В 1973 г. 50 % общего объема живицы добыто с бардяными стимуляторами, но при массовом приме-

нении они попадают в живицу, что значительно ухудшает условия ее переработки и качество канифоли.

В 70–80-е гг. поиск стимуляторов смолообразования и смолывыделения получил широкий размах: зарегистрировано около 100 авторских свидетельств на изобретения. Разработан и доведен до промышленного применения ряд стимуляторов и активизирующих добавок к ним. Наиболее значительный объем работ выполнен в АИЛиЛХе и Нижегородском отделении подсоски леса КирНИИЛПа. Совершенствовались инструменты и оборудование для подсоски. Созданы новые химические хаки, обеспечивающие нанесение стимулятора на подновку одновременно с ее срезанием и позволяющие регулировать расход стимулятора, значительно повысить производительность труда.

Все это позволило стабилизировать в 70–80-е годы ежегодный объем добычи живицы на уровне 130 ... 140 тыс. т в целом по СССР (по РСФСР – 115 ... 125 тыс. т) при постоянном сокращении сырьевой базы подсоски и числа работающих.

В этот период исследовались, особенно активно в АИЛиЛХе, лесоводственные методы повышения смолопродуктивности с помощью минеральных удобрений, осушения и рубок ухода. Вопросы создания высокосмолопродуктивных лесных культур сосны разрабатывались в Воронеже, в НИИЛГиСе.

Подводя итоги работы в конце 70-х гг., Ф.А. Медников [5] отмечал, что за 50 лет подсосное производство прошло путь от краткосрочной подсоски (3 ... 4 года) с вырубными карманами для сбора живицы до длительной (10 ... 15 лет) с применением в качестве стимуляторов физиологически активных веществ, высокопроизводительных инструментов и значительным сокращением трудозатрат на добычу живицы. За этот период производительность труда на подсоске возросла в 4,0–4,5 раза, выход живицы с карры за сезон в 4,3 раза.

В 80-е гг. объемы исследований стали постепенно сокращаться, к концу десятилетия ими занимались только АИЛиЛХ и КирНИИЛП, в меньшем объеме ЛенНИИЛХ и Уральский лесотехнический институт. Тем не менее в те годы разработан ряд стимуляторов выхода живицы (в частности на основе кормовых дрожжей) и активизируемых добавок к ним (поваренная соль, компазан, калий фосфорнокислый). В 1990 г. около 90 % всего объема живицы было добыто со стимуляторами на основе кормовых дрожжей. Средний по стране выход живицы составил: с карры 970 г, с 1 га 111,6 кг (в 1980 г. соответственно 768 г и 82,4 кг). При значительном сокращении за десятилетие площади заподсоченных насаждений (почти на 500 тыс. га) и числа рабочих (примерно на 5 тыс. чел.) удалось сохранить объемы добычи живицы и значительно увеличить производительность труда на подсоске. Сезонная выработка у лучших рабочих в России в 1989 г. достигала на добыче живицы 25 ... 40 т, на сборе 50 т.

С начала 90-х гг. объемы добычи живицы стали резко падать и в 1994–1995 гг. составили около 10 тыс. т в год. В 1995 г. исследованиями по

подсочке занимались практически только АИЛиЛХ и СПбНИИЛХ (бывший ЛенНИИЛХ). В АИЛиЛХе в эти годы изучали вопросы формирования сосновых насаждений повышенной смолопродуктивности рубками ухода, совершенствования технологии подсочки на основе новых высокоэффективных стимуляторов выхода живицы, разрабатывали предложения по совершенствованию оплаты труда на подсочке. Решались методические вопросы разработки нормативов продуктивности сосняков по выходу живицы, необходимые для учета живицы при оценке ресурсов леса и обосновании размера платы за отводимые в подсочку насаждения.

По нашим данным, в настоящее время научные исследования в области подсочки финансируются только в СПбНИИЛХе.

