

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

2

2008

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Заместители главного редактора:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **А.С. Алексеев**, проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **А.А. Камусин**, акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **В.С. Куров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **Р.Н. Матвеева**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолева**, проф. **Е.Н. Наквасина**, доц. **О.А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **Д.А. Пономарев**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.Г. Санаев**, проф. **А.В. Селиховкин**, проф. **В.В. Сергеевичев**, проф. **В.А. Суслов**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **А.И. Чернодубов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Ю.А. Ширнин**, 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» № 2

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

Сдан в набор 31.03.2008. Подписан в печать 07.04.2008. Заказ № 102
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,13. Усл. кр.-отт. 13,13.
Уч.-изд. л. 15,94. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

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

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

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2008



СОДЕРЖАНИЕ

<i>Е.Н. Наквасина.</i> Современная лесохозяйственная наука в публикациях «Лесного журнала».....	7
ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО	
<i>М.Д. Мерзленко, Н.В. Живайкина.</i> К вопросу ранней диагностики провениеиций ели на быстроту роста.....	11
<i>А.А. Вайс.</i> Морфологические признаки растущих деревьев в «социальных группах».....	14
<i>О.Н. Ежов, Р.В. Ершов.</i> К вопросу о распространении гнили в стволах осины в среднетаежных древостоях.....	19
<i>Ю.И. Поташева.</i> Содержание тяжелых металлов в хвое сосновых насаждений, находящихся под воздействием выбросов автомобильного транспорта....	26
ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ	
<i>В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов.</i> Ресурсы отдаленных лесных массивов и возможность их освоения сплавом.....	30
<i>К.П. Рукомойников.</i> Развитие инфраструктуры поквартального освоения участков лесного фонда.....	36
<i>Э.М. Гусейнов.</i> Эффективность функционирования трансмиссии лесовоза.....	41
<i>Ю.И. Провоторов, В.Д. Валяжонков.</i> Статистические модели параметров колесных лесопромышленных машин.....	47
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ	
<i>Р.Е. Калитеевский, А.М. Артеменков, А.А. Тамби, А.В. Гаврюков.</i> Методика и пример расчета процессов окорки, сортировки и накопления пиловочных бревен.....	53
<i>В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов, Л.В. Кремлева.</i> Методы оптимизации и оценка качества дереворежущих фрез при стандовом и математическом моделировании. 1. Алгоритм решения задачи оптимизации конструкции сборного инструмента при физическом и математическом моделировании.....	60
<i>С.И. Рощина.</i> Армирование – эффективное средство повышения надежности и долговечности деревянных конструкций.....	71
<i>И.Т. Глебов.</i> О коэффициенте трения при фрезеровании древесины.....	75
<i>Л.С. Атрощенко.</i> Сушка паровоздушной смеси конвективных камер.....	79
<i>М.М. Черных, А.И. Пьянков, А.В. Троянов.</i> Обработка скульптурных изделий из древесины на станках с ЧПУ.....	84
ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ	
<i>Ю.Я. Симкин, И.Н. Беседина.</i> Уголь-сырец и сорбенты из брикетированных отходов окорки лиственницы сибирской.....	90
<i>В.К. Дубовый, Л.Ю. Фокина, А.Д. Иваненко, В.В. Богданов.</i> Свойства листовых композиционных материалов на основе стеклянных волокон.....	96
<i>Л.П. Майорова.</i> Исследование качества сульфатной целлюлозы из отходов лесозаготовок.....	100

<i>Э.И. Гермер.</i> Современная концепция экологического нормирования технологических процессов ЦБП и возможные пути ее реализации в России. 1. О проекте новой системы экологического нормирования – предпосылки его появления и концептуальные решения; проблемы, оставшиеся за рамками проекта.....	107
<i>О.А. Калиничева, Н. И. Богданович, Г. В. Добеле.</i> Предпиролиз древесного сырья в синтезе активных углей с NaOH.....	117
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>М.Д. Некрасов.</i> Особенности самокупаемости лесохозяйственного производства.....	123
<i>В.И. Конков.</i> Роль контроллинга в антикризисном управлении.....	128
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>Д.Л. Нерадовский, С.И. Морозов.</i> Оценка вибрационной устойчивости оснований лесопильных рам.....	137
<i>В.К. Любов.</i> Экспериментальное исследование воспламенения и горения частиц твердого топлива.....	139



CONTENTS

<i>E.N. Nakvasina.</i> Modern Forestry in Publications of «Lesnoy Zhurnal».....	7
FORESTRY	
<i>M.D. Merzlenko, H.V. Zhivaikina.</i> To Question of Early Detection of Spruce Provenances on Growth Speed.....	11
<i>A.A. Vice.</i> Morphological Characteristics of Growing Trees in «Social Groups»...	14
<i>O.N. Ezhov, R.V. Ershov.</i> On Aspen Stem Decay in Middle-taiga Forest Stands.....	19
<i>Yu.I. Potasheva.</i> Heavy Metals Content in Pine Stands Needles under Impact of Motor Transport Emissions.....	26
WOODEXPLOITATION	
<i>V.Ya. Kharitonov, S.V. Posypanov.</i> Resources of Remote Forestland and Possibility of their Development by Rafting.....	30
<i>K.P. Rukomoinikov.</i> Infrastructure Development of Compartment Reclamation of Forest Sites.....	36
<i>E.M. Guseinov.</i> Operating Efficiency of Timber Truck Transmission.....	41
<i>Yu.I. Provotorov, V.D. Valyazhonkov.</i> Statistical Models of Parameters of Wheeled Forest-industrial Machines.....	47
MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE	
<i>R.E. Kaliteevsky, A.M. Artemenkov, A.A. Tambi, A.V. Gavryukov.</i> Technique and Calculation Example of Debarking, Sorting and Sawlogs' Storing Processes...	53
<i>V.I. Malygin, N.V. Lobanov, L.V. Kremleva.</i> Methods of Optimization and Quality Rating of Wood Cutters under Bench and Mathematical Simulation. 1. Algorithm of Problem Solution on Optimization of Assembled Tool Structure under Physical and Mathematical Modeling.....	60
<i>S.I. Roshchina.</i> Reinforcement – Efficient Means of Increasing Reliability and Durability of Wooden Structures.....	71
<i>I.T. Glebov.</i> On Friction Coefficient in Wood Milling.....	75
<i>L.S. Atroshchenko.</i> Drying of Steam-air Mixture of Convective Chambers.....	79
<i>M.M. Chernykh, A. I. Pjankov, A. V. Troyanov.</i> Processing of Sculptural Wooden Items on Machines with Numerical Program Control.....	84
CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD	
<i>Yu.Ya. Simkin, I.N. Besedina.</i> Green Coal and Sorbents from Briquette Bark Residue of Siberian Larch.....	90
<i>V.K. Dubovyi, L. Yu. Fokina, A. D. Ivanenko, V. V. Bogdanov.</i> Properties of Sheet Composite Materials with Based on Glass Fiber.....	96
<i>L.P. Maiorova.</i> Quality Analysis of Sulphate Pulp from Waste Wood.....	100
<i>E.I. Hermer.</i> Modern Concept of Ecological Rationing of Technological Processes of Pulp-and-Paper Production and Possible Ways of its Realization in Russia. 1. On Draft New System of Ecological Rationing – Prerequisites of its Emerging and Conceptual Solutions: Problems beyond Project.....	107

O.A. Kalinicheva, N.I. Bogdanovich, G.V. Dobelev. Pre-pyrolysis of Wooden Raw Material in Synthesis of Active Coals with NaOH..... 117

ECONOMICS AND MANAGEMENT

M.D. Nekrasov. Self-repayment Peculiarities of Forestry Production..... 123

V.I. Konkov. Role of Controlling in Crisis Management..... 128

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

D.A. Neradovsky, S.I. Morozov. Vibration Stability Assessment of Saw Frame Base. 137

V.K. Lyubov. Experimental Research of Ignition and Burning of Solid Fuel Particles. 139

УДК 630*:05

Е.Н. Наквасина

СОВРЕМЕННАЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННАЯ НАУКА В ПУБЛИКАЦИЯХ «ЛЕСНОГО ЖУРНАЛА»*

История «Лесного журнала» многогранна, современность – ее часть. Интересна новейшая история раздела «Лесное хозяйство», который традиционно располагается первым на страницах журнала и призван определять его политику. В нем ежегодно публикуется от 20 до 50 статей по различным лесохозяйственным направлениям. Традицией стали тематические номера журнала, посвященные проблемам лесного хозяйства: «Экологический выпуск» (1989 г.); «Бореальные леса – проблема международная» (1992 г.) как отзвук состоявшегося в Архангельске Международного симпозиума по бореальным лесам, имевшего значительный резонанс; «Материалы исследований по Государственной научно-технической программе России «Российский лес» (1997 г.); «Материалы Международной конференции «Экология таежных лесов» (2000 г.); серия выпусков, посвященных юбилеям вузов, ведущих подготовку специалистов лесного хозяйства (АГТУ, УГЛТУ, МарГТУ, БрГИТА, «75 лет Воронежской высшей школе лесоводов (1994 г.), и лесохозяйственных организаций («Материалы, посвященные 90-летию Брянского опытного лесничества» (1997 г.); юбилеям выдающихся деятелей лесной науки (95- и 100-летию академика И.С. Мелехова (2000 и 2005 гг.) и др.

Раздел «Лесное хозяйство» впечатляет представленностью регионов и авторов. Статьи поступают практически со всей России, а также из ближнего зарубежья: Сибири (Тюмень, Забайкалье, Красноярский край), Урала, центральных областей (Брянск, Воронеж), Поволжья, Европейского Севера, Украины.

Среди авторов статей, опубликованных в последние 15 лет, имена таких известных ученых, как Б.В. Бабилов, А.И. Барабин, К.С. Бобкова, А.Н. Громцев, И.И. Гусев, С.В. Залесов, Л.Ф. Ипатов, Н.В. Кречетова, Е.Л. Маслаков, Р.Н. Матвеева, Н.А. Моисеев, О.А. Неволин, А.С. Тихонов, В.А. Усольцев, А.П. Царев, В.Ф. Цветков, Г.А. Чибисов, И.В. Шутов и др. Растет участие молодых ученых.

Тематика раздела разнообразна. Ежегодно примерно 30 ... 50 % статей посвящается вопросам лесоводства и лесоведения, 20 ... 25 % – лесным культурам, селекции, семеноводству и интродукции.

Статьи в области лесоводственной науки имеют свои тенденции и традиции. Исторически сложившимися являются исследования способов рубок, оценка естественного возобновления под пологом леса и на вырубках, система и организация ведения хозяйства (в притундровых, пойменных,

* Материалы доклада на юбилейном заседании.

смешанных лесах). Не остаются без внимания вопросы смены пород, оценка лесного фонда регионов и отдельных массивов лесов.

Большое внимание лесоводы уделяют рубкам ухода, их влиянию не только на габитус деревьев и структуру полога древостоя, но и на среду, качество древесины, состав живого напочвенного покрова под пологом или в целом рассматривают вопросы их экологической эффективности. Интересны работы, дающие наглядные результаты рубок ухода за длительный период.

Среди лесоводственных вопросов, волнующих ученых, можно выделить также два новых направления: формирование древостоев и развитие идей динамической типологии. Вопросы типологии леса сейчас рассматриваются как в традиционном аспекте (уточнение или совершенствование классификаций наименее изученных лесов, например пойменных), так и с ассоциативной точки зрения, когда в основу закладывается биогеоценотический спектр исследований. Важность лесотипологических исследований отражается и в ряде теоретических статей, рассматривающих подходы и общие лесоводственно-географические аспекты типологии вырубок леса (Е.П. Смолоногов, В.И. Обыденников с соавторами).

Значительный ряд работ посвящен структуре фитомассы древостоев различных пород, регионов, сравнительно-географическим и математическим закономерностям ее формирования (В.А. Усольцев с соавторами).

Поднимаются в журнале и назревшие вопросы ландшафтного лесоводства и районирования (А.Н. Громцев, В.А. Коломыцев, А.В. Алексеев с соавторами).

Все шире, особенно в последние годы, изучаются проблемы широкого пользования лесом: подсочка, нектаропродуктивность, другие недревесные продукты леса, сопутствующие породы, лекарственное и растительное сырье. Ставится вопрос об организации многоцелевого хозяйства в лесах.

Лесокультурная тематика традиционно представлена статьями по истории лесокультурного дела на отдельных объектах (культуры С.В. Алексеева, культуры дуба Б.И. Гузовского) или по регионам (на Урале, в Брянске и др.). Вопрос о плантационном лесовыращивании рассматривается от методологии до технологий возделывания плантаций и культур отдельных пород, как хвойных, так и лиственных, например ивы. Сохраняется интерес к такой породе, как сосна скрученная.

В области питомнического дела общее число статей, пожалуй, снизилось, что связано с реалиями лесохозяйственной обстановки в стране. Интерес ученых проявляется в статьях по агротехнике выращивания посадочного материала, внедрению селекционных подходов к его отбору, изучению влияния стимуляторов и жидких препаратов, нетрадиционных удобрений.

По-прежнему актуальны статьи по селекции и семеноводству. В основном они связаны с постоянной лесосеменной базой: рост компонентов на лесосеменных плантациях, изменчивость клонов, обеспеченность пыльцой и др. Не обойдены вниманием и вопросы прогноза урожая, качества семян и

его повышения разными способами (оптическое излучение, химические препараты).

Весьма значимыми являются материалы о полиморфизме древесных пород на разных стадиях их развития, представленные в породном и географическом аспектах. Фенетические показатели используются для ранней диагностики, признана их связь с ростом семян и деревьев, качеством древесины, например резонансными свойствами ели. Появляются работы и по генетическому полиморфизму древесных пород (сумма ДНК из листьев и почек – Р.Т. Гут с соавторами).

Широко освещаются результаты исследований по интродукции как отдельных видов древесных пород, так и их групп (например североамериканских видов, туи западной, элеутерококка, родиолы розовой). Изучаются особенности развития и плодоношения интродуцентов в разных регионах (на Севере, Урале, в Поволжье, Сибири).

Защита леса является приоритетной темой исследований. В журнале рассматриваются прежде всего закономерности распространения отдельных вредителей и болезней, дереворазрушающих грибов у основных лесобразующих пород (сосна, ель, лиственница). Широко представлены объекты исследований: древостои различных типов леса, возраста, состава, плантации, пожарища, парки и др. Поднимаются вопросы мониторинга за определенными видами вредителей, диагностики, например с помощью ультразвука. Проблемной до сих пор остается борьба с вредителями и болезнями, публикаций по этой тематике немного.

Вопросы пожарной безопасности лесов всегда волновали ученых, в последние годы они получили новое развитие. Речь идет о разработке пирологического районирования на ландшафтной основе (А.Н. Громцев), обосновании принципов дистанционного зонирования и выявления пожарной опасности лесов, математическом моделировании процессов распределения лесных пожаров и борьбе с ними (Г.А. Доррер). Не забыты и методологические вопросы, связанные с профилактикой, а также непосредственными способами борьбы (установки для тушения). Лесные пожары в лесах, к сожалению, происходят ежегодно и представляют большую опасность, что отразилось в появлении научных статей по оптимизации системы мер по охране труда и технике безопасности и расчетам рационального питания пожарных.

Наряду с научно-производственной лесохозяйственной тематикой, в журнале находят отражение такие близкие к ней научные направления, как биология и экология лесных растений и экосистем. Это работы, связанные с познанием метаболических реакций разного уровня как ассимиляционной, так и генеративной сфер древесных пород различных видов: динамика пигментного комплекса, макро- и микроспорогенез. Сюда же можно отнести изучение изменчивости метаболизма под воздействием природных факторов или химических реагентов. Немаловажное методическое значение имеет и поиск универсальных показателей оценки состояния древесных пород, в первую очередь, водоудерживающей способности ассимиляционного

аппарата (М.М. Котов, Н.А. Прожерина с соавторами, О.А. Неверова с соавторами).

Акцент на биологию леса делается в статьях, связанных с лесными почвами, их плотностью и водно-воздушным режимом, особенностями обработки и влиянием техники на почву при рубках и уходах за лесными культурами. Многосторонность аспектов изучения показывает важность этих вопросов и их потенциал, тем более что почвенный покров входит в качестве компонента баланса углерода, изучаемого учеными и представленного на страницах лесного раздела.

Как дань ситуации в экологической обстановке в стране и мире все чаще появляются научные работы, посвященные антропогенному воздействию и загрязнению природной среды, в том числе лесов. Рассматриваются различные уровни и виды загрязнения, их влияние на микромицеты в почве, насекомых, развитие семян, пигментный комплекс растений, анатомо-морфологические изменения, содержание макроэлементов в хвое и др. Вскрываются механизмы повреждения и устойчивости как в целом от воздействия поллютантов, так и при влиянии конкретного фактора, например температурного, вызванного газовым факелом.

Особый блок статей, в основном написанных коллегами из Брянского региона, посвящен влиянию радиационного воздействия на древесные растения (семена и пыльцу лесообразующих пород, древесину, отдельные виды лесных растений, в том числе лекарственных). Здесь исследуются как научные общепланетарные проблемы – возможность возобновления лесов, затронутых радиоактивным облаком ЧАЭС, так и чисто «житейские» – пользование древесиной и недревесной продукцией леса.

В связи с экологическими вопросами значимыми становятся работы, связанные с мониторингом за состоянием лесов на всех уровнях, фитоиндикацией загрязнения тяжелыми металлами как лесов, так и городских насаждений.

Современное содержание раздела «Лесное хозяйство» обусловлено новейшими событиями в стране. Государственная лесная стратегия, связанная с Лесным кодексом, введенным в действие с 01.01.2007 г., освещается в научных публикациях. Пока их немного (И.В. Шутов, В.Ф. Цветков, Н.А. Моисеев), нужно обдумать, проанализировать ситуацию, чтобы дать трактовку действий, понятий, обосновать систему лесопользования на новом этапе государственной политики.

Несомненно, что и читатели, и авторы с нетерпением ждут каждый новый выпуск «Лесного журнала», статьи по всем направлениям хозяйственной, биологической, экологической сторон жизни леса.

Архангельский государственный
технический университет

E.N. Nakvasina

Modern Forestry in Publications of «Lesnoy Zhurnal»



УДК 630*232

М.Д. Мерзленко, Н.В. Живайкина

Мерзленко Михаил Дмитриевич родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Московский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур Московского государственного университета леса. Имеет около 300 печатных работ по проблемам лесокультурного дела и истории лесной науки.



Живайкина Наталия Викторовна родилась в 1975 г., окончила в 2001 г. Московский государственный университет леса, аспирант кафедры лесных культур МГУЛ. Имеет 15 печатных работ в области изучения географических лесных культур.



К ВОПРОСУ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОВЕНИЕНЦИЙ ЕЛИ НА БЫСТРОТУ РОСТА

Обоснована оценка быстроты роста провениенций ели в 17-летних географических культурах по средней высоте 2-летних сеянцев.

Ключевые слова: быстрота роста, провениенции, географические лесные культуры.

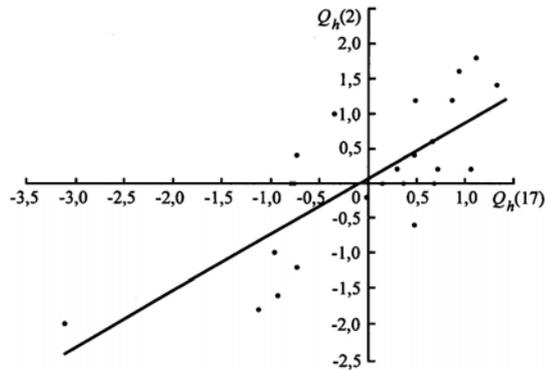
У ели европейской (*Picea abies* L.) существует ряд выявленных косвенных признаков, использующихся в ранней диагностике наследственных свойств. К ним относятся число семядолей, начало и окончание ростовых процессов, густота охвоения побегов, размеры почек и пр. [2–5]. В ходе изучения географических посадок ели нами была поставлена задача выяснить, существенна ли связь между средней высотой провениенций ели в возрасте 2 лет (т. е. сеянцев в питомнике) и в географических лесных культурах 17-летнего возраста. Наблюдения проведены в типично еловых условиях местопроизрастания (C_3) на территории лесорастительного района елово-широколиственных лесов Клинско-Дмитровской гряды Московской области [1].

Быстроту роста исследовали в 24 провениенциях ели из евроазиатского ареала рода *Picea*. Высоты (h) 2-летних сеянцев, а спустя 15 лет и 17-летних культур оценивали и сопоставляли в относительных величинах – долях стандартного отклонения. Для этого сначала по каждой из провениенций высчитывали географический дифференциал, или абсолютную успешность роста по высоте (U_h), как разницу между средними высотами

**Сопоставление относительной успешности провениенций ели
в возрасте 2 и 17 лет**

Происхождение	h сеянцев 2 лет, м	U_h (2)	Q_h (2)	h лесокультур 17 лет, м	U_h (17)	Q_h (17)
Чехия, Френчстат	0,14	-0,01	0,20	4,59	-0,03	-0,03
Словакия, Беньюш	0,15	0	0	4,76	0,14	0,14
Литва, Рокшинский лесхоз	0,24	0,09	1,80	5,72	1,10	1,11
То же, Варенский лесхоз	0,23	0,08	1,60	5,54	0,92	0,93
Беларусь, Могилевская область	0,21	0,06	1,20	5,10	0,48	0,48
То же, Беловежская пуца	0,16	0,01	0,20	5,33	0,71	0,72
Витебская область, Глубокский лесхоз	0,20	0,05	1,00	4,27	-0,35	-0,35
Украина, Карпаты, Усть-Чорна	0,22	0,07	1,40	5,93	1,31	1,32
Московская область, Уваровский лесхоз	0,21	0,06	1,20	5,47	0,85	0,86
Ярославская область, Ростовский лесхоз	0,17	0,02	0,40	3,90	-0,72	-0,73
Тверская область, Максатиха	0,16	0,01	0,20	5,67	1,05	1,06
То же, Торопецкий лесхоз	0,18	0,03	0,60	5,27	0,65	0,66
Ивановская область, Пучежский лесхоз	0,15	0	0	3,84	-0,78	-0,79
Смоленская область, Ельнинский лесхоз	0,15	0	0	4,98	0,36	0,36
Вологодская область, Грязовецкий лесхоз	0,17	0,02	0,40	5,09	0,47	0,47
То же, Тотьма	0,15	0	0	5,29	0,67	0,68
Свердловская область, Шагнарский лесхоз	0,16	0,01	0,20	4,91	0,29	0,29
То же, Алапаевск	0,15	0	0	3,87	-0,75	-0,76
Архангельская область, Вельский лесхоз	0,12	-0,03	-0,60	5,09	0,47	0,47
Красноярский край, Столбы	0,06	-0,09	-1,80	3,51	-1,11	-1,12
Пермская область, Оханский лесхоз	0,09	-0,06	-1,20	3,90	-0,72	-0,73
То же, Пермский лесхоз	0,10	-0,05	-1,00	3,67	-0,95	-0,96
Иркутская область, Ульканский лесхоз	0,07	-0,08	-1,60	3,70	-0,92	-0,93
Якутия, Нюрбинский лесхоз	0,05	-0,10	-2,00	1,53	-3,09	-3,12

Связь высот проростков
ели в 2- и 17-летнем возрасте:
 $y = 0,802x + 0,074$; $R^2 = 0,598$;
 $r = 0,77$



конкретной проростков и всей генеральной совокупности опыта. Затем находили относительную успешность роста проростков (Q_h), выраженную в долях стандартного отклонения. Этот показатель представляет собой частное от деления географического дифференциала конкретной проростков на стандартное отклонение по всей выборке опыта.

Результаты исследований показали существенное влияние географического происхождения ели на значения средних высот (абсолютные показатели) и в особенности на относительную успешность роста проростков (см. таблицу). Это в равной степени характеризует успешность роста как 2-летних сеянцев, так и выращенных из них географических лесных культур 17-летнего возраста. Лидирующими по росту в высоту оказались климатотипы ели происхождением из Восточных Карпат (Усть-Чорна) и Литвы (Рокшинский лесхоз). Они, как правило, обладали наиболее длительным периодом роста на протяжении вегетации. Крайне отрицательные значения относительной успешности роста зафиксированы у ели якутского и красноярского происхождений. Эти проростков изначально были сильно повреждены поздними весенними заморозками, что отразилось на их средней высоте.

На основании табличных данных установлена прямолинейная связь между относительными высотами 2-летних сеянцев и 17-летних культур (см. рисунок). Из графика видна тесная корреляционная связь показателей. Это фактически является свидетельством того, что средняя высота 2-летних проростков находится под генетическим контролем и может служить четким диагностическим признаком потенциальной быстроты роста в культурах. Применительно к выборке нашего опыта вероятность как надежность такой диагностики составила 87,5 %.

Таким образом, прогнозируемая успешность роста географических лесных культур обусловлена наследственными свойствами проростков, т. е. историко-географическими причинами, закрепленными генетически, и напрямую зависит от высоты растений как наследуемого признака, влияющего на последующую быстроту роста в условиях интродукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бородин, А.М.* Программные леса [Текст] / А.М. Бородин. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 239 с.
2. *Мельник, П.Г.* Развитие и рост всходов ели разного географического происхождения в зависимости от числа семядолей [Текст] / П.Г. Мельник // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: науч. тр. МГУЛ. – М., 1994. – Вып. 275. – С. 110–116.
3. *Орленко, Е.Г.* Методы ранней диагностики при оценке наследственных свойств плюсовых деревьев [Текст] / Е.Г. Орленко. – М.: ЦБНТИлесхоз, 1971. – 45 с.
4. *Попов, В.Я.* Число семядолей – селективный признак [Текст] / В.Я. Попов, В.М. Жариков // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. – Л., 1978. – Вып. 7. – С. 121–126.
5. *Роне, В.М.* Генетический анализ лесных популяций [Текст] / В.М. Роне. – М.: Наука, 1980. – 160 с.

Московский государственный
университет леса

Поступила 22.02.06

M.D. Merzlenko, H.V. Zhivaikina

To Question of Early Detection of Spruce Provenances on Growth Speed

The assessment of growth speed of spruce provenances in 17-year-old geographical cultures based on mean height of 2-year-old seedlings is reasoned.

УДК 630*5

А.А. Вайс

Вайс Андрей Андреевич родился в 1965 г., окончил в 1987 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геодезии Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 110 печатных работ в области таксации растущего дерева, изучения горизонтальной структуры насаждений.



МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ РАСТУЩИХ ДЕРЕВЬЕВ В «СОЦИАЛЬНЫХ ГРУППАХ»

Рассмотрено влияние социальных показателей на размерные признаки деревьев с учетом влияния ближайших деревьев-конкурентов. Установлено, что уровень растущего дерева и «социальной» группы позволяет выявить новые закономерности в процессах роста древостоев.

Ключевые слова: растущее дерево, социальная группа, конкуренты, морфологические признаки, связь, корреляция.

Для изучения ростовых процессов в древостое необходимы промежуточные (между древостоем и отдельным деревом) структуры, которые в большей мере характеризуют текущее состояние растительного сообщества.

Социальные условия во многом определяют размерные показатели растущих деревьев. На наш взгляд, в любом древостое в процессе роста формируются «социальные группы» (био группы) деревьев. В каждой структуре выделяют какое-то дерево, другие рассматривают как деревья-конкуренты, зону взаимодействия которых для упрощения ограничивают ближайшими «соседями» по радиусу. Период существования социальной группы ограничен временным отрезком до отпада дерева внутри био группы.

Автор неоднократно обосновывал целесообразность выделения био групп в древостое [2–4, 6], считая их промежуточной структурой между древостоем и деревом. Такой подход повышает уровень информативности о закономерностях роста и позволяет разработать нормативы для таксации древостоев на уровне растущего дерева [5, 7].

Цель данной статьи – выявить закономерности роста социальных групп через их влияние на морфологические показатели и прирост деревьев. В качестве объектов для изучения рассматривали сосновые древостои различной густоты и полноты.

Для сбора материала использовали авторскую методику. В древостоях подбирали модели по диаметру (ступеням толщины) и расстоянию до ближайших соседей. У каждой модели до рубки определяли размеры кроны, диаметр на высоте 1,3 м; устанавливали расстояние до ближайших четырех соседей по частям света. У деревьев-конкурентов измеряли диаметры на высоте 1,3 м. После рубки определяли ряд морфологических показателей и вычисляли приростные и объемобразующие характеристики (длина, место

расположения начала кроны, второй коэффициент формы, видовое число, объем ствола по сложной формуле Губера, прирост в высоту и по радиусу).

Модели брали в различных лесорастительных районах, что подтверждает выявленные зависимости. Число деревьев было разным, но позволяло получить общие закономерности. В таблице указаны характеристики, дающие представление об исходном материале.

Общая характеристика материала

Область исследований	Лесхоз	Число моделей, шт.	Лимит		
			возраста, лет	средних расстояний, м	диаметров, см
Красноярский край	Абанский	92	15...145	1,0...6,4	6,0...61,5
	Боготольский	85	22...130	0,9...18,0	8,0...42,0
	Пировский	17	18...110	4,8...12,8	10,0...28,0
Якутская АО	Ленский	42	35...124	2,1...4,5	8,0...33,0
Читинская область	Газимур-Заводский	46	20...80	1,1...6,1	6,0...49,0

Многообразие пространственных ситуаций позволило получить достоверные характеристики связей. В качестве одного из показателей социальных групп использовали среднее расстояние между центральным деревом и конкурентами (L_{cp}):

$$L_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^4 L_i}{n},$$

где $\frac{\sum_{i=1}^4 L_i}{n}$ – сумма расстояний до конкурентов, м;

n – число соседних деревьев, шт.

Вторым показателем является индекс конкуренции (CI), характеризующий долю влияния соседних деревьев в относительных единицах через диаметры стволов:

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^4 \Delta_i}{n},$$

где $\frac{\sum_{i=1}^4 \Delta_i}{n}$ – сумма диаметров стволов, см.

Данные обрабатывали с помощью статистических пакетов на ПЭВМ.

Связь возраста с горизонтальной структурой. Общеизвестна определяющая роль возраста в процессах роста в древостое [1, 8]. У растущего дерева с возрастом увеличивается свободное пространство (среднее расстояние). Связь меняется от слабой (0,245 – Абанский лесхоз)

до высокой (0,729 – Газимур-Заводский лесхоз). Визуальный анализ позволил выявить как равномерный рост среднего расстояния с возрастом (Боготольский лесхоз), так и периодический (пики в 50, 80, 110 лет). Это объясняется возрастной структурой древостоя (степенью разновозрастности).

Индекс конкуренции с возрастом снижается по прямой или гиперболической зависимости. При этом теснота связи меняется от значительной (–0,708 – Абанский лесхоз) до тесной (–0,807 – Боготольский лесхоз).

Таким образом, с возрастом растущему дереву требуется большее пространство, а социальное давление снижается, что достигается саморегуляцией древостоя или проведением специальных хозяйственных мероприятий (рубками ухода).

Связь размеров деревьев с социальными показателями. Размерные характеристики деревьев характеризуют высоту, диаметр на высоте 1,3 м, объем ствола. С увеличением пространства для роста (среднего расстояния) возрастают размеры деревьев. Теснота связи с высотой варьировала от слабой (0,214 – Ленский лесхоз) до значительной (0,657 – Газимур-Заводский лесхоз). У диаметров стволов закономерность аналогичная при тесноте связи от слабой (0,238 – Абанский лесхоз) до значительной (0,695 – Газимур-Заводский лесхоз). Связь объема ствола со средним расстоянием также неоднозначна: от слабой (0,146 – Абанский лесхоз) до высокой (0,745 – Газимур-Заводский лесхоз).

Между индексом конкуренции и размерами стволов наблюдается обратная связь от значительной до высокой. Отмечена тесная связь высот и диаметров с индексом конкуренции (от –0,705 до –0,850). Объем ствола в значительной мере зависит от размеров соседей.

Связь морфологических признаков деревьев с социальными группами. К морфологическим признакам относили диаметр и длину кроны, высоту ее начала. Морфоструктура дерева определяет процессы нарастания древесной массы. Увеличение пространства для роста в той или иной мере способствует возрастанию размеров крон (диаметр, общая длина и бессучковая часть). Связь среднего расстояния с диаметром кроны менялась от слабой (0,063 – Ленский лесхоз) до значительной (0,686 – Газимур-Заводский лесхоз). Длина кроны в умеренной степени зависит от пространства вокруг растущего дерева. Корреляция варьировала от слабой до значительной в зависимости от густоты стояния растений.

Социальный фактор негативно влияет на размеры кроны и длину бессучковой зоны. Теснота связи менялась от умеренной (–0,463) до высокой (–0,766).

Связь прироста деревьев с социальной группой. Как сказано выше, время существования социальной группы ограничено. Поэтому использование статичных связей может показаться некорректным. Однако чем выше возраст дерева, тем более постоянными и однородными становятся условия вокруг особи (отпад резко уменьшается). Необходимо также учитывать адаптационные реакции деревьев в социальных группах. Для того чтобы изучить связь текущего прироста с параметрами простран-

ства вокруг растущего дерева, использовали годичный прирост по высоте и приросты по радиусу ствола на высоте 1,3 м за 5, 10 и 15 лет. Оказалось, что он не зависит от среднего расстояния между деревом и соседями (корреляция $-0,080$). Связь приростов по радиусу и в пространстве повышается с увеличением рассматриваемых периодов. Например, в Газимур-Заводском лесхозе коэффициенты корреляции для прироста за 5, 10 и 15 лет составили соответственно 0,175; 0,301 и 0,363.

Таким образом, социальный фактор проявляет свое влияние за достаточно большой период (10 ... 20 лет), который можно учесть только при сохранении постоянства структуры древостоя, что в естественных условиях возможно лишь в одновозрастных насаждениях.

Выводы

Уровень растущего дерева и социальной группы позволяет выявить новые закономерности в процессах роста древостоев.

1. Пространство вокруг растущего дерева увеличивается с возрастом, при этом влияние конкурентов снижается.

2. Густота стояния деревьев в значительной степени влияет на их морфологические признаки (диаметр, длина кроны). С повышением густоты закономерно увеличиваются параметры кроны. Конкуренция негативно сказывается на параметрах кроны растущего дерева.

3. Свободное пространство вокруг растущего дерева способствует увеличению размеров стволовой части дерева. Социальный фактор в значительной степени негативно влияет на объемы стволов.

4. Оценка влияния горизонтальной структуры пространства вокруг растущего дерева возможна только при рассмотрении достаточно длительного периода (10 ... 20 лет), что объясняется высокими адаптационными свойствами растений при взаимодействии друг с другом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анучин, Н.П. Лесная таксация [Текст]: учеб. для вузов / Н.П. Анучин. – 2-е изд. – М.: Лесн. пром-ть, 1982. – 550 с.
2. Вайс, А.А. Биограмма – естественная структурная организация древостоя [Текст] / А.А. Вайс // Вестн. СибГТУ. – Красноярск, 2002. – № 1. – С. 35–38.
3. Вайс, А.А. Зона влияния дерева в естественных насаждениях Среднеобских боров [Текст] / А.А. Вайс // Вестн. СибГТУ. – Красноярск: СибГТУ, 2003. – № 1. – С. 32–36.
4. Вайс, А.А. Методика таксации отдельного дерева [Текст]: учеб. пособие к дипломному проектированию для студ. 260400 всех форм обучения / А.А. Вайс, В.В. Кузьмичев, Г.К. Субочев. – Красноярск.: СибГТУ, 1999. – 52 с.
5. Вайс, А.А. Микроценотический подход к таксации растущей древесной особи [Текст] / А.А. Вайс // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: материалы Всерос. конф. – Красноярск.: ИЛИД СО РАН, 2004. – С. 410–412.