Несмотря на все сложности, промышленная подсочка в России развивалась благодаря использованию результатов научных исследований. Достигнута производительность труда по весовой выработке, сопоставимая с уровнем Западной Европы, США, КНР, при более низкой естественной смолопродуктивности сосны обыкновенной в России, что свидетельствует о высоком уровне отечественной технологии и применяемых инструментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Л.Л. и др. Опыты подсочки сосны по французскому способу / Л.Л. Волков, В.В. Шкателов, Ю.О. Пахарь, Ю.А. Рогер. – СПб.: Тип. М.А. Александрова, 1912. – 82 с. – (Тр. по лесн. опытно-делу в России; Вып. 42).
2. Гуль Л.П. Исследования по использованию лесных недревесных ресурсов в Дальневосточном НИИ лесного хозяйства // Лесные биологические активные ресурсы (березовый сок, живица, эфирные масла, пищевые, технические и лекарственные растения): Матер. Междунар. семинара. – Хабаровск, 2001. – С. 36–38.
3. Инструкция по лесопользованию лесов СССР для заготовки лесохимического сырья (от 27.09.56). – Брянск, 1956. – 27 с.
4. Кекух А.М. Подсочка сосны. – Киев: Изд-во АН УкрССР, 1951. – 40 с.
5. Медников Ф.А. Биологические основы и техника подсочки. – М: Лесн. пром-сть, 1980. – 176 с.
6. Оловенников Г.В., Киселева М.С. Библиографический справочник по подсочке хвойных древесных пород. – М., 1972. – 346 с.
7. Основные правила подсочки и осмолподсочки сосновых насаждений в лесах СССР (№ 69 от 01.04.63). – М., 1963. – 16 с.
8. Правила подсочки, осмолподсочки и заготовки лесохимического сырья в лесах СССР (№ 141 от 21.05.71). – М., 1971. – 42 с.
9. Трейнис А.М. Биологические основы и техника подсочки. – М: Лесн. пром-сть, 1968. – 252 с.

Архангельский государственный
технический университет

A.S. Yarunov, V.V. Petrik
From History of Tapping Development



КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630*902(049.3)

*Н.А. Бабич, Б.А. Семенов***ИСТОРИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ**

Под таким названием Московский государственный университет издал в 2002 г. монографию Г.И. Редько и Н.Г. Редько (458 с.: ил.).

Авторы справедливо отмечают, что лес сегодня – это явление не только биологическое, географическое, экологическое, но и историческое. Лес – хранитель, свидетель и символ истории. Одним из важнейших достижений науки и практики минувшего века является то, что леса планеты стали рассматриваться в общественном сознании как один из глобальных факторов обеспечения устойчивого развития человечества и экологической безопасности его жизнедеятельности.

Рано или поздно наступает такой момент, когда ученые решаются на капитальный обобщающий труд. Научному миру известны монографии по истории лесного хозяйства России, изданные с участием Г.И. Редько: «Корабельный лес во славу флота Российского» (1993); «Полковник корпуса лесничих» (1993); «Корабельные дубравы Чувашии: история и современное состояние» (1997); «Петр I об охране природы и использовании природных ресурсов» (1999); «Корабельные леса Украины» (1995); «Лесные питомники России» (1996) и др. Материалы этих монографий и других публикаций (147 названий) положены в основу рецензируемой книги. Она стала итогом более чем 25-летних исследований авторов в Росийском государственном историческом архиве, Российском государственном архиве Военно-Морского Флота, рукописном отделе Государственной публичной библиотеки им. М.Е. Салтыкова-Щедрина в С.-Петербурге, областных и республиканских архивах ряда регионов, также многолетнего преподавания научных дисциплин «Лесные культуры», «История лесного хозяйства России», «История лесного дела», «История садово-паркового искусства», «История заповедников» в С.-Петербургской лесотехнической академии.