6. Вайс, А.А. Прогноз распределения средних расстояний на уровне растущего дерева в сосновом древостое [Текст] / А.А. Вайс // Лесн. таксация и лесоустройство: Междунар. науч.-практ. журн. – Красноярск: СибГТУ, 2004. – С. 37–41.

7. Вайс, А.А. Составление таблицы определения продуктивности особей в ценопопуляциях сосны обыкновенной (*Pinus sibirica*) [Текст] / А.А. Вайс // Там же. – 2003. – № 1(32). – С. 43–46.

8. Дыренков, С.А. Структура и динамика таежных ельников [Текст] / С.А. Дыренков. – Л.: Наука, 1984. – 174 с.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 03.02.06

A.A. Vice

Morphological Characteristics of Growing Trees in «Social Groups»

The influence of social parameters on tree dimensional characteristics is considered taking into account the influence of the nearest trees-competitors. It is established that the level of a growing tree and “social” group allows revealing new regularities in the process of the stand growth.

УДК 630*443.3

О.Н. Ежов, Р.В. Ершов

Ежов Олег Николаевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 50 печатных работ в области изучения лесопатологического состояния древостоев, биоиндикации загрязнения лесных экосистем, биоразнообразия грибных болезней и вредителей зеленых насаждений.



Ершов Роман Викторович родился в 1982 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 5 печатных работ в области изучения биоразнообразия дереворазрушающих грибов, фауны лиственных древостоев.



К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ГНИЛИ В СТВОЛАХ ОСИНЫ В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ДРЕВОСТОЯХ*

Установлено влияние таксационных показателей деревьев осины, поврежденных осиновым трутовиком, на размерные характеристики гнили в стволах. Предложен ряд уравнений для их рациональной раскряжевки в зависимости от хорошо определяемых показателей.

Ключевые слова: осина, гниль, плодовые тела, закономерности, рациональная раскряжевка.

Распространение гнилей в деревьях зависит от различных факторов, среди которых можно выделить возраст деревьев, число плодовых тел дереворазрушающих грибов, высоту их прикрепления и др. Основным грибом-разрушителем ядровой древесины в спелых и перестойных осинниках является осиновый трутовик (*Phellinus tremulae* (Bond.) Bond. et Borissov), который вызывает типичную центральную коррозионную гниль в стволах. Она, как правило, имеет форму цилиндра, книзу иверху заканчивается выступами в виде языков или выростами различной длины, на поперечном срезе чаще всего имеет форму круга, а иногда колец или полуколец [1].

Первые признаки болезни появляются на деревьях III класса возраста, достигая максимального развития в спелых и перестойных древостоях, где поражается до 75 % деревьев. При этом тип леса, полнота и состав древостоя не оказывают существенного влияния на распространение гриба [4].

Цель нашего исследования – выявить зависимость развития гнили в стволах осины от лесоводственно-таксационных показателей древостоев,

* Работа выполнена при поддержке гранта научных проектов молодых ученых и аспирантов президиума УрО РАН.

числа и высоты прикрепления плодовых тел (ПТ) и предложить ряд уравнений для рациональной раскряжевки стволов.

В работе использованы данные обмера 139 деревьев осины, имеющих плодовые тела осинового трутовика, т. е. пораженные гнилью. Деревья срублены в средней подзоне тайги Архангельской области на пробных площадях в осинниках-черничниках Вельского и Плесецкого районов. Возраст модельных деревьев 20 ... 110 лет, таксационный диаметр 7,1 ... 40,0 см, высота 9,6 ... 28,0 м, число плодовых тел на одном дереве 1 ... 12 шт. (табл. 1).

Деревья в рубку отбирали пропорционально их представленности в ступенях толщины. После рубки дерева и очищения от сучьев измеряли длину ствола, диаметр на 1,3 м, отмечали высоту прикрепления плодовых тел, по пню определяли возраст дерева. Затем деревья раскряжевывали на 2-метровые отрубки до тех пор, пока не заканчивалась гниль. Таким образом определяли абсолютную протяженность гнили, как наиболее важный параметр, влияющий на объемные характеристики гнили.

Считая поперечную форму гнили кругом [1, 2] и зная продольное распространение, вычисляли ее объем, по общепринятой формуле среднего сечения. Относительные параметры определяли как отношение показателя гнили к соответствующему параметру дерева.

Таксационные показатели моделей увеличиваются в зависимости от класса возраста, число плодовых тел на дереве примерно одинаково (см. табл. 1).

Данные о параметрах гнили в зависимости от возраста дерева представлены в табл. 2. Абсолютные средние и максимальные показатели гнили повышаются с классом возраста деревьев, относительные остаются примерно на одном уровне, что свидетельствует о совпадении скорости прироста гнили и прироста дерева по высоте. На пне гниль отмечена у всех модельных деревьев.

В 80 % случаев гниль располагается в нижней и средней частях ствола, занимая самую ценную его часть, у 20 % деревьев она распространяется более чем на 3/4 длины ствола. Поэтому разница между объемами самой гнили и отрубка с гнилью достигает четырех раз.

Модельные деревья с плодовыми телами были разбиты нами на группы по числу базидиокарпов: 1-2, 3-4, 5-6, 7 и более, достаточно равномерно представленные по числу моделей, а также таксационным показателям (табл. 3). Число плодовых тел на деревьях как внешний показатель степени развития гнили варьирует от 1 до 12 (в среднем 6 базидиокарпов на один ствол). Видно, что с увеличением числа плодовых тел возраст модели и протяженность гнили остаются практически неизменными, все остальные таксационные показатели имеют заметную тенденцию к возрастанию кроме протяженности гнили выше крайнего плодового тела. Средняя высота прикрепления плодовых тел растет от 2,0 до 2,7 м с увеличением их числа соответственно от 1 ... 4 до 7 шт. и более, как и средняя высота крайнего

верхнего плодового тела от 1,8 м (1-2 ПТ) до 4,8 м (7 ПТ и более). Но так как протяженность гнили с ростом числа ПТ остается примерно на одном

уровне (от 6,6 до 7,6 м), то выше верхнего базидиокарпа она уменьшается (от 4,7 до 2,6 м). Резкое увеличение объема кряжа с гнилью объясняется расположением гнили в нижней части ствола.

Для определения протяженности гнили в стволе не может быть использовано число плодовых тел ввиду очень низкой корреляционной связи ($r = 0,06$) между рассматриваемыми показателями. Подобные зависимости отмечены нами и для фаутовых сосновых деревьев [3].

На основании установленных взаимосвязей мы рассчитали коэффициенты корреляции всех рассмотренных таксационных показателей, влияющих на параметры гнили в стволе. Выявлена наиболее тесная корреляционная зависимость протяженности гнили с такими показателями, как класс возраста ($r = 0,44$), высота прикрепления кроны ($r = 0,43$) и крайнего верхнего плодового тела ($r = 0,74$). При известных высоте прикрепления кроны дерева (H_k , м) и верхнего ПТ ($H_{п.т}$, м) примерную протяженность гнили (L , м) можно рассчитать по уравнениям

$$\begin{aligned} L &= 5,326 - 0,219H_k + 0,031H_k^2, & P &= 3,31, r = 0,43; \\ L &= 3,728 + 0,839H_{п.т} + 0,006H_{п.т}^2, & P &= 2,37, r = 0,74. \end{aligned}$$

Наиболее удобным в практическом применении показателем протяженности гнили (L , м) является диаметр гнили на пне (D , см). Однако наши исследования показали, что коэффициент корреляции данного показателя с протяженностью гнили составляет всего 0,34, а уравнение имеет вид

$$L = 5,491 + 0,061D + 0,006D^2, \quad P = 3,43.$$

При нахождении объема гнили (V_g , м³) и объема кряжа с гнилью ($V_{к.г}$, м³) ситуация выглядит несколько иначе. Для объема гнили наиболее тесной взаимосвязь оказалась с диаметром гнили на пне ($r = 0,89$), для объема кряжа с гнилью – со степенью толщины (X , см) ($r = 0,81$) и классом возраста (A) ($r = 0,73$).

Примерные объемы можно рассчитать по уравнениям:

$$\begin{aligned} V_g &= 0,020 - 0,002D + 0,0004D^2, & P &= 0,03; \\ V_{к.г} &= 0,0265 - 0,00133X + 0,00047X^2, & P &= 0,08; \\ V_{к.г} &= 0,003A + 2,504A^2 - 0,004, & P &= 0,11. \end{aligned}$$

Выводы

1. Основным пороком, влияющим на фаутность осиновых древостоев, является центральная коррозионная гниль, вызываемая осиновым трутовиком.

2. Первые признаки болезни появляются на деревьях III класса возраста, максимального распространения достигают в спелых и перестойных насаждениях, где поражается до 75 % деревьев.

3. Количественные характеристики гнили зависят в первую очередь от возраста древостоя.

4. Наиболее тесные корреляционные связи установлены между такими показателями, как протяженность гнили и класс возраста ($r = 0,44$), вы-

сота прикрепления кроны ($r = 0,43$), высота прикрепления крайнего верхнего плодового тела ($r = 0,74$); объем гнили с диаметром гнили на пне ($r = 0,89$); объем кряжа с гнилью со ступенью толщины ($r = 0,81$) и классом возраста ($r = 0,73$).

5. При установлении протяженности гнили в стволе основным внешним признаком является высота прикрепления крайнего верхнего ПТ ($r = 0,74$). Число плодовых тел не оказывает существенного влияния на протяжённость гнили в стволе, что делает невозможным использование этого показателя для четких практических рекомендаций о рациональной раскряжке фаутовых стволов.

6. При рациональной раскряжке пораженных стволов могут быть использованы предложенные уравнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакин, А.Т. Пороки древесины [Текст] / А.Т. Вакин, О.И. Полубояринов, В.А.Соловьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 112 с.
2. ГОСТ 9462–88. Лесоматериалы круглые лиственных пород. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 13 с.
3. Ежов, О.Н. Распределение гнили сосновой губки в стволах сосен [Текст] / О.Н. Ежов, О.А. Конюшатов // Лесоведение. – 2001. – № 1. – С. 71–74.
4. Ершов, Р.В. Зависимость параметров гнили в стволах осины от почвенно-эдафических характеристик древостоев [Текст] / Р.В. Ершов, О.Н. Ежов // Леса Евразии – Уральские горы: материалы V Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 175-летию первого лесоустройства на Урале и 160-летию лесовода Ф.А. Теплохова. – М.: МГУЛ, 2005. – С. 74–76.

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Поступила 19.12.05

O.N. Ezhov, R.V. Ershov

On Aspen Stem Decay in Middle-taiga Forest Stands

The influence of inventory parameters of aspen trees damaged by the aspen polypore on dimensional characteristics of stem decay is established. A set of equations is offered for their efficient crosscutting depending on their determinable parameters.



УДК 504.5:633.529.57

Ю.И. Поташева

Поташева Юлия Игоревна родилась в 1976 г., окончила в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесных культур и ландшафтного строительства АГТУ. Имеет 3 печатные работы по проблеме экологической оценки состояния сосновых фитоценозов, расположенных в зоне действия выбросов автомобильного транспорта.



СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ХВОЕ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Изучено содержание тяжелых металлов в двухлетней хвое сосновых насаждений, расположенных вдоль автодороги Архангельск – Москва. В зоне действия выбросов транспорта отмечено загрязнение, особенно свинцом и кадмием. По мере удаления от дороги содержание металлов в хвое снижается.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, отработавшие газы, сосновые насаждения, тяжелые металлы.

Известно влияние тяжелых металлов на окружающую среду [2]. По токсичности выделяют наиболее опасную группу: свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, медь, цинк, хром, никель. Они проявляют накопительное действие. Избыточная концентрация тяжелых металлов подавляет метаболические процессы в растениях, тормозит их развитие, снижает продуктивность.

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды токсичными веществами, в том числе тяжелыми металлами, является автомобильный транспорт. Химический состав газов, образующихся при сжигании топлива, зависит от его вида и качества, технологии производства, способа сжигания и технического состояния двигателя [4]. Кроме того, при движении автомобилей изнашиваются автомобильные шины и истираются дорожные покрытия. Воздух возле автомагистралей насыщается токсичными веществами в виде ионов или в составе аэрозолей. Компоненты отработавших газов и продуктов износа перемещаются воздушными потоками на прилегающую территорию, оседая на поверхности почвы и растениях.

Исследователи неоднократно отмечали повышение концентрации тяжелых металлов в различных органах растений по мере приближения к источнику выбросов. Их содержание в хвое и листьях может служить индикатором загрязнения окружающей среды [1].

Цель настоящей работы – оценить содержание тяжелых металлов в хвое сосновых насаждений, прилегающих к автодороге М-8 (Архангельск – Москва). Для исследования были подобраны 6 пробных площадей (ПП) в черничном и лишайниковом типах леса. ПП № 1, 2 и 3 заложены на 20-м, ПП № 4, 5 и 6 – на 241-м километре автодороги; ПП № 1, 2 и 4, 5 – попарно с учетом розы ветров, с наветренной и подветренной сторон дорожной

Таблица 1

Таксационная характеристика насаждений

№ ПП	Состав древостоя	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота	Класс бонитета	Класс возраста
1	7С2Б1Ос	9,0	11,8	0,9	III	III
2	8С2Б	9,4	12,2	0,8	III	III
3к	8С2Б	7,7	11,0	0,8	III	III
4	10С	15,3	16,4	0,7	IV	IV
5	10С	12,7	12,4	0,7	IV	IV
6к	10С	15,6	15,2	0,7	IV	IV

просеки. Контролем служили ПП № 3к и 6к, удаленные от дорожной трассы на расстоянии 1000 и 350 м. Краткая характеристика древостоев на пробных площадях представлена в табл. 1.

Образцы двухлетней хвои для химического анализа отбирали в вегетационный период в конце июня – начале июля. С 5 ... 10 здоровых деревьев диаметром, близким к среднему для древостоя, срезали секатором по 3 ... 5 веток первого порядка со стороны дороги. Образцы собирали на различных расстояниях от бровки дорожного полотна. В изучаемый ряд включали свинец, кадмий, цинк, медь как наиболее характерные выбросы автотранспорта.

Содержание тяжелых металлов в хвое определяли при поддержке гранта 021 в аккредитованной испытательной лаборатории почв, кормов, сельскохозяйственной и пищевой продукции ФГУ САС «Архангельская» с использованием атомно-абсорбционного спектрометра-5М [3]. Полученные результаты химического анализа представлены в табл. 2.

Для оценки содержания тяжелых металлов в двухлетней хвое сосновых древостоев, находящихся под воздействием выбросов автомобильного транспорта, а также степени загрязнения атмосферного воздуха возле автомагистрали сопоставляли фоновые (контрольные) значения на пробных площадях с содержанием тяжелых металлов в хвое насаждений, прилегающих непосредственно к дорожной трассе.

Больше всего загрязнителей отмечено на ПП 1, расположенной с правой стороны дороги М-8, или к западу от нее. Содержание тяжелых металлов в хвое сосны превысило фоновое значение по свинцу на 138,5 ... 15,4, кадмию – на 178,9 ... 10,5, цинку – на 86,4 ... 20,1, меди – на 23,1 ... 17,9 %. Несколько меньше металлов в хвое на ПП 2, расположенной по левую сторону дороги, или к востоку от нее. Превышения над контрольными показателями составили: по свинцу – 110,3 ... 10,3, кадмию – 123,7 ... 10,5, цинку – 70,9 ... 9,0, меди – 18,8 ... 3,1 %. На ПП 1 тяжелых металлов в хвое больше, чем на ПП 2, по свинцу превышение составило 11,6, кадмию – 12,9, цинку – 8,5, меди – 8,2 %.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в двухлетней хвое сосны

Тип леса	Расстояние от дороги, м	Тяжелые металлы, мг/кг			
		Свинец	Кадмий	Цинк	Медь
ПП 1					
Сосняк черничный	10	0,93	0,106	65,60	2,82
	50	0,92	0,062	49,26	2,81
	100	0,45	0,042	42,29	2,70
ПП 2					
	10	0,82	0,085	60,17	2,72
	50	0,81	0,059	46,33	2,62
	100	0,43	0,042	38,36	2,36
Контроль, ПП 3					
	1000	0,39	0,038	35,20	2,29
ПП 4					
Сосняк лишайниковый	10	0,68	0,069	45,70	2,60
	50	0,57	0,067	41,16	2,37
	100	0,41	0,055	37,36	2,19
ПП 5					
	10	0,66	0,059	42,34	2,41
	50	0,43	0,058	37,98	2,26
	100	0,40	0,053	35,42	2,12
Контроль, ПП 6					
	350	0,32	0,045	34,49	2,00

Похожая картина просматривается и в лишайниковом типе леса. Наибольшее содержание токсичных элементов в хвое оказалось на ПП 4, расположенной по правую сторону дороги Архангельск – Москва, или к югу от нее. Оно превысило фоновое значение по свинцу на 112,5 ... 28,1, кадмию – на 53,3 ... 22,2, цинку – на 32,5 ... 8,3, меди – на 30,0 ... 9,5 %.

Несколько меньше металлов на ПП 5, расположенной слева от дороги, или к северу от нее: свинца – 10,0; кадмия – 12,3; цинка – 7,3; меди – 5,7 %. Превышения над контрольными показателями на ПП 5 составили: по свинцу – 106,3 ... 25,0, кадмию – 31,1 ... 17,8, цинку – 22,8 ... 2,7, меди – 20,5 ... 6,0 %.

Повышенное содержание тяжелых металлов в хвое наблюдается на расстоянии 100 м от дорожного полотна, снижаясь по мере удаления от источника выбросов.

Сравнивая количественные показатели химического анализа в черничном и лишайниковом типах леса с учетом господствующих ветров, можно отметить, что на ПП 1 и 4, расположенных с наветренной стороны, наблюдается наибольшее содержание металлов. Эти участки испытывают максимальную ветровую нагрузку в вегетационный период. Значительное

загрязнение вызывают свинец и кадмий, которые относятся к наиболее опасной по токсичности группе элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гурьев, Т.А.* Оценка загрязненности придорожной полосы автомобильных дорог [Текст] / Т.А. Гурьев, Г.С. Тутыгин // Экологические проблемы Европейского Севера: сб. науч. тр. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – С. 90–99.
2. *Ильин, В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растение [Текст] / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.
3. Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах [Текст]. – М.: ЦИНАО, 1993. – 40с.
4. *Павлова, Е.И.* Экология транспорта [Текст]: учеб. для вузов / Е.И. Павлова. – М.: Транспорт, 2000. – 248 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 10.04.06

Yu.I. Potasheva

Heavy Metals Content in Pine Stands Needles under Impact of Motor Transport Emissions

The heavy metals content is studied for biennial needles of pine stands located along highway Arkhangelsk-Moscow. In the emission zone the pollution by lead and cadmium is registered. The content of metals in needles goes down as moving off the road.



УДК 630*378

В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов

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

**РЕСУРСЫ ОТДАЛЕННЫХ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ
И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ОСВОЕНИЯ СПЛАВОМ***

На примере Архангельской области показаны эксплуатационные ресурсы лесного сырья в бассейнах малых и средних рек, возможность их освоения с использованием лесосплава единым транспортным пакетом.

Ключевые слова: пакет, пучок, линейка, секция, плот, лесосплав, минирейд, запань, лесные ресурсы, пиловочное сырье.

Россия имеет разветвленную речную сеть. Подготовленный природой путь, энергосберегающие и экологически чистые по сравнению, например, с автомобильными перевозки различных грузов должны служить народному хозяйству. Речной транспорт, в частности лесосплав, имеет исключительное значение в отдаленных районах Севера, Сибири, Дальнего Востока.

Известно, что одной из главных причин, по которым в свое время рухнула лесная отрасль страны и до сих пор не может подняться на необходимый уровень, стал запрет молевого сплава. Были выведены из эксплуатации тысячи километров водных путей в регионах, где сосредоточены основные спелые и перестойные лесные массивы и отсутствует или слабо развита сухопутная транспортная сеть.

Анализ состояния Северо-Двинского бассейна в пределах Архангельской области показал, что в ближайшие годы без больших капиталовложений на многих реках может быть восстановлен лесосплав по новым технологиям. В основу предлагаемой нами технологии положен пакет (микроручок) объемом 4-5 м³, сплачиваемый в челюстном захвате лесопогрузчика и затем транспортируемый в плот, штабеля запаса зимой или на берег для сброски на воду. Принцип лесосплава единым транспортным пакетом от

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

заготовителя до потребителя без изменения формы и объема, рассмотрен в работе [3]. Его использует Соломбальский ЦБК с 2000 г. при сплаве в плотках зимней сплотки по р. Пинеге.

В настоящей статье изложена методика анализа потенциальных возможностей увеличения транспортной доступности сырьевых ресурсов сплавом, включающая три этапа:

– выбор рек, пригодных для лесосплава единым транспортным пакетом;

– определение лесопропускной способности рек;

– расчет возможных объемов лесопользования.

Главным ограничивающим показателем при выборе рек, пригодных для лесосплава единым транспортным пакетом, является его осадка (T_{Π}), которую определяют по формуле [2]

$$T_{\Pi} = 2\rho_0\varphi\sqrt{\frac{V_{\Pi}}{\pi Cl\eta}},$$

где ρ_0 – относительная плотность бревен;

φ – коэффициент непропорциональности осадки и высоты пакета;

V_{Π} – объем лесоматериалов в пакете;

l – средняя длина бревен в пакете;

C, η – коэффициенты соответственно формы и полнодревесности пакета.

При $\rho_0 \approx 0,8$, $\varphi \approx 0,94$, $l = 6$ м, $\eta \approx 0,65$, $V_{\Pi} = 5$ м³ и разрешенных в речных условиях значениях коэффициента формы C (отношение ширины к высоте пакета) 2,0; 2,5; 3,0, осадка составляет соответственно 0,68; 0,60; 0,56 м.

Осадку плавающего бревна (T_6) находят по формуле

$$T_6 = \rho_0 d,$$

где d – диаметр бревна.

Диаметр сплаваемых на молевых реках бревен в нижнем торце (комле) может быть 0,8 м и более, следовательно, $T_6 = 0,64$ м, что сопоставимо с осадкой пакетов. Это позволяет утверждать, что на тех реках, по которым ранее проводили молевой сплав, возможен и сплав в пакетах.

Применительно к рассматриваемому бассейну лесосплав реально можно восстановить как минимум на двадцати одной реке (см. таблицу), в том числе по производственно-технической классификации [2] восемь являются малыми (с водосборной площадью $F < 3000$ км²) и тринадцать средними (3000 км² $< F < 25\,000$ км²).

Лесопропускная способность реки зависит от принятого вида сплава и его продолжительности. При сплаве в сплоточных единицах (пакетах) и плотами (секциями, линейками) ее определяют по формуле [2]

$$N_{\text{сут}} = \frac{Vt}{\Delta t},$$

где $N_{\text{сут}}$ – суточная пропускная способность;

t – продолжительность сплава в течение суток;

Δt – интервал времени пуска единиц или плотов.

**Исходные гидрологические данные и расчетные (осредненные) объемы
лесных ресурсов без учета уровня освоения
по малым и средним рекам Северо-Двинского бассейна
(в пределах Архангельской области)**

Река	Водосборная площадь, км ²	Эксплуатационный запас, млн м ³					
		Хвойные		Лиственные		Всего	В т.ч. пилочник
		Всего	В т.ч. пилочник	Всего	В т.ч. пилочник		
Притоки р. Вычегды:							
Яреньга	5140	11,0	4,4	1,8	0,7	12,8	5,1
Верхняя Лупья	1520	3,2	1,3	0,5	0,2	3,7	1,5
Виледь	5610	12,0	4,8	2,0	0,8	14,0	5,6
Притоки Большой Сев. Двины:							
Уфтюга	6300	13,4	5,4	2,2	0,9	15,6	6,3
Ерга	1660	3,5	1,4	0,6	0,2	4,1	1,6
Нижняя Тойма	1740	3,7	1,5	0,6	0,2	4,3	1,7
Кодима	1570	3,4	1,4	0,6	0,2	4,0	1,6
Ваеньга	3370	7,2	2,9	1,2	0,5	8,4	3,4
Емца с р. Ваймугой и Мехреньгой	14 100	30,1	12,0	5,0	2,0	35,1	14,0
Верхняя Вага с р. Вель по водному посту Филяевская	13 200	28,2	11,3	4,6	1,8	32,8	13,1
Устья с р. Кокшеньгой	17 500	37,3	14,9	6,2	2,5	43,5	17,4
Ледь	2690	5,7	2,3	0,9	0,4	6,6	2,7
Верхняя Пинега с р. Выей по водному посту Засурье	17 100	36,5	14,6	6,0	2,4	42,5	17,0
Притоки р. Пинеги:							
Юла	5290	11,3	4,5	1,9	0,8	13,2	5,3
Покшеньга	4360	9,3	3,7	1,5	0,6	10,8	4,3
Ежуга	2850	6,1	2,4	1,0	0,4	7,1	2,8
Итого	104 000	221,9	88,8	36,6	14,6	258,5	103,4

При сплаве в пакетах рекомендуют пускать их через 1 ... 4 мин. Если $V_{п} = 5 \text{ м}^3$, $t = 24 \text{ ч}$ (в северных районах это возможно), $\Delta t = 3 \text{ мин}$, то

$$N_{\text{сут}} = \frac{5 \cdot 24 \cdot 60}{3} = 2400 \text{ м}^3.$$

При сплаве плотами (секциями, линейками) $\Delta t = 1-2 \text{ ч}$. В рассматриваемом случае принимаем сплав линейками длиной 100 м, сформированными из поперечно расположенных пакетов шириной 2 м (рис. 1) и $\Delta t = 1 \text{ ч}$. Тогда суточная лесопропускная способность

$$N_{\text{сут}} = \frac{100 \cdot 5 \cdot 24}{2 \cdot 1} = 6000 \text{ м}^3.$$

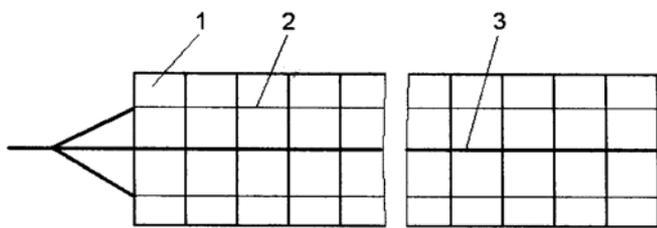


Рис. 1. Лесосплавная единица (линейка) для первоначального сплава: 1 – пакет; 2 – пакетная обвязка; 3 – лежень

Продолжительность стояния сплавных уровней на выбранных реках колеблется от 10 до 20 сут и более. Приняв за среднюю продолжительность 15 сут, получим теоретически возможную сезонную пропускную способность одной условной реки при сплаве:

в пакетах

$$V_{\text{сез.п}} = 2,4 \cdot 15 = 36 \text{ тыс. м}^3;$$

секциями (линейками)

$$V_{\text{сез.с}} = 6 \cdot 15 = 90 \text{ тыс. м}^3.$$

По всем выбранным рекам:

$$\sum_1^{21} V_{\text{сез.п}} = 756 \text{ тыс. м}^3; \quad \sum_1^{21} V_{\text{сез.с}} = 1830 \text{ тыс. м}^3.$$

В основу расчетов возможных объемов лесопользования по бассейнам рек положены их водосборные площади и осредненные показатели лесного фонда Архангельской области [4]. Лесистость области 27,4 млн га (72,1 %), лесопокрытая площадь 19,7 млн га (51,8 %). Общий запас древесины на корню 2 млрд м³, в том числе спелые и перестойные 1,344 млрд м³ (67,2 %). Средний ежегодный прирост 1,3 м³/га. Возможные к эксплуатации леса составляют 0,941 млрд м³ (70,0 %), или 48 м³ на 1 га лесопокрытой площади, в том числе еловые 28,0 м³ (57,9 %), сосновые 13,2 м³ (27,4 %), лиственные (береза, осина) 6,8 м³ (14,2 %).

Возможные объемы лесопользования в бассейне конкретной реки определяют по формуле

$$V_{\text{л}} = 10^2 abF,$$

где a – коэффициент перехода от водосборной площади к лесопокрытой, $a = 0,518$;

b – запас, возможный к лесозаготовке на 1 га лесопокрытой площади, м³ (хвойных – 41,2; лиственных – 6,8);

F – водосборная площадь реки, км².

Предполагаемый объем пиловочного сырья принят по среднестатистическим отчетным данным лесозаготовительных предприятий Архангельской области 40 % от общего объема вывозки.

Исходные данные и результаты расчетов приведены в таблице.

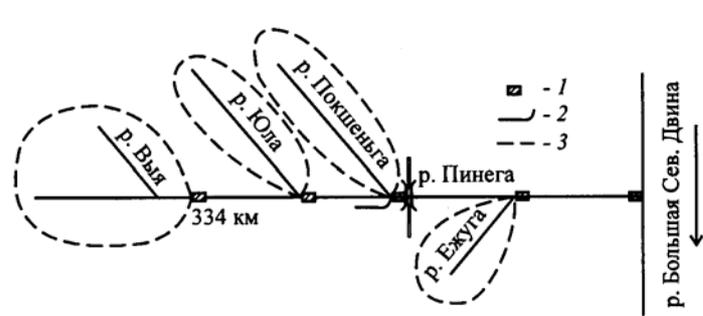


Рис. 2. Гидрографическая схема р. Пинеги с лесосплавными притоками: 1 – пункты изменения вида сплава или переформирования плотов; 2 – продольная запань; 3 – условная водораздельная линия

Ежегодный прирост на лесопокрытой площади (V_r , m^3) в лесных массивах, возможных к эксплуатации, составляет:

$$V_r = 1,3 \cdot 0,7a \sum F \cdot 10^4,$$

или $V_r = 4,3$ млн m^3 .

Таким образом, в бассейнах рассматриваемых рек имеются достаточные запасы древесного сырья не только для неистощительного освоения сплавом по 1,5 млн m^3 в год, но и иными видами транспорта.

Возможные технологические схемы сплава по малым и средним рекам с использованием принципа единого транспортного пакета рассмотрены в работе [3]. Применительно к р. Пинеге сплавные пути можно представить в виде гидрографической схемы (рис. 2).

Особенностью таких рек, как Пинега, которые пересекаются сухопутными магистралями, является возможность сочетания зимней и навигационной формировки плотов, а также сплава пакетов «вольницей». После завоза грузов в верховья рек и отбуксировки плотов с зимних плотбищ устанавливаются продольные запани в районе железнодорожного моста (рис. 2), необходимую обонровку и сплавливают пакеты дистанционно-патрульным способом. Приплавленные пакеты выгружают из воды в вагоны или на автотранспорт для дальнейшей транспортировки.

На организацию сплава по этой схеме существует ограничение при выборе места установки запани для приема леса в пакетах. Скорость течения в отсеке запани не должна быть больше критической ($V_{кр}$), при которой нарушается однорядность расположения пакетов в пыже [1] и возможна их размолевка:

$$V_{кр} \leq \sqrt{\left(A - \frac{0,5T b_3}{b_p h} \right) g T},$$

где A – параметр, зависящий от плотности лесоматериалов в пакете, при $\rho_0 = 0,8$ $A = 0,23$;

T – осадка пыжа из пучков, м;

b_3, b_p – ширина соответственно запани и реки, м;

h – средняя бытовая глубина в отсеке запани.

При $T = 0,6$ м, $b_3 / b_p = 0,25$; $h = 4,0$ м

$$V_{кр} = \sqrt{\left(0,23 - \frac{0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,25}{4}\right) 9,81 \cdot 0,6} = 1,12 \text{ м/с.}$$

Для реализации предлагаемых схем сплава необходимы гидрологические и технологические обоснования по конкретным рекам. Организация проплава и рейдовых работ должна быть четкой с применением надежной радиосвязи между пунктами пуска, проплавом и приемом сплавляемых единиц на минирейдах. Патрулирующие и буксирные суда обеспечивают спутниковыми навигаторами.

Выводы

1. На водосборных площадях малых и средних рек имеются большие запасы древесины в спелых и перестойных лесных массивах, которые в связи с прекращением молевого сплава в настоящее время практически не используют. Так, в Северо-Двинском бассейне на территории Архангельской области объем лесоматериалов, доступных к транспортному освоению сплавом с использованием принципа единого транспортного пакета объемом 4-5 м³ как наиболее технологичной сплавной единицы, обеспечивающей высокий уровень механизации работ от лесосеки до выгрузки в пунктах приплава без потерь в пути, составляет около 261,4 млн м³, в том числе пиловочника 104,6 млн м³.

2. Предлагаемая методика выбора рек, пригодных для проведения такого сплава, может быть рекомендована для малых и средних рек (в Северо-Двинском бассейне, в границах Архангельской области, это 21 река), сезонная пропускная способность которых составляет около 1,5 млн м³, что в полтора раза выше существующих объемов всего сплава по бассейну.

3. Для реализации сплава единым транспортным пакетом предложен ряд технологических схем, которые подлежат гидрологической и технологической привязке к конкретной реке.

4. Не требуются большие капитальные затраты, можно использовать уже имеющуюся на лесозаготовительных и лесотранспортных предприятиях отечественную и зарубежную технику.

5. Внедрение предлагаемого способа сплава в ближайшие годы будет способствовать обеспечению лесным сырьем предприятий, а также решению социальных проблем возрождения и развития отдаленных районов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камусин, А.А. Водный транспорт леса [Текст]: учеб. для вузов / А.А. Камусин [и др.]; под ред. В.И. Пятякина. – М.: МГУЛ, 2000. – 432 с.

2. Справочник по водному транспорту леса [Текст] / под ред. В.А. Щербакова. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 384 с.

3. *Харитонов, В.Я.* Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава [Текст] / В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов // Лесн. журн. – 2007. – № 1. – С. 45–52. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Цветков, В.Ф.* Проблемы равновесного природосберегающего лесопользования [Текст]: лекции. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. – 76 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 15.01.07

V.Ya. Kharitonov, S.V. Posypanov

Resources of Remote Forestland and Possibility of their Development by Rafting

The commercial resources of forest raw material in small and medium river basins are shown based on the example of the Arkhangelsk Region, as well as their development by using timber rafting.

УДК 630*308

К.П. Рукомойников

Рукомойников Константин Павлович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. Марийский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент МарГТУ. Имеет 35 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПОКВАРТАЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА*

Разработаны технологические схемы транспортного освоения квартала, позволяющие улучшить доступность лесосек, повысить эффективность лесосечных работ и сократить повреждения лесной среды. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности освоения участков лесного фонда.

Ключевые слова: лесозаготовка, квартал, пасечный волок, магистральный волок, доступность, инфраструктура.

Комплексное лесопользование предполагает новые формы организации работ, в частности поквартальный метод. Это позволяет повысить концентрацию производства, учесть необходимость проведения всех видов работ на территории осваиваемого участка лесного фонда (УЛФ), создать условия превращения кварталов (их блоков) в структурную единицу организационно-хозяйственного обустройства территории с сетью лесовозных дорог, волоков, технологических коридоров и лесопромышленных складов.

В настоящее время на кафедре технологии и оборудования лесопромышленного производства Марийского государственного технического университета разработан способ освоения УЛФ [1], включающий все лесохозяйственные, лесокультурные, лесомелиоративные мероприятия и реконструкцию молодняков. При этом квартал или их группу разбивают на участки, образованные в результате объединения выделов массивов для проведения рубок промежуточного и главного пользования. Данный способ позволяет повысить эффективность функционирования лесных предприятий, сконцентрировать места проведения лесосечных и лесовосстановительных работ, сократить затраты на перебазировки машин и оборудования, усилить контроль за качеством технического обслуживания и ремонта техники.