Такой обобщающий труд в России издается впервые, хотя читателям известны книги, в которых в той или иной степени рассмотрены вопросы истории лесного хозяйства России, СССР, от дана дань уважения заслуг отечественных лесоводов.

В книге приведен альбом классиков отечественного лесоводства, труд которых невозможно переоценить. Галерею великих людей по праву открывает Петр I. Его перу принадлежит около 200 указов и писем по проблеме рационального использования лесов, их описания, картирования, первая общегосударственная лесная инструкция.

Прекрасно показано возникновение научных знаний о лесах России и становление практического лесоводства. В этом огромную роль сыграли такие лесные знатели, как М. Зельгер, Я.Ф. Мерцуммер, Ф.Г. Фокель, В.Н. Татищев, С.П. Крашенинников, И.Г. Посошков, А.Т. Болотов, П.С. Паллас, М.В. Ломоносов и целая плеяда других известных ученых XVIII–XIX вв. и их учеников.

Наряду с другими известными лесоводами, заслуженное место занимает академик И.С. Мелехов – человек большой судьбы, автор динамической типологии леса и типологии вырубок, вся жизнь которого отдана лесу.

К концу XVIII в. развитие лесного хозяйства России достигло такого уровня, при котором стало невозможным обойтись без специальных лесных учебных заведений для подготовки кадров и постановки лесного хозяйства на научную основу. Первой «ласточкой» явилось открытие в октябре 1803 г. Царскосельского практического лесного института, несколько позже – лесных институтов в Козельске и С.-Петербурге (Орловский). В 1811 г. Орловский и Царскосельский институты были объединены в один С.-Петербургский форстинститут. Он неоднократно менял свое название, и сейчас это С.-Петербургская государственная лесотехническая академия им. С.М. Кирова. В ее стенах выросло много известных отече-

ственных лесоводов. Только в XX в. здесь подготовлены десятки тысяч инженеров, около 2 тысяч кандидатов и 135 докторов наук. Поистине это кузница кадров для лесного хозяйства страны!

В 20-30-е гг. XX в. открылось около десятка лесотехнических институтов, лесохозяйственные отделения и факультеты в других вузах. Кроме того, успешно функционировали лесные и лесотехнические техникумы и колледжи по подготовке техников-лесоводов.

В книге ярко охарактеризовано лесное хозяйство, лесное образование, наука, их задачи, трудности и потребности в дореволюционный период (до 1917 г.), в годы советской власти (1918–1991 гг.), в условиях перехода к рыночной экономике (конец XX в. – начало XXI в.).

Поскольку книга вышла в свет тиражом всего 230 экземпляров и, вероятно, будет переиздана, следует высказать следующие пожелания авторам:

уделить больше внимания роли и значению лесов северных территорий;

четче показать связь сельского и лесного хозяйства и их взаимообусловленность;

охарактеризовать учебные лесные заведения не только Москвы и С.-Петербурга, но также расположенные в других районах страны, показать их роль в развитии и становлении лесного хозяйства на всей огромной территории нашей родины;

рельефнее отразить роль русских ученых в мировой истории лесного хозяйства, очертить научные школы и направления, достижения отечественных ученых и практиков-лесоводов в области лесного хозяйства России.

В целом предлагаемая читателю книга объективно раскрывает историю лесного хозяйства страны, роль отечественных ученых в формировании лесной науки, становлении и развитии практического лесоводства России, вносит существенный вклад в лесную науку и практику лесного дела.

Эта книга – учебник по истории лесного хозяйства и монография одновременно. Она предназначена для студентов лесных вузов и техникумов, научных сотрудников, практиков-лесоводов. Ее с интересом прочтут как специалисты, так и люди, мало знакомые с лесным хозяйством России. Ведь это частица нашей истории.