Одной из основных задач повышения эффективности работы лесозаготовительного предприятия является улучшение доступности объединенных выделов и обеспечение возможности трелевки древесины с каждого

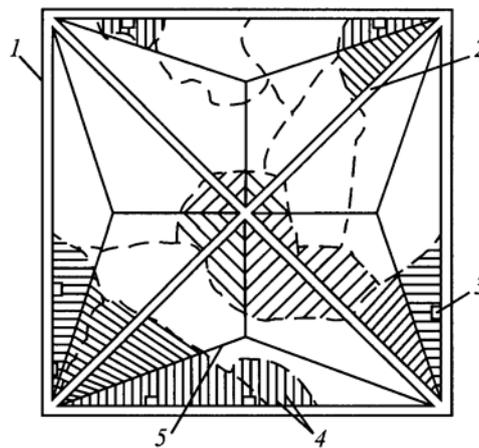
* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники» на 2002–2006 гг.

участка лесного фонда без прокладки новых магистральных путей. Разработка рациональной транспортной сети позволит сократить перемещения техники по территории осваиваемого участка лесного фонда и повысить производительность машин, задействованных на трелевке.

Для достижения поставленной цели обосновано несколько способов транспортного освоения участков лесного фонда.

На рис. 1 показан способ, при котором магистральные волокна прокладывают по диагоналям квартала, что позволяет использовать их при различном сочетании разрабатываемых выделов в пределах осваиваемого участка [2]. Зоны тяготения объединенных выделов к погрузочным пунктам

Рис. 1. Технологическая схема транспортного освоения квартала с диагональным размещением магистральных волоков



ограничиваются биссектрисами треугольников с вершинами в точке пересечения магистральных волоков, проложенных по диагоналям. Пасечные волокна смежных зон тяготения являются продолжением друг друга, что дает возможность осуществлять трелевку по ним как к поквартальным просекам, так и к магистральным путям, проложенным по диагоналям квартала.

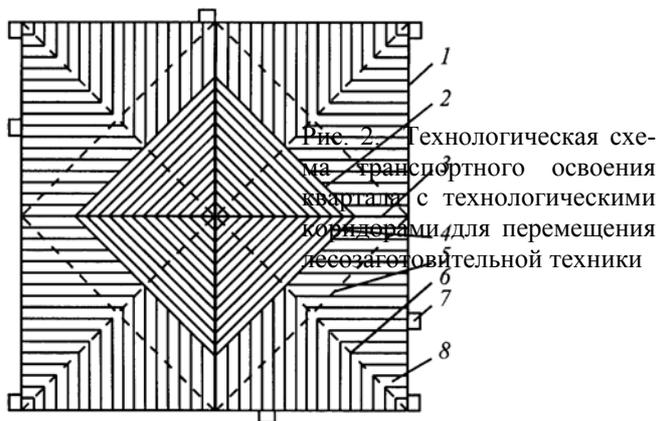
Квартал состоит из 14 выделов, границы которых обозначены пунктирной линией. По его периметру расположены поквартальные просеки 1. Квартал разбивают на участки леса, образованные при объединении выделов для проведения рубок промежуточного и главного пользования. До начала основных работ по диагоналям квартала прокладывают магистральные волокна 2, обустраивают погрузочные пункты 3, примыкающие к поквартальным просекам на границе квартала. Древесину трелюют по пасечным волокам 4. Биссектрисы 5 треугольников с вершинами в точке пересечения магистральных волоков ограничивают зоны тяготения объединенных выделов к погрузочным пунктам.

Диагональное расположение магистральных волоков позволяет сократить протяженность пасечных волоков, улучшить условия работы лесозаготовительных и лесовосстановительных машин, повысить доступность участков леса на территории квартала. Расположение выделов в зоне, примыкающей к магистральным путям, и трелевка кратчайшим путем к погрузочным пунктам, размещенным у обочины лесовозной дороги на границе

квартала, обеспечивают минимум суммарных трудовых и денежных затрат на транспортировку древесины, так как пасечные волоки смежных зон тяготения являются продолжением друг друга. Прокладка магистральных волоков по диагоналям делает возможным постоянное функционирование одних и тех же транспортных путей.

Способ, предусматривающий уменьшение среднего расстояния трелевки с территории квартала, представлен на рис. 2.

При разработке квартала, ограниченного поквартальными просеками 1, магистральные волоки 3 прокладывают перпендикулярно друг другу таким образом, чтобы точка их пересечения находилась в центре квартала.



Квартал состоит из нескольких выделов, часть из которых нуждается в разработке (на схеме не показаны). Смежные выделы объединяют между собой.

Квартал разделяют на зоны тяготения объединенных выделов, с которых лесоматериалы трелюют к магистральным волокам или поквартальным просекам. Такое деление осуществляют с учетом диагоналей 6 квартала и прямых 5, соединяющих конечные точки магистральных волоков. Параллельно прямым 5 прокладывают технологические коридоры 2, используемые для разворота лесозаготовительной техники, а также при наличии вблизи них труднодоступных участков, с которых невозможна трелевка к поквартальным просекам. Расстояние между технологическими коридорами 2 и прямыми 5 в каждом квартале различно, изменяется в зависимости от природно-производственных факторов. Его рассчитывают таким образом, чтобы среднее расстояние трелевки лесоматериалов с территории квартала было минимальным. Смещение технологического коридора в глубь квартала приводит к уменьшению среднего расстояния трелевки с объединенных выделов вследствие увеличения объема лесоматериалов, трелеваемых к поквартальным просекам по кратчайшему расстоянию, минуя магистральные волоки. Но одновременно с этим сокращается доступность объединенных выделов на территории квартала. Основной объем работ переносят на пасечные волоки, состояние которых хуже, чем у магистральных. Правильное размещение технологического коридора позволяет добиться оптимального

деления квартала на зоны, уменьшить среднее расстояние трелевки и, как следствие, снизить трудозатраты, связанные с переместительными операциями лесосечных работ.

Зоны тяготения объединенных выделов 4, примыкающие к магистральным волокам, ограничены этими волоками 3 и технологическими коридорами 2 и имеют форму прямоугольного треугольника с прямым углом, расположенным в точке пересечения магистральных волоков. Зоны тяготения объединенных выделов 8, примыкающие к поквартальным просекам, ограничены поквартальной просекой, примыкающим к ней участком магистрального волока 3, технологическим коридором 2 и диагональю 6 квартала и имеют форму четырехугольника, примыкающего к границе квартала.

С зон тяготения объединенных выделов 4, примыкающих к магистральным волокам, основную часть лесоматериалов трелюют по пасечным волокам к магистральным, а затем на погрузочные пункты 7, расположенные на границе квартала. С зон тяготения объединенных выделов 8, примыкающих к поквартальным просекам, основную часть лесоматериалов трелюют к погрузочным пунктам, минуя магистральные волоки.

В целях сокращения повреждений, наносимых окружающей природной среде в момент разворота пачек хлыстов или деревьев при выезде с пасечного волока на магистральный, предложен способ, представленный на рис. 3. Способ заключается в том, что магистральные волоки имеют дугообразную форму в виде участков эллипсов, большие и малые оси которых

равны соответственно большей и меньшей сторонам квартала с центрами, расположенными в его углах.

Квартал состоит из нескольких выделов, часть из которых нуждается в разработке (на схеме не показаны). Смежные выделы объединяют между собой. Квартал разбивают диагоналями 2 на зоны тяготения объединенных выделов к поквартальным просекам 1. Пасечные волоки 3 прокладывают перпендикулярно поквартальным просекам. В смежных зонах они являются продолжением друг друга, что способствует их использованию при разработке труднодоступных выделов. Магистральные волоки 4 имеют дугообразную форму в виде участков эллипсов 6, центры кото-

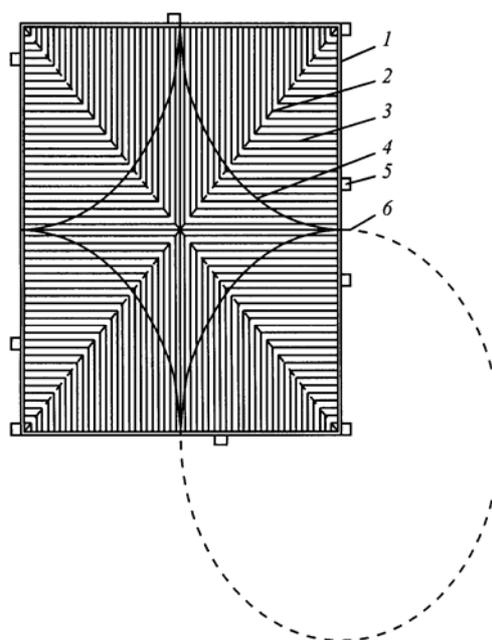


Рис. 3. Технологическая схема транспортного освоения квартала с криволинейными магистральными волоками

рых расположены в углах квартала, причем большие и малые оси эллипсов равны соответственно большей и меньшей сторонам квартала. Лесоматериалы трелюют к погрузочным пунктам 5, расположенным на границе квартала.

Пасечные и магистральные волоки, проложенные согласно данной схеме освоения участков лесного фонда, можно использовать неоднократно в качестве постоянно действующей транспортной сети во все периоды разработки квартала.

Таким образом, наряду с возможностью осуществления всех видов работ на территории квартала, увеличивается доступность объединенных выделов и создаются условия для повышения производительности трелевочных машин за счет рационального размещения транспортных путей на территории осваиваемого участка лесного фонда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2175830 Российская Федерация, МКИ А01G23/02. Способ освоения участков лесного фонда [Текст] / Ю.А. Ширнин, Е.М. Царев, Н.А. Крицкая, К.П. Рукомойников. – № 2000129331; приоритет от 23.11.2000; опубл. 20.11.01, Бюл. № 32. – 4 с.

2. Пат. 2234832 Российская Федерация, МКИ 7А01G23/00, 23/02. Способ освоения участков лесного фонда [Текст] / Ю.А. Ширнин, Е.М. Царев, К.П. Рукомойников. – № 2002109253; приоритет от 09.04.2002; опубл. 27.08.04, Бюл. № 24. – 5 с.

Марийский государственный
технический университет

Поступила 10.04.06

К.Р. Rukomoinikov **Infrastructure Development of Compartment Reclamation** **of Forest Sites**

Technological schemes of compartment transport development are built up allowing to improve the accessibility of logging sites, raise logging efficiency and reduce the forest environment damage. The results obtained could be used for increasing the efficiency of the forest sites development.



УДК 630*377

Э.М. Гусейнов

Гусейнов Эльдар Муса оглы родился в 1949 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 60 печатных трудов в области механизации лесохозяйственных работ.



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСМИССИИ ЛЕСОВОЗА

Выполнено обобщенное моделирование приводов лесовоза. Исследованы интегральная вибронагруженность упруго-диссипативных связей для аппроксимированной спектральной плотности неуравновешенных внешних сил и интегрально-экстремальная оптимизация параметров связей.

Ключевые слова: уравнения состояния, спектр воздействия, дисперсия реакции, минимизация, структура привода.

Вибронагруженность силовой передачи любой машины определяет не только надежность и долговечность привода, но также экономичность и качество функционирования тяговой машины, непосредственно влияющие на функционирование ведущих колес и систем двигателя: топливоподачи, газораспределения и других подвижных механизмов. Параметрическая оптимизация упруго-диссипативных связей привода – основной научный и радикальный путь снижения его вибронагруженности и, как следствие, повышения качества его функционирования.

На рисунке представлены обобщенные модели приводов лесовоза. Приведение параметров a к валу двигателя (координата φ_δ , схема \bar{b}) при $J_\delta \approx \text{const}$ и кинематической характеристике $\dot{\varphi}_k = \dot{x}/r_i$, $i = i_\Gamma i_p i_k$ осуществляется по условию сохранения квадратичных энергетических функций:

$$2T_j = J_j \omega^2 = \sum_j \overset{\circ}{J}_j \omega_i^2; \quad 2\Pi_j = c_j \theta^2 = \sum_j \overset{\circ}{c}_j \theta_i^2; \quad R_j = \beta_j \dot{\theta}^2 = \sum_j \overset{\circ}{\beta}_j \dot{\theta}_i^2. \quad (1)$$

Если инерционно-жесткостные параметры двух ветвей привода одинаковы ($J_{k_i} = J_k$, $c_{k_i} = c_k$, $c_i = c$), то схема \bar{b} преобразуется в схему \bar{v} . При реальном соотношении $2J_k \ll J_p$, J_c трехмассовый привод вырождается в двухмассовый (схема \bar{d}), где $c_3 = 0,5c_k c(c_k + c)$. В простейшей модели \bar{d} наглядно и ярко выявляются закономерности функционирования привода лесовоза.

Уравнения состояния привода по схеме \bar{d} , $\varphi_\delta - \varphi_c = \alpha$:

$$J_\Pi \ddot{\varphi}_\delta + \beta_3 \dot{\theta} + c_3 \theta = M_\delta + M_\delta(t); \quad J_c \ddot{\varphi}_c - \beta_3 \dot{\theta} - c_3 \theta \approx -M_c - M_c(t), \quad (2)$$

где

$$M_i = M_i^c - \beta_i (\dot{\phi}_i - \omega_c); \quad \beta_i = (\partial M_i / \partial \dot{\phi}_i)_{\dot{\phi}_i = \omega_c}, \quad i = \partial, c; \quad (3)$$

β_i – крутизна (уклон) регулярных моментов при $\omega = \omega_c$, $M_i = M_i^c$.

Разделяя установившееся вращение привода на переносное и относительное $\phi_i = \omega_c t + \psi_i$; $\dot{\phi}_i = \omega_c + \dot{\psi}_i$; $\ddot{\phi}_i = \ddot{\psi}_i$ и вычитая из первого уравнения, умноженного на J_c , второе, умноженное на J_n , для $\beta_n J_n \dot{\psi}_c \approx \beta_c J_c \dot{\psi}_\partial$; $M_c(t) \ll M_\partial(t)$ получим уравнение крутильных колебаний привода

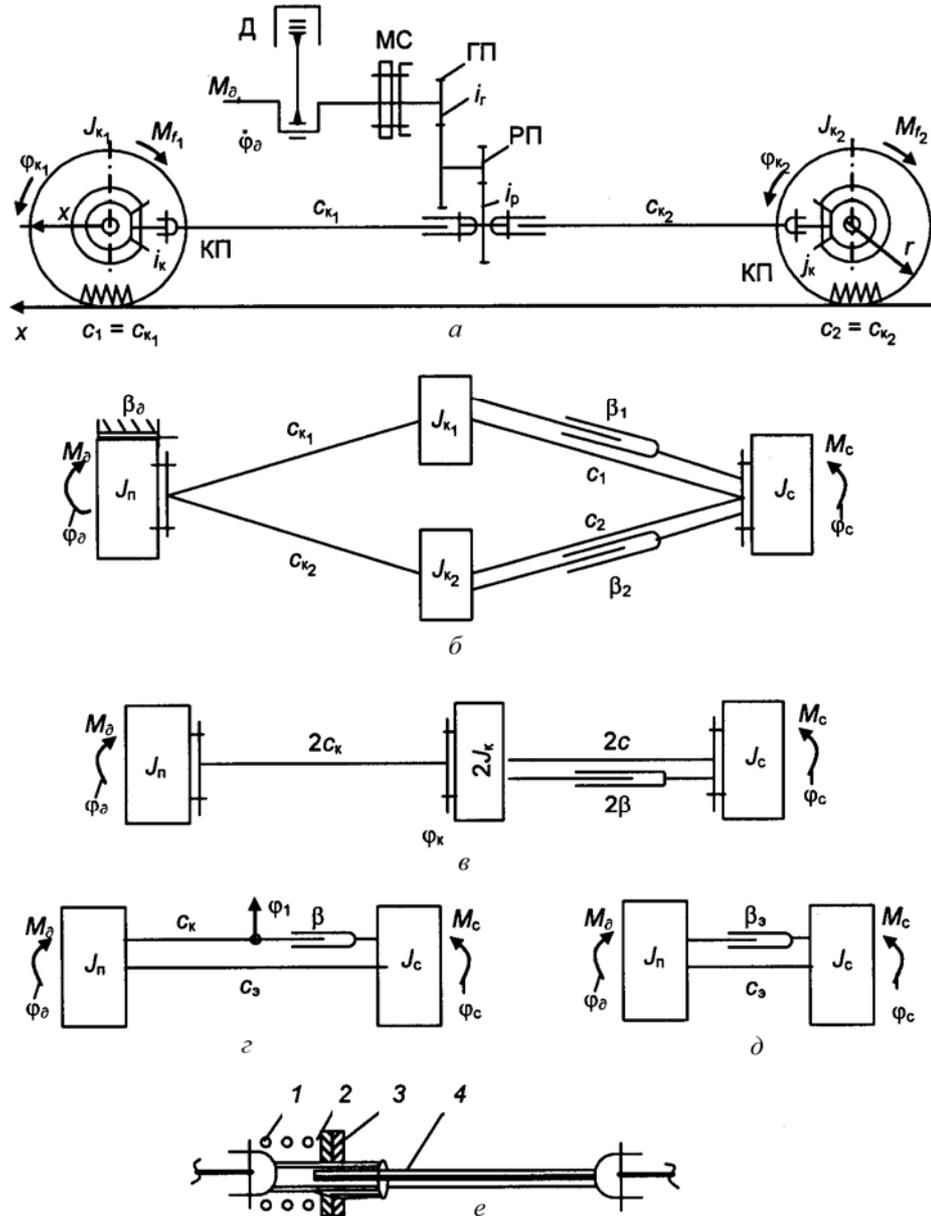
$$J\ddot{\psi} + \beta_3 \dot{\psi} + c_3 \psi = (J/J_n) M_\partial(t); \quad J = J_n J_c (J_n + J_c)^{-1} \quad (4)$$

или

$$\ddot{\psi} + 2h\dot{\psi} + \nu^2 \psi = M_\partial(t)/J_n; \quad \nu^2 = c/J; \quad h = \beta/(2J); \quad h/\nu = \vartheta.$$

Эффективным критерием вибронагруженности здесь служит динамический крутящий момент

$$M = \beta_3 \dot{\psi} + c_3 \psi; \quad D_M = \beta_3^2 D_{\dot{\psi}} + c_3 D_\psi. \quad (5)$$



Обобщенные модели приводов лесовоза: *а* – конструкционная; *б* – эквивалентная; *в, г, д* – упрощенные эквивалентные; *е* – конструктивная схема демфера в карданном вале (1 – пружина; 2, 3 – диски трения, 4 – труба карданного вала)

Внешнее воздействие на трансмиссию идет от двигателя $S_m(\omega)$ и от пути $S_n(\omega)$ через шины. Первое на порядок больше второго и мало исследовано, его обоснование приведено ранее*.

Вводя в (4) оператор дифференцирования $p = d / dt$, определим передаточную функцию

$$\eta_\psi(p) = \psi(p) / M_\delta(p) = \xi(Jp^2 + \beta_3 p + c_3)^{-1}; \quad \xi = J / J_\Pi = J_c / J_\Sigma,$$

а также дисперсии реакций (5) для энергетического спектра воздействия от двигателя $S_m(\omega) = M_0^2 \omega(\omega_0^2 + \omega^2)^{-1}$; $p = i\omega$; $B = (M_0 \xi)^2 / (2\omega_0)$ [1]:

$$D_\psi = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\eta_\psi(i\omega)|^2 S_m(\omega) d\omega = \frac{B}{c_3 \beta_3}; \quad D_{\dot{\psi}} = \frac{B}{\beta_3 J};$$

$$D_m = B \left(\frac{c_3}{\beta_3} + \frac{\beta_3}{J} \right).$$
(6)

Функционал $D_m(\alpha_i)$ пропорционален квадрату внешнего воздействия $(M_0 \xi)^2$, жесткости привода c_3 , обратно пропорционален основной гармонике возмущения ω_0 и инертности привода J . При $\beta_3 \rightarrow 0$ и $\beta_3 \rightarrow \infty$ $D_m \rightarrow \infty$ ввиду диссипативного (первое слагаемое (6)) и возмущающего (второе слагаемое) действий демпфирования. Поэтому дисперсия $D_m(\beta_3)$ имеет минимум. Оптимум параметра диссипации находим по формулам

$$\partial D_m / \partial \beta_3 = 0, \quad \beta_3^m = \sqrt{c_3 J}, \quad \mathfrak{G}_m = \beta_3^m / (2\sqrt{c_3 J}) = 0,5.$$
(7)

Значение $\mathfrak{G}_m = 0,5$ велико, поэтому для пологого минимума его можно принимать за максимальное и допускать снижение в процессе наработки демпфера до $\mathfrak{G}_{\min} = 0,3$. Функционал (6) плавно снижается с уменьшением жесткости привода c_3 . Поэтому последняя принимается по ограничению снизу:

$$v \leq \omega_0 / 3; \quad v^2 = c_3 / J \leq 0,1 \omega_0^2; \quad c_3 \leq 0,1 J \omega_0^2.$$
(8)

При выполнении условия (8) можно ограничиться внутренней диссипацией в приводе без автономного демпфирования. Для параметров (7), (8) дисперсия реакций (6) минимальна:

$$D_m^0 = (M_0 \xi)^2 v / \omega_0; \quad \sigma_m^0 = M_0 \xi \sqrt{v / \omega_0}.$$
(9)

Снижение амплитуды M_0 и увеличение частоты ω_0 основной (низшей) гармоники возмущения достигается установкой на маховике двигателя antivibrаторов бифлярного подвеса, подавляющих низшие гармоники возмущения во всем рабочем интервале оборотов коленчатого вала.

* *Варава, В.И.* Снижение нагруженности колесных лесохозяйственных машин и лесной почвы [Текст]: науч. изд. / В.И. Варава, Э.М. Гусейнов. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. — 324 с.

Если в приводе реализуется фрикционное трение $M_T = M_T^0 \text{sign } \dot{\psi}$, то, вводя в условие статистической эквивалентности $M_T = 1,25 \beta_3 \sigma_{\dot{\psi}}$ выражение $\sigma_{\dot{\psi}}^2 = B/(\beta_3 J)$ (6) для квазиоптимального интервала $\Delta \beta_3^2 = (1 \dots 0,6) c_3 J$ (7), получаем расчетный интервал нелинейного трения

$$\Delta M_T^0 = (0,75 \dots 0,55) M_0 \xi \sqrt{v/\omega_0}. \quad (10)$$

Для исключения блокирования малых амплитуд этим трением целесообразны малые люфты $\psi_0 \approx 0,2 \sigma_{\dot{\psi}}$ в диске трения, исключающие его работу в диапазоне $\pm \dot{\psi}_0$. Заметим также, что результат (9) соответствует критерию долговечности привода $T = N_0 T_e \theta$; $N_0 = 10^7$, где θ , T_e – показатель цикловой усталости и эффективный период нагружения,

$$T_e = 2\pi \sigma/\sigma_x = 2\pi \sqrt{J/c_3} = 2\pi/v. \quad (11)$$

Здесь выполняется естественная закономерность: чем выше гибкость системы, оцениваемая низшей собственной частотой, тем меньше ее вибронагруженность и больше долговечность.

В трехмассовом приводе (схема в) обозначим $2c_k = c_1$; $2c = c_2$; $2J_k = J_0$; $M_c = M_c^c$ и введем реальные ограничения: $c_1 \ll c_2$; $\beta = \beta_1 \gg \beta_2 \approx 0$. Уравнения крутильных колебаний в установившемся движении запишем в операторно-матричной форме:

$$\left(\begin{array}{cc|c} J_1 p^2 + \beta p + c_1 & -\xi_n c_2 & \xi_0 M(p) \\ -\xi_c (\beta p + c_1) & J_2 p^2 + c_2 & 0 \end{array} \right), \quad \begin{array}{l} \xi_0 = J_0 (J_n + J_0)^{-1} \\ \xi_n = J_n (J_n + J_0)^{-1} \\ \xi_c = J_c (J_c + J_0)^{-1}, \end{array} \quad (12)$$

где $J_{1,2}$ — парциальные инертности,

$$J_1 = J_n J_0 (J_n + J_0)^{-1}; \quad J_2 = J_c J_0 (J_c + J_0)^{-1}; \\ J_0 \ll J_n, J_c; \quad \xi_n \approx \xi_c \lesssim 1; \quad \xi_0 \approx J_0 / J_n \ll 1;$$

$\xi_n, \xi_c = \xi$ – коэффициенты связности парциальных систем.

Определитель системы

$$\Delta(p) = J_1 J_2 [p^4 + p^3 \beta / J_1 + p^2 (c_1 / J_1 + c_2 / J_2) + p \xi \beta c_2 / (J_1 J_2) + \xi c_1 c_2 / (J_1 J_2)]; \\ c_1 / J_1 = v_1^2; \quad c_2 / J_2 = v_2^2; \quad h = \beta / (2J_1), \quad (13)$$

а собственные частоты

$$\lambda_1^2 \approx \xi v_1^2 v_2^2 / v_\Sigma^2; \quad \lambda_2^2 \approx v_\Sigma^2 - \lambda_1^2. \quad (14)$$

Передаточные функции деформаций карданных валов и шин ведущих колес по матрице (12):

$$\eta_1(p) = \frac{\psi_1(p)}{M(p)} = \frac{\Delta_1(p)}{\Delta M(p)} = \xi_0 \frac{J_2 p^2 + c_2}{\Delta(p)}; \quad (15)$$

$$\eta_2(p) = \frac{\Delta_2(p)}{\Delta M(p)} = \xi_0 \xi_c \frac{\beta p + c_1}{\Delta(p)}.$$

Дисперсии реакций связей системы для внешнего воздействия $S_M = S_0 = \text{const}$:

$$D_{\psi_1} = \frac{S_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\eta_{\psi_1}(i\omega)|^2 \omega^2 d\omega = S_0 \xi_0^2 / (2J_1 \beta_1 \xi); \quad (16)$$

$$D_{r_1} = \beta_1^2 D_{\psi_1} + c_1^2 D_{\psi_1} = \frac{\xi_0^2 S_0}{2\xi} \left[\frac{\beta}{J_1} + \frac{c_1}{\xi \beta} \left(1 + \xi_n \xi_c \frac{J_2 c_1}{J_1 c_2} \right) \right].$$

Дисперсия реакции гибкой связи с диссипацией пропорциональна возмущению S_0 , жесткости этой связи c_1 и имеет минимум по диссипации, обусловленный оптимальным значением демпфирования:

$$\partial D_{r_1} / \partial \beta = 0; \quad \beta_0^2 = [1 + \xi_n \xi_c (v_1/v_2)^2] c_1 J_1 / \xi \approx c_1 J_1 / \xi. \quad (17)$$

При $\beta = \beta_0$

$$\sigma_{r_1} = \sqrt{D_{r_1}} = \xi_0 \sqrt{S_0 \beta / (\xi J_1)}. \quad (18)$$

Для фрикционного трения в карданных валах $M_T = M_0^T \sin \psi_1$. Вводя в условие статистической эквивалентности $M_0^{T^2} = \pi / (2\beta_{10}^2 D_{\psi_1})$ дисперсию скорости (16) и оптимальное линейное трение (17), получаем расчетное значение нелинейного:

$$M_0^{T^2} = \frac{\pi}{4} \xi_0^2 S_0 v_1 \sqrt{\xi_n \xi_c / \xi^3}. \quad (19)$$

Реакция (18) системы (12) ниже реакции (9) системы (4) за счет увеличенной гибкости карданного вала ($v_1 \gg v$) и эффективной диссипации в нем, т. е. $c_1 \ll \infty$. Поэтому рекомендуется использовать дисковый демпфер на гибком валу (рис. е).

Выводы

Обобщенная модель привода упрощается при близких параметрах его ветвей и реальных ограничениях параметров инертности, $2J_k \ll J_n, J_c$. Доминирующее флуктуационное воздействие на привод газовых сил в цилиндрах двигателя эффективно аппроксимируется спектральной плотностью крутящего момента, а эффективным интегральным критерием вибронгруженности служит дисперсия крутящего момента на ведущих колесах. Интегрально-экстремальная минимизация функционала дает квазиоптимальные расчетные выражения и числовые значения параметров жесткости и диссипации связей привода для всего спектра частот.

Эффективность трехмассового привода по сравнению с двухмассовым возрастает за счет увеличения расчетной гибкости карданного вала и

возможной реализации расчетной диссипации в нем. При жестком карданном вале гибкое звено с оптимальными параметрами выполняет продольная упруго-диссипативная связь рамы трактора и коника с пачкой. Расчетные параметры фрикционного трения эффективно выявляются по условию статистической эквивалентности с линейным трением.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 28.12.06

E.M. Guseinov

Operating Efficiency of Timber Truck Transmission

The generalized simulation of timber truck drives is carried out. The integral vibroloading of elastic-dissipative coupling for approximated spectral intensity of unbalanced external forces and integrated-extreme optimization of coupling parameters are investigated.



УКД 630*377

Ю.И. Провоторов, В.Д. Валяжонков

Провоторов Юрий Иванович родился в 1939 г., окончил в 1964 г. Красноярский технологический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь ОАО ЦНИИМЭ, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 120 печатных работ в области создания и испытания машин для первичного транспорта леса, ресурсосберегающих технологий и механизации лесозаготовок.



Валяжонков Владимир Дмитриевич родился в 1940 г., окончил в 1966 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 40 научных трудов по теории и конструированию лесотранспортных машин.

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРОВ
КОЛЕСНЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ МАШИН**

Приведено описание статистических моделей основных параметров КТМ. Показана возможность успешного использования разработанного математико-статистического аппарата при создании новых и модернизации существующих КТМ, а также оценке технического уровня и тенденций развития отечественных и зарубежных колесных трелевочных систем.

Ключевые слова: колесная трелевочная система, статистические модели, уравнение регрессии, параметры, метод парной корреляции.

В настоящее время мировой парк колесных трелевочных машин (КТМ) исчисляются десятками тысяч единиц, а число их моделей – сотнями. Постоянно идет работа по созданию более прогрессивных новых и совершенствованию существующих КТМ. Ее выполнение весьма затруднительно без разработки статистических моделей для оценки и выбора рациональных параметров машин, а также их изменения в наиболее характерных условиях эксплуатации. Проектирование КТМ органически связано с анализом существующих аналогичных конструкций и определением тенденций их развития, способствующих улучшению технико-экономических, экологических и эргономических показателей работы КТМ.

Различные природно-производственные условия (ППУ) эксплуатации и особенности технологии лесозаготовок требуют создания трелевочных систем с варьируемыми параметрами. Чем разнообразнее условия эксплуатации, тем универсальнее должна быть машина и шире диапазон ее параметров. Лесозаготовки как в нашей стране, так и за рубежом выполняют в широком спектре ППУ, такая деконкретизация приводит к расширению вероятностных границ характеристик и параметров КТМ. Тем не менее ста-

статистический анализ показал, что может быть установлена закономерность выявления необходимых параметров КТМ.

Статистическая обработка достаточно представительной совокупности конкретных численных данных о параметрах КТМ, ППУ и возможностях оператора в системе человек – машина – среда позволяет получить вероятностные характеристики последней. Для упрощения решения задачи рассмотрим только входные и выходные параметры отдельных составляющих системы.

Рассматриваемый метод анализа взаимосвязи параметров КТМ дает возможность: нейтрализовать, усреднить и устранить малозначительные факторы; переработать большой объем исходной информации с учетом исторического опыта и ретроспективы создания колесных трелевочных систем; установить объективные связи между параметрами лесозаготовительных машин и выразить их в виде уравнений регрессии. Все это способствует рациональному и эффективному выбору параметров при проектировании колесных трелевочных систем. Однако на правильность их выбора существенное влияние оказывает аппроксимация найденных связей между параметрами, позволяющая с той или иной степенью точности отразить реально существующие зависимости.

Обычно в таких случаях используют метод парной корреляции. Важным элементом его применения является выбор главного критерия, характеризующего большинство основных параметров машины. В тракторостроении за такой критерий принимают конструктивную массу трактора G_T . Тогда для анализа параметрических связей целесообразно использовать уравнения регрессии типа

$$Y = a + b G_T + c G_T^2 + d G_T^3. \quad (1)$$

Здесь y является одним из параметров, изменяющихся под влиянием критерия G_T ; a, b, c, d – коэффициенты регрессии.

Для оценки и выбора рациональных параметров КТМ и выявления характера их изменения в наиболее характерных условиях эксплуатации были использованы данные 750 моделей трех видов трелевочных систем, выпущенных в 1970 – 2004 гг. девятью странами. Это шарнирно-сочлененные двух- и трехосные КТМ и трехосные колесные тракторы-сортиментовозы.

В качестве изменяющихся параметров, входящих в уравнение регрессии (1), приняты: номинальная мощность двигателя (N_e , л.с.); максимальная скорость движения КТМ (V_T , км/ч); колесная база машины (L_6 , м); колесная база тележки трехосной машины (L_T , м); колея КТМ (B_K , м); объем пачки или воза ($Q_{пв}$, м³); масса технологического оборудования ($G_{об}$, т); тяговое усилие лебедки ($P_{л}$, т); грузовой момент гидроманипулятора (M_M , Н·м); вылет стрелы гидроманипулятора (L_M , м); длина и ширина грузовой платформы трактора-сортиментовоза ($L_{п}$ и $B_{п}$, м); рабочая площадь захвата двухосного КТМ (S_2 , м²); рабочая площадь коника трехосного КТМ (S_3 , м²); диаметр и ширина шины двухосного КТМ ($D_{ш}$ и $B_{ш}$, м); диаметр и ширина передних,

средних и задних шин трехосного КТМ ($D_{ш.п}$ и $B_{ш.п}$, $D_{ш.з}$ и $B_{ш.з}$, м); дорожный просвет машины ($H_{п}$, м); масса цепей противоскольжения ($G_{ц}$, кг); давление под передними и задними колесами двухосных КТМ ($q_{п}$ и $q_{з}$, кПа); давление под колесно-гусеничным движителем трехосного КТМ ($q_{ц}$, кПа).

В целом решаемый массив зависимостей имеет следующий вид:

$$\left. \begin{array}{l} N_e, V_T, L_6, L_T, B_k, Q_{п}, G_{об}, P_{л}, M_M; \\ L_M, L_{п}, B_{п}, S_3, S_k, D_{ш}, B_{ш}, D_{ш.п}, B_{ш.п}; \\ D_{ш.з}, B_{ш.з}, H_{п}, G_{ц}, q_{п}, q_{з}, q_{ц}, \end{array} \right\} = f(G_T). \quad (2)$$

Зависимости аппроксимированы с помощью уравнений регрессии (1), коэффициенты которых приведены в табл. 1. В этих уравнениях конструктивная масса КТМ представлена в тоннах. Коэффициент корреляции составляет 74,6 ... 95,3 %, т. е. исходные точки хорошо ложатся на линию регрессии. В целом полученные уравнения, описывающие зависимости (2), с высокой степенью достоверности не являются случайными, так как значимость F-критерия во всех случаях значительно меньше 0,05.

Для рассматриваемых групп КТМ в табл. 2 – 4 представлены матрицы значений коэффициентов парной корреляции (r) основных параметров, характеризующих технический уровень машин. Полученные значения r позволяют судить о тесноте связи между параметрами. При $r > 0,5$ отмечается существенная связь их взаимного влияния, особенно мощности двигателя с массами КТМ, технологического оборудования и грузовым моментом гидроманипулятора, а также G_T с широким рядом других параметров. В большинстве случаев коэффициент корреляции параметров превышает 0,5.