Архангельский государственный
технический университет

N.A. Babich, B.A.Semenov

History of Forestry in Russia

УДК 630*6(049.3)

Н.П. Чупров

ЛЕСОУСТРОЙСТВО*

Вышла в свет тиражом 1500 экз. книга по лесоустройству, подготовленная учеными кафедры лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета в содружестве с сотрудниками Архангельской лесоустроительной экспедиции, где с 1965 г. находится филиал кафедры. Книга включает предисловие, 16 разделов, послесловие, список литературы.

О всеобъемлющем содержании книги, освещающей важнейшие вопросы лесоустройства и организации лесного хозяйства, красноречиво говорят заголовки разделов: Лесоустройство, его задачи, значение и организационная структура; Разделение лесов по их государственному значению; Экологические, правовые и теоретические основы лесоустройства; Лесная типология в лесоустройстве; Лесоводственно-технические формы лесного хозяйства; Спелость леса;оборот и возраст рубки;оборот хозяйства; Лесоустроительные методы; Объект лесоустройства, его изучение и характеристика; Разделение леса и его инвентаризация; Основы организации лесного хозяйства; Пользование лесом; Проектирование лесохозяйственных мероприятий и лесопроизводства; Лесоустроительный проект; Виды и методики лесоустройства; Особенности устройства некоторых категорий лесов; Очерк истории отечественного лесоустройства.

В послесловии авторы обращают внимание на: сложившееся в последнее пятилетие неблагоприятное положение с приведением в должный порядок квартальной и визирной сети; проблему экономического обоснования лесоустроительного проекта; вопросы арендных отношений в лесном комплексе; необходимость совершенствования действующей методики расчета размера пользования древесиной путем внедрения неистощительного лесопользования с применением методик долгосрочных прогнозных расчетов по моделям, учитывающим прирост насаждений, смену пород, уровень и интенсивность лесохозяйственных мероприятий.

Широта охвата проблем лесоустройства, основательность их рассмотрения с приведением результатов исследований, в том числе и своих, а также опыта работы авторов в лесоустройстве, прекрасный язык и стиль изложения, оригинальность и логичность построения, высокое полиграфическое исполнение с цветными планово-картографическими документами и другими иллюстрациями – несомненные достоинства книги.

Особенностью труда являются ретроспективный взгляд на предметы, явления и события, уклон на лесное хозяйство Европейского Севера России.

Авторы подчеркивают, что «познание теории, практики и истории лесоустройства просто немислимо без свободного ориентирования в безбрежном океане накопленных знаний, отраженных в специальной литературе». И совершенно правильно поступил редактор, сохранив полный список из 459 литературных источников, на которые в книге сделаны ссылки.

Оставляет приятное впечатление посвящение книги двум выдающимся деятелям северного лесоустройства, заслуженным лесоведам РСФСР Василию Илларионовичу Левину и Николаю Александровичу Фирсонову.

В заключение отметим, что такой капитальный труд в области лесоустройства вышел на Европейском Севере России впервые, предназначен для широкого круга лесных специалистов и студентов – будущих лесоводов и лесоустроителей. Книга будет полезна для читателей не только на Европейском Севере России, но и далеко за его пределами. Приходится лишь сожалеть, что издана она небольшим тиражом.

* *Неволин О.А.* и др. Лесоустройство / О.А. Неволин, С.В. Третьяков, С.В. Ердяков, С.В. Торхов. – Архангельск: Правда Севера, 2003. – 583 с.

Северный НИИ лесного хозяйства

N.P. Chuprov
Forest Organization





ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

СЕРГЕЙ ВЕНИАМИНОВИЧ ЗАЛЕСОВ
(к 50-летию со дня рождения)

27 октября 2003 г. заведующему кафедрой лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета, доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заслуженному лесоводу РФ Сергею Вениаминовичу Залесову исполнилось 50 лет.

С.В. Залесов родился в д. Паламахинская Мурашинского района Кировской области. В 1972 г. он с отличием окончил Суводский лесхоз-техникум и работал сначала в Краснозатанском лесничестве Сыктывкарского лесхоза, а затем в Суводском лесхоз-техникуме. Дважды призывался в Вооруженные Силы СССР.