Таблица 1

Коэффициенты регрессионной зависимости (1) между массой колесных трелевочных систем G_T и параметрами, отражающими их основные свойства

Пара-метр	Коэффициент				Пара-метр	Коэффициент			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Двухосные КТМ									
N_e	26,35	8,66	0,84	-0,038	D_T	1,357	0,025	0,001	-
V_T	85,65	-31,9	4,92	-0,23	$B_{ш}$	0,315	0,041	-	-
L_6	-2,46	2,01	-0,26	0,011	$H_{п}$	0,036	0,146	-0,013	0,0006
$Q_{п}$	0,48	-	-	-	$G_{ц}$	0,25	0,041	-	-
$G_{об}$	0,591	0,063	-	-	$q_{п}$	85,31	3,15	-0,021	-
$P_{л}$	-7,96	5,02	-0,25	-	$q_{з}$	115,1	2,55	-0,013	-
S_3	-0,051	0,012	-0,0023	-	-	-	-	-	-
Трехосные КТМ									
N_e	-165,8	37,31	1,04	-	S_k	0,75	0,079	-	-
V_T	27,42	0,0912	-	-	$D_{ш.п}$	1,551	0,029	-	-
L_6	-11,18	3,34	-0,22	0,004	$D_{ш.з}$	1,21	0,017	-	-
L_T	2,67	0,96	0,074	0,0019	$B_{ш.п}$	0,351	0,025	-0,0002	-

B_k	0,019	0,47	-0,029	0,0006	$B_{ш.з}$	0,312	0,019	-0,0002	-
$Q_{п}$	0,17	0,51	0,04	-	$H_{п}$	-1,35	0,416	-0,028	0,0006
$G_{об}$	0,25	0,109	-	-	$G_{ц}$	0,929	0,045	-0,0012	-
M_m	8,741	4,733	-	-	$q_{п}$	85,31	3,15	-0,021	-
L_m	61,49	-14,0	1,137	-0,029	q_3	59,3	0,8	0,005	-
Трехосные тракторы-сортиментовозы									
N_e	1325,7	-335,96	29,4	-0,81	$D_{ш.п}$	1,551	0,029	-	-
V_T	14,903	0,959	-	-	$D_{ш.з}$	1,21	0,017	-	-
$L_б$	6,25	0,33	0,0189	-	$B_{ш.п}$	0,351	0,025	-0,0002	-
L_T	2,67	0,96	0,074	0,0019	$B_{ш.з}$	0,312	0,019	-0,0002	-
B_k	1,157	0,172	-0,059	-	$H_{п}$	0,424	0,0127	-	-
$Q_{п}$	45,6	-6,406	0,286	-	$G_{ц}$	0,929	0,045	-0,0012	-
$L_{п}$	46,65	-11,06	0,93	-0,025	$q_{п}$	85,31	3,15	-0,021	-
$B_{п}$	6,087	-1,108	0,104	-0,0029	$q_{ц}$	59,3	0,8	0,005	-

Анализ данных о двигателях КТМ показал, что наибольшее распространение имеют четырехтактные дизели с водяным охлаждением, высокой степенью сжатия, турбонаддувом и низким удельным расходом топлива. Полученные зависимости $N_e = f(G_T)$ для рассматриваемых КТМ описываются полиномами второй и третьей степени. При этом по характеру изменения они различаются мало.

На трелевочных волоках и лесных дорогах из-за высоты и характера неровностей скорость движения КТМ не превышает 6,0 ... 9,0 км/ч. На ровных дорогах, где возможна максимальная скорость, зависимость $V_T = f(G_T)$ обычно представлена полиномом первой степени.

Для совершенствования компоновочных схем и улучшения управляемости, маневренности, проходимости и устойчивости КТМ важно знать зависимости $L_б = f(G_T)$ и $B_k = f(G_T)$, которые описывают главным образом уравнением регрессии третьей степени. Максимальную ширину колеи трак-

Таблица 2

Матрица значений коэффициентов корреляции основных параметров двухосных КТМ

Параметр	N_e	V_T	B_k	$H_{п}$	$P_{л}$	G_T
N_e	1,000	0,538	0,040	0,105	0,400	0,802
V_T	0,538	1,000	0,027	0,673	0,082	0,043
B_k	0,040	0,027	1,000	0,302	0,509	0,582
$H_{п}$	0,105	0,073	0,302	1,000	0,002	0,022
$P_{л}$	0,400	0,082	0,509	0,002	1,000	0,188
G_T	0,802	0,043	0,582	0,022	0,188	1,000

Таблица 3

Матрица значений коэффициентов корреляции параметров трехосных КТМ

Параметр	N_e	V_T	B_k	$H_{п}$	M_m	$G_{об}$	G_T
N_e	1,000	0,501	0,037	0,475	0,711	0,757	0,537

V_T	0,501	1,000	0,215	0,535	0,075	0,291	0,155
B_K	0,037	0,215	1,000	0,418	0,045	0,507	0,631
H_{II}	0,475	0,535	0,418	1,000	0,213	0,319	0,028
M_M	6,961	0,735	0,441	2,087	9,800	7,830	6,595
G_{06}	0,757	0,291	0,507	0,319	0,795	1,000	0,748
G_T	0,537	0,153	0,631	0,028	0,673	0,748	1,000

Таблица 4

**Матрица значений коэффициентов корреляции параметров
трехосных колесных тракторов-сортиментовозов**

Параметр	N_e	V_T	H_{II}	M_M	G_{06}	Q_{II}	G_T
N_e	1,000	0,530	0,342	0,708	0,783	0,504	0,878
V_T	0,530	1,000	0,100	0,417	0,510	0,325	0,650
H_{II}	0,342	0,100	1,000	0,377	0,174	0,278	0,345
M_M	6,938	4,086	3,694	9,800	8,321	4,135	7,085
G_{06}	0,783	0,510	0,174	0,849	1,000	0,530	0,712
Q_{II}	0,504	0,325	0,278	0,422	0,530	1,000	0,417
G_T	0,888	0,650	0,345	0,723	0,712	0,417	1,000

тора во многом определяет возможность его движения по дорогам общего пользования, она составляет 2,5 ... 2,7 м.

Объем трелеваемой пачки ограничивают как габариты КТМ, так и параметры его технологического оборудования, которые, в свою очередь, определяют массу машины. Для трелевщика, оборудованного клещевым захватом, зависимость $Q_{II} = f(G_T)$ описывают линейным уравнением; для трехосных КТМ – полиномом второй степени. Анализ показывает, что с ростом массы трактора возрастает рейсовая нагрузка и соответственно мощность установленного на нем двигателя. Отмечена линейная связь $G_{06} = f(G_T)$ у двух- и трехосных КТМ. В то же время для трактора-сортиментовоза данная зависимость представлена полиномом второй степени.

4*

Одним из наиболее важных параметров колесных трелевочных систем, определяющих их проходимость, является давление на грунт под ходовой системой. Оно представляет собой величину, производную от опорной площади колеса и приходящейся на него нагрузки, и может быть снижено в два с лишним раза за счет применения гусеничных цепей на колесах балансирной тележки трехосных тракторов. Установлены зависимости давления от массы трактора под его колесами и гусеничным движителем.

В заключение следует отметить, что полученные статистические модели основных параметров КТМ неоднократно успешно реализованы при создании новых и совершенствовании существующих объектов, а также при составлении расширенных технических характеристик новых образцов зарубежной техники в условиях ограниченной информации. В последние десятилетия разработанный математический аппарат играет важную роль в оценке технического уровня и тенденций развития отечественных и зарубежных колесных трелевочных систем.

ОАО ЦНИИМЭ

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 18.12.06

Yu.I. Provotorov, V.D. Valyazhonkov

**Statistical Models of Parameters of Wheeled Forest-industrial
Machines**

The description of statistical models of the basic parameters of wheeled skidding machines is provided. The possibility of successful use of the developed mathematical-statistical instrument in developing new and modernizing existing wheeled skidding machines is demonstrated as well as in the technical level assessment and development tendencies of both domestic and foreign wheeled skidding systems.





МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.093.002.1

Р.Е. Калитеевский, А.М. Артеменков, А.А. Тамби, А.В. Гаврюков

Калитеевский Ростислав Евгеньевич родился в 1924 г., окончил Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии деревообрабатывающих производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, академик РАЕН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 150 печатных работ в области технологий, оборудования и систем управления в лесопилении.



Артеменков Алексей Михайлович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, старший преподаватель кафедры технологии деревообрабатывающих производств СПбГЛТА. Имеет 5 печатных работ в области изучения процессов тепловой обработки и сушки древесины, планирования и организации технологических процессов в лесопилении, производства столярно-строительных изделий и их сертификации.



Тамби Александр Алексеевич окончил С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию в 2006 г., в течение нескольких лет занимается научно-исследовательской работой в области производительности лесопильных цехов и предприятий, а также анализа инструкций и методик расчета производственной мощности лесопильных предприятий.



МЕТОДИКА И ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ОКОРКИ, СОРТИРОВКИ И НАКОПЛЕНИЯ ПИЛОВОЧНЫХ БРЕВЕН

Предложена методика расчета времени накопления и объема оперативного запаса бревен от производительности лесопильного цеха для использования на проектируемых и уже работающих лесопильных предприятиях.

Ключевые слова: методика расчета, окорка, сортировка, оперативный запас, емкость склада.

В последние несколько лет произошли коренные изменения в области технологии, оборудования и систем управления лесопильной промышленности. Вместо лесопильных рам используют фрезерное, фрезерно-

профилирующее, фрезерно-ленточнопильное и фрезерно-круглопильное бревнопильное оборудование, имеющее в несколько раз большую производительность, чем лесопильные рамы. Скорость подачи такого оборудования достигает 200 м/мин. Вместо полумеханизированных сортплощадок для сортировки сырых пиломатериалов устанавливают автоматизированные линии выборочной торцовки и автоматической сортировки досок по сечениям [1–4].

Оперативный (предварительный) запас рассортированных бревен (период работы лесопильного потока на одном поставе) предназначен для создания условий синхронной работы системы «сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех» и обеспечивает равномерность поступления в запас бревен различных сортировочных групп; дискретность обращения бревнопильных линий к запасу и выборку из него бревен только тех групп, которые распиливают в определенный период работы лесопильного цеха; различия режимов при распиловке бревен различных сортировочных групп и другие причины, которые могут привести к асинхронности рассматриваемой системы.

Моделирование процессов интенсивности поступления и распиловки бревен показывает, что вместимость (необходимая емкость) склада рассортированного сырья может в несколько раз превышать начальный (оперативный) запас бревен.

Поэтому перед расчетом оперативных запасов и вместимости склада рассортированного сырья необходимо провести расчет производственной мощности многопоточных лесопильных цехов с определением граничных диаметров бревен, перерабатываемых на специализированных бревнопильных линиях, так как только в этом случае можно избежать разбалансировки интенсивности поступления и обработки пиловочника.

Правильно выбрать сортировочную линию можно при расчете ее необходимой производительности именно не в кубометрах, а в штуках сортируемых бревен. Это объясняется тем, что при фактической производительности в смену 4600 бр. со средним диаметром 18 см производительность сортировочной линии в кубометрах будет в 2 раза меньше, чем при сортировке бревен со средним диаметром 26 см (при равенстве прочих условий). Поэтому при выборе типа и параметров линии для сортировки бревен одним из первоочередных вопросов является определение ее необходимой цикловой производительности $Q_{ц}$, включающей в себя не только машинное, но и неперекрываемое вспомогательное время работы оборудования:

$$Q_{ц} = \frac{Q_{\phi}^{л.ц} K_c}{q_{ср} K_{ис}^{ок-бс} T_{г}}$$

где $Q_{\phi}^{л.ц}$ – фактическая производительность лесопильного цеха;

K_c – коэффициент превышения производительности комплексной линии по сравнению со средней производительностью лесопильного цеха;

$q_{\text{ср}}$ – объем бревна средних диаметра и длины, м³;

$K_{\text{ис}}^{\text{ок-бс}}$ – коэффициент использования комплексной линии,

$$K_{\text{ис}}^{\text{ок-бс}} = K_{\text{т.и}}^{\text{ок-бс}} K_3^{\text{ок-бс}} = \left(1 - \frac{\sum t_{\text{пл.пр}}^{\text{ок-бс}} + \sum t_{\text{сл.пр}}^{\text{ок}} + \Delta_{\text{н}} \sum t_{\text{сл.пр}}^{\text{бс}}}{T_{\text{с}} - \sum t_3} \right) \left(1 - \frac{\sum t_3}{T_{\text{с}}} \right);$$

$K_{\text{т.и}}^{\text{ок-бс}}$ – коэффициент технического использования окорочно-сортирующей линии;

$K_3^{\text{ок-бс}}$ – коэффициент загрузки оборудования, зависящей от его надежности (в зависимости от уровня надежности оборудования может быть принят от 0,80 до 0,95);

$\sum t_{\text{пл.пр}}^{\text{ок-бс}}$ – планируемые простои комплексной линии, мин;

$\sum t_{\text{сл.пр}}^{\text{ок}}$ и $\sum t_{\text{сл.пр}}^{\text{бс}}$ – случайные простои участков окорки и сортировки бревен, мин;

$\Delta_{\text{н}}$ – коэффициент межучасткового наложения случайных потерь оборудования окорки и сортировки бревен,

$$\Delta_{\text{н}} = \frac{\Theta_{\text{ср}}}{\Theta_{\text{ср}} + \frac{T_{\text{ц}} E_{\text{max}}}{2}};$$

$\Theta_{\text{ср}}$ – среднее время простоя для устранения неполадок, с;

$T_{\text{ц}}$ – длительность рабочего цикла, с;

E_{max} – максимальное количество предметов труда, вмещаемых накопителем;

$T_{\text{с}}$ – продолжительность смены, $T_{\text{с}} = 480$ мин;

$\sum t_3$ – время простоев комплексной линии по организационным причинам, мин.

$T_{\text{г}}$ – годовой фонд времени работы комплексной линии, см.

Моделирование рассматриваемых процессов на ЭВМ показало, что оперативный запас A при регламентированных и равных периодах работы лесопильных потоков в основном равен сумме минимальных партий запуска пиловочника. Наиболее точный расчет может быть получен только при моделировании процесса подготовки сырья к обработке на конкретном лесопильном предприятии с присущими ему условиями.

Оперативный запас бревен определяли по следующей формуле:

$$A \approx T_{\text{н}} Q_{\text{ср}}^{\text{б.л}} n_{\text{гр}},$$

где $T_{\text{н}}$ – количество смен работы лесопильного цеха;

$Q_{\text{ср}}^{\text{б.л}}$ – средняя производительность бревнопильной линии, м³/см.,

$$Q_{\text{ср}}^{\text{б.л}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{л.ц}}}{T_{\text{г}} N};$$

$Q_{\text{ф}}^{\text{л.ц}}$ – фактическая производительность лесопильного цеха, м³ бр./год;

N – количество линий в лесопильном цехе, шт.;

$n_{\text{гр}}$ – число сортировочных групп бревен для их рационального использования (на каждую линию приходится не более 3-4 групп).

Время накопления оперативного запаса, см.:

$$T_{\text{н}} = \frac{A}{P_{\text{с}} K_{\text{ис}}^{\text{ок-бс}} q_{\text{ср}} T_{\text{с}}}.$$

Здесь $P_{\text{с}}$ – пропускная способность принятой линии, бр./мин.

Вместимость склада рассортированных бревен, м³:

$$E \approx (1,40 \dots 1,85) A.$$

Меньшая вместимость склада требуется при сортировке сырья перед однопоточными лесопильными цехами, большая – перед многопоточными и при большом числе сортировочных групп бревен. Кроме того, вместимость склада зависит от возможности иметь информацию как о фактических объемах бревен тех или иных размерных групп, находящихся на складе к началу очередного периода работы лесопильного цеха, так и об их поступлении от линии сортировки в течение этого периода времени. При наличии автоматизированных систем учета и управления можно обойтись меньшей вместимостью склада рассортированного сырья.

Для расчета страхового запаса бревен перед лесопильным цехом необходимо знать тип линии, производящей распиловку. Например, к фрезерно-профилирующей линии на базе HewSaw SL250 в смену поступает максимально около 740 м³ бревен, а в течение получаса – $740 / 16 = 46,25$ м³ пиловочника. Таким образом, страховой запас составляет 46,25 м³ бревен. Исходя из этого рассчитывают цикл работы и число автопогрузчиков, обеспечивающих синхронную работу системы «окорка и сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех» (см. рисунок). Естественно, что число приемных транспортеров перед лесопильным цехом для рассортированных бревен равно числу бревнопильных линий (в данном случае 1 шт.).

Цикловую производительность комплексной линии ОК-БС (бр./мин) определяют по следующей формуле:

$$Q_{\text{ц}}^{\text{ок-бс}} = \frac{Q_{\text{ц}}}{T_{\text{с}}},$$

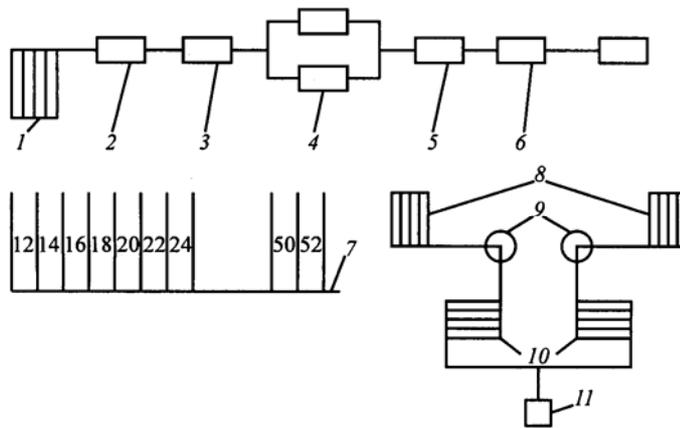


Схема системы «окорка и сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех»: 1 – поперечный транспортер для приемки нерассортированных бревен; 2 – металлоискатель; 3 – карманы-накопители для некондиционных бревен с металлическими включениями; 4 – окорочные станки; 5 – система сбора и обработки информации о каждом бревне; 6 – карманы-накопители для рассортированных бревен; 7 – склад рассортированного сырья; 8 – приемный транспортер перед лесопильным цехом для рассортированных бревен; 9 – устройство для ориентации бревен перед их распиловкой по вершинному торцу; 10 – накопитель бревен перед бревнопильным оборудованием; 11 – лесопильная рама первого ряда или фрезерно-брусующий станок на первом проходе

пропускную способность окорочного участка из двух окорочных станков, например 2ОК40 и 2ОК63-1 (бр./мин) – по формуле

$$P_c = \frac{U_1}{(l + \Delta l)} + \frac{U_2}{(l + \Delta l)},$$

где U_1 и U_2 – скорость подачи окорочных станков, м/мин;

l – средняя длина бревен, м;

Δl – средний межторцовый разрыв, м.