В 1981 г. С.В. Залесов с отличием окончил Уральский лесотехнический институт (ныне Уральский государственный лесотехнический университет), с которым связана вся его последующая работа. В 1986 г. Сергей Вениаминович успешно защитил кандидатскую, а в 2000 г. докторскую диссертации. В 2002 г. ему присвоено ученое звание профессора по кафедре лесоводства.

За время работы в университете С.В. Залесов зарекомендовал себя как опытный педагог. Под его руководством успешно защитили диссертации 17 аспирантов и соискателей.

Научное направление С.В. Залесова – повышение продуктивности и устойчивости лесов Урала и Западно-Сибирской равнины лесоводственными методами. По результатам исследований им лично, а также совместно с учениками и коллегами опубликовано более 200 научных работ. Среди них учебник «Лесоводство», учебные пособия «Лесоводство. Термины и определения», «Рубки ухода», «Состояние и проблемы лесного хозяйства Урала. Лекция», «Главные рубки», «Повышение продуктивности лесов», «Лесоведение», «Лесоводство», «Лесоведение и лесоводство. Термины, понятия, определения», «Лесная пирология», «Технология производства недревесной продукции леса», «Лесоведение и лесоводство. Практикум», «Дипломное проектирование», монографии «Проходные рубки в сосняках Урала», «Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов», «Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения», «Деграляция и деградация лесных экосистем в условиях нефтегазодобычи», «Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины», «Повышение продуктивности сосновых лесов Урала».

Основные результаты исследований вошли в нормативно-технические документы по ведению лесного хозяйства. При непосредственном участии С.В. Залесова были разработаны «Правила рубок главного пользования в лесах Урала», «Наставления по рубкам ухода в лесах Урала», «Сортиментные и товарные таблицы для лесов горного Урала», «Руководство по реконструктивным рубкам в темнохвойных лесах с участием кедра для организации кедросадов», «Временные рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования в лесах Урала с применением многооперационных колесных машин и сортиментной технологии», «Рекомендации по рубкам обновления и перестройки в лесах первой группы юга



Тюменской области и лесхозов Свердловскмежхозлес», «Рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования в лесах Урала и Западной Сибири с заготовкой сортиментов многооперационными машинами», «Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на Урале», «Рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования (в развитие и дополнение действующих Наставлений)».

Научно-педагогическую работу Сергей Вениаминович успешно сочетает с общественной деятельностью. В 1996–1999 гг. он председатель, а с 1999 г. член президиума регионального отделения Всероссийского общества лесоводов. В 2002 г. работал в составе рабочей группы президиума Государственного совета РФ по вопросам развития лесного хозяйства и лесопользования.

За заслуги в подготовке высококвалифицированных специалистов лесного хозяйства и большой вклад в развитие научных исследований ученый награжден почетными грамотами Государственного комитета СССР по лесу, Центрального комитета профсоюза рабочих лесной, бумажной и деревообрабатывающей промышленности, Министерства лесного хозяйства РСФСР, нагрудными знаками «За сбережение и преумножение лесных богатств России», «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», ему присвоено почетное звание «Заслуженный лесовод Российской Федерации».

О высокой гражданской позиции С.В. Залесова свидетельствует награждение его медалями «За спасение утопающих» и «60 лет Вооруженных Сил СССР».

От имени многочисленных учеников и товарищей по работе сердечно поздравляем Сергея Вениаминовича с юбилеем, желаем крепкого здоровья и новых творческих успехов.

В.В. Торопов, Г.А. Годовалов, Н.А. Кряжевских

Главное управление природных ресурсов
и охраны окружающей среды Министерства
природных ресурсов РФ
по Свердловской области

Уральский государственный
лесотехнический университет

V.V. Toropov, G.A. Godovalov, N.A. Kryazhevskikh
Sergey Veniaminovich Zalesov (by 50th Birthday)