Разница между максимальной пропускной способностью окорочного участка и цикловой производительностью комплексной линии должна составлять примерно 1,2 – 1,5 раз, что позволит обеспечить нормальную работу комплексной линии окорки и сортировки бревен даже в зимнее время.

При необходимости в линии окорки и сортировки бревен устанавливают больше окорочных станков. В линии также могут быть включены устройства для оцилиндровки комлей бревен, применение которых может повысить объемный выход пиломатериалов на 1 ... 2 %, а производительность бревнопильного оборудования на 10 % и более. Число карманов-накопителей в данных условиях на комплексной линии ОК-БС:

$$N_{\text{карм}} = n_{\text{гр}} + n_{\text{рез}} + n_{\text{отб}} + n_{\text{кон}} = 3 + 1 + 2 + 1 = 7 \text{ шт.},$$

где $n_{\text{гр}}$ – число сортировочных групп бревен;

$n_{\text{рез}}$ – число резервных карманов, принимают как 15 ... 20 % от числа сортировочных групп бревен в зависимости от организации и режимов работы оборудования, осуществляющего уборку бревен из накопителей и их транспортировку на склад рассортированного сырья;

$n_{\text{отб}}$ – число накопителей, в которые направляется низкокачественное сырье, например, для выработки технологической щепы;

$n_{\text{кон}}$ – конечный карман, куда попадают бревна, в процессе сортировки которых по тем или иным причинам произошли сбои в системах их замера и адресации.

Например, при сортировке бревен двух пород число карманов накопителей практически удваивается.

Пример расчета процесса подготовки пиловочного сырья к обработке

Фактическая годовая производительность лесопильного цеха $Q_{\text{ф}}^{\text{л.ц}} = 370$ тыс. м³ бр. Окорка и сортировка пиловочника осуществляется на комплексной линии ОК-БС. $K_{\text{с}} = 1,1$. Средний диаметр бревен – 18 см, средняя длина бревен – 5,1 м. Планируемые простои комплексной линии $\sum t_{\text{пл.пр}}^{\text{ок-бс}} = 30$ мин. Случайные простои участков окорки и сортировки бревен: $\sum t_{\text{сл.пр}}^{\text{ок}} = 24$ мин и $\sum t_{\text{сл.пр}}^{\text{бс}} = 24$ мин. Время простоев комплексной линии по организационным причинам $\sum t_3 = 48$ мин. $T_{\text{г}} = 500$ см.

Предварительные расчеты показывают, что для обеспечения окорки и сортировки пиловочника при производственной мощности предприятия 370 тыс. м³ бревен в год необходима комплексная линия БС60-2Ф с пропускной способностью 17 бр./мин (т.е. $T_{\text{ц}} = 3,5$ с) и максимальным количеством бревен в накопителе между участком окорки и сортировки $E = 10$ бр.

При этих условиях коэффициент использования комплексной линии

$$K_{\text{ис}}^{\text{ок-бс}} = K_{\text{т.и}}^{\text{ок-бс}} K_3^{\text{ок-бс}} = \left(1 - \frac{\sum t_{\text{пл.пр}}^{\text{ок-бс}} + \sum t_{\text{сл.пр}}^{\text{ок}} + \Delta_{\text{н}} \sum t_{\text{сл.пр}}^{\text{бс}}}{T_{\text{с}} - \sum t_3} \right) \left(1 - \frac{\sum t_3}{T_{\text{с}}} \right) =$$

$$= \left(1 - \frac{30 + 24 + 0,91 \cdot 24}{480 - 48} \right) \left(1 - \frac{48}{480} \right) = 0,742;$$

коэффициент межучасткового наложения случайных потерь оборудования:

$$\Delta_{\text{н}} = \frac{\Theta_{\text{ср}}}{\Theta_{\text{ср}} + \frac{T_{\text{ц}} E_{\text{max}}}{2}} = \frac{180}{180 + \frac{3,5 \cdot 10}{2}} = 0,91,$$

так как среднее время простоя для устранения неполадок

$$\Theta_{\text{ср}} \approx 3600(1 - Y_{\text{бр}}) = 3600(1 - 0,95) = 180 \text{ с,}$$

где $Y_{\text{бр}}$ – уровень безотказной работы оборудования, принимают 0,90...0,99.

Требуемая цикловая производительность комплексной линии

$$Q_{\text{ц}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{л.ц}} K_{\text{с}}}{q_{\text{ср}} K_{\text{ис}}^{\text{ок-бс}} T_{\text{г}}} = \frac{370000 \cdot 1,1}{0,15 \cdot 0,742 \cdot 500} = 7314 \text{ шт. бр./см.}$$

Оперативный запас бревен при работе лесопильного цеха в 2 смены ($T_n = 2$ см.) при трех сортировочных группах бревен ($n_{\text{гр}} = 3$):

$$A \approx T_n Q_{\text{ср}}^{\text{б.л}} n_{\text{гр}} = 2 \cdot 740 \cdot 3 = 4440 \text{ м}^3;$$

$$Q_{\text{ср}}^{\text{б.л}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{л.ц}}}{T_{\text{г}} N} = \frac{370000}{500 \cdot 1} = 740 \text{ м}^3/\text{см.}$$

Емкость склада рассортированных бревен

$$E \approx 1,85 \cdot A = 1,85 \cdot 4440 = 8214 \text{ м}^3.$$

Время накопления оперативного запаса

$$T_{\text{н}} = \frac{A}{\Pi_{\text{с}} K_{\text{ис}}^{\text{ок-бс}} q_{\text{ср}} T_{\text{с}}} = \frac{4440}{17 \cdot 0,742 \cdot 0,15 \cdot 480} = 4,88 \text{ см.}$$

Для расчета страхового запаса бревен перед лесопильным цехом допустим, что в нем установлена одна фрезерно-профилирующая линия на базе R250. Из расчета видно, что к станку в смену поступает максимально около 740 м^3 бревен, а в течение 0,5 ч получается $740/16 = 46,25 \text{ м}^3$ пиловочника. Таким образом, страховой запас составляет порядка $46,25 \text{ м}^3$ бревен. Исходя из этого рассчитывают цикл работы и число автопогрузчиков, обеспечивающих синхронную работу системы «окорка и сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех». Естественно, что число приемных транспортеров перед лесопильным цехом для рассортированных бревен равно числу бревнопильных линий. В нашем случае 1 шт.

При цикловой производительности комплексной линии ОК-БС 7906 бр./см. ее цикловая производительность в минуту составляет $7314 / 480 = 15,23$ бр.

На окорочном участке из двух окорочных станков 2ОК40 и 2ОК63-1 может быть максимально пропущено

$$\frac{U_1}{(l + \Delta l)} + \frac{U_2}{(l + \Delta l)} = \frac{70,2}{5,4} + \frac{60,0}{5,4} = 24,11 \text{ бр./мин.}$$

В этих условиях максимальная пропускная способность окорочного участка и цикловая производительность комплексной линии отличаются примерно в 1,6 раза ($24,11 / 15,23 = 1,58$), что позволяет обеспечить нор-

мальную работу комплексной линии окорки и сортировки бревен даже в зимнее время.

Число карманов-накопителей в данных условиях на комплексной линии ОК-БС:

$$N_{\text{карм}} = n_{\text{гр}} + n_{\text{рез}} + n_{\text{отб}} + n_{\text{кон}} = 15 + 3 + 2 + 1 = 21 \text{ шт.}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калитеевский, Р.Е.* Лесопиление в 21 веке [Текст] / Р.Е. Калитеевский. – СПб.: Профи Информ, 2005. – 480 с.
2. *Калитеевский, Р.Е.* Метод расчета производственной мощности лесопильных предприятий, основные процессы лесопиления и методика их расчета [Текст]: текст лекций / Р.Е. Калитеевский. – СПб.: СПбЛТА, 2002. – 124 с.
3. *Калитеевский, Р.Е.* Оборудование, процессы и организация производства пиломатериалов [Текст]: учеб. пособие / Р.Е. Калитеевский. – СПб.: СПбЛТА, 2003. – 154 с.
4. *Калитеевский, Р.Е.* Теория и организация лесопиления [Текст] / Р.Е. Калитеевский. – М.: Экология, 1995. – 325 с.

Санкт-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 14.11.05

R.E. Kaliteevsky, A.M. Artemenkov, A.A. Tambi, A.V. Gavryukov
**Technique and Calculation Example of Debarking,
Sorting and Sawlogs' Storing Processes**

The calculation technique for storage time and volume of online log stock based on the productivity of sawmill is offered to be used at projected sawmills and the ones in operation.

УДК 621.931

В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов, Л.В. Кремлева

Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИИ РФ, проректор по научной работе Филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 150 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.



Лобанов Николай Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1988 г. Севмашвтуз, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортного и технологического оборудования Филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 15 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании, прикладной механики и лесопильного оборудования.



МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ФРЕЗ ПРИ СТЕНДОВОМ И МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ.

1. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ И МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ*

Намечены пути практической реализации обеспечения эффективности качества сборных дереворезающих фрез на стадии проектирования технологического процесса.

Ключевые слова: деревообработка, сборные фрезы, физическая и математическая модель, оптимизация, надежность, качество обработки.

Эффективность технологических процессов механической обработки древесины, например, в мебельном производстве, использующем элементы гибкой автоматизации, с позиций выбора режущего инструмента (прежде всего фрез) определяется специфичностью самого производства. Для древесных материалов спецификой является анизотропия свойств, связанная с волокнистой структурой, а также с наличием локальных включений (сучки), физико-механические свойства которых резко отличаются от остального материала. Используемые в производстве мебели другие материалы, главным образом древесностружечные плиты, также имеют свои особенности при обработке.

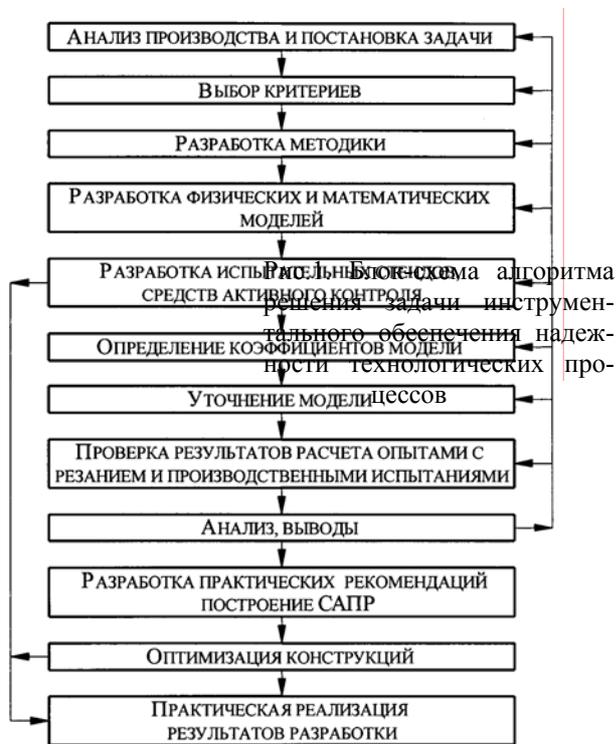
С позиций обеспечения надежности инструмента и качества выпускаемой продукции перечисленные факторы свидетельствуют о необходимости

* Работа подготовлена по результатам исследований, выполняемых по гранту Министерства образования РФ «Разработка научных основ создания расчетных и экспериментальных неразрушающих экспрес-методов оценки качества сборного инструмента» (шифр 97-24-9.5-520).

сти установления законов протекания процессов при резании и создания на их основе физических и математических моделей. Отсутствие в настоящее время единой оптимизационной экономической модели свидетельствует о том, что при оптимизации процесса механической обработки выбор целевой функции и ограничений на ее параметры не может быть единым и в каждом конкретном случае будет определяться или требованиями к качеству обработанной поверхности, или производительностью, или периодом стойкости, или ресурсом инструмента.

Очевидно, что решение вопросов обеспечения точности, инструментального обеспечения эффективности и надежности технологических процессов механической обработки должно решаться на всех этапах от проектирования до эксплуатации. Причем, если вопросы точности инструмента решаемы, то вопросы надежности вызывают наибольшие затруднения. Обусловлено это тем обстоятельством, что классические критерии математической теории надежности – ресурс и стойкость (ОСТ2-Н06-23–82), применяемые для оценки инструмента, – предполагают проведение опытов с резанием, статистическую обработку результатов экспериментов, т.е. требуют значительных затрат времени и средств. Поэтому, кроме данных критериев, необходимы и другие, например концепция надежности сложных систем [15]. В какой-то мере в машиностроении находят применение некоторые из них: концепция ускоренных испытаний, которая имеет ряд недостатков (отличных от реальных условия резания), не исключает на стадии поиска оптимальных решений трудоемкого метода проб и ошибок; диагностика и контроль, позволяющие оценивать надежность по таким косвенным показателям, как жесткость, спектральные характеристики, температура нагрева, восстанавливаемость. Необходимо признать, что данные концепции развиваются и внедряются в производство недостаточно оперативно по причинам, приведенным ниже.

На этапе проектирования трудности объясняются отсутствием единой комплексной модели, учитывающей влияние всех составляющих процесса резания, и однозначной связи между этими отдельными составляющими и критериями надежности. Кроме того, модель должна учитывать



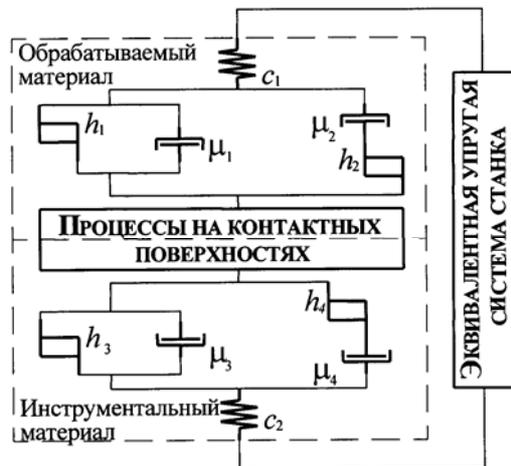
влияние самой технологической системы, допущения о независимости работоспособности инструмента от свойств которой, принимавшиеся некоторыми видными специалистами ранее, являются несостоятельными, о чем свидетельствует практика. Причем с понижением жесткости технологической системы стойкость инструмента из хрупких материалов (композитов) может уменьшиться до пяти раз. Существующие в настоящее время представления о станке, как о системе энергетически замкнутой, также ошибочны, так как процесс резания характеризуется изменением массы, связанным с износом инструмента, а также рассеянием тепловой энергии в пространстве за счет конвекции, нагрева и удаления стружки. Поэтому создание модели в рамках единой энергетической теории и практические задачи инструментального обеспечения надежности технологических процессов требуют немедленного решения. В этих условиях поставленные задачи можно решать поэтапно, путем усложнения и развития моделей в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 1 [8].

На первый взгляд, в качестве исходной можно принять динамическую модель, связывающую отдельные элементы технологической системы и оценивающую их надежность по статической и динамической жесткостям, импедансу, адмитансу или другим характеристикам (рис. 2) с помощью установленных зависимостей [12].



Рис. 2. Динамическая модель технологической системы (ТС): V, S, t – режимы резания; σ_v, σ_t, H, a – механические характеристики инструментального и обрабатываемого материалов; Δ_i – упругие деформации ТС; m, Θ – масса и теплота стружки; P и P' – расчетная и действительная силы резания; σ – напряжение

Рис 3. Реологическая стойкостная модель режущего инструмента: h_i – коэффициент сухого трения; μ_i – коэффициент вязкого трения; c_i – коэффициент статической жесткости



И если для модульного вспомогательного инструмента эти характеристики без сомнения являются определяющими, то, как показывают исследования, для подсистемы сборного режущего инструмента однозначного ответа нет, в связи с чем не исключены ошибочные решения при выборе конструкции. Большую достоверность может дать реологическая модель процесса резания (рис. 3), позволяющая оценивать инструмент через уста-

новленную зависимость стойкости от отношения, во-первых, механических характеристик инструментального и обрабатываемого материалов и, во-вторых, пределов прочности и текучести инструментального материала и напряжений в режущей пластине [11]:

$$T = C_T (\sigma_B / \sigma)^x (\sigma_T / \sigma)^y (H_n / H_0)^z (a_n / a_0)^q (K_1 K_2 \dots K_n),$$

где

T – период стойкости инструмента;

C_T – коэффициент резания;

σ_B, σ_T – предел соответственно прочности и текучести инструментального материала;

σ – напряжения в режущей пластине;

H_n и H_0 – твердость соответственно инструментального и обрабатываемого материалов;

a_n и a_0 – ударная вязкость соответственно инструментального и обрабатываемого материалов;

K_1, K_2, \dots, K_n – коэффициенты, учитывающие влияние условий резания.

Наибольшие трудности возникают при определении механических характеристик материалов при данной температуре нагрева, соответствующей заданному режиму резания. Для этого необходимо иметь накопленные результаты эксперимента, что также требует проведения фундаментальных исследований, связанных с большими затратами времени. Поэтому первоначально для оценки качества инструмента возможно использование моделей деформационной точности, напряженного состояния режущей пластины [1, 6, 7, 9], а для повышения вероятности результатов оценки – другие известные модели: статическую [3], динамическую [4, 14], теплофизическую [10]. Альтернативой реологической может быть более сложная триботехническая модель, позволяющая также прогнозировать период стойкости инструмента:

$$T = \frac{h_3 \cos \gamma \sin \alpha / \cos(\alpha + \gamma)}{C (P_a \theta / K_v)^{1+\beta t} \Delta^{1-\beta} (K_f / \sigma_0 \theta)^t (\eta_{ca})^{-\beta t} V},$$

где h_3 – ширина ленточки износа по задней поверхности;

γ, α – передний и задний угол резания;

$$C = v^{0.5} \Gamma(v) \Gamma(1 + t/2) [4(v + 1) \Gamma(v) + t/2]^{-1};$$

v – параметр степенной аппроксимации начального участка опорной кривой;

Γ – гамма-функция;

t, σ_0 – параметры фрикционной усталости материала;

P_a – номинальное давление;

θ – постоянная упругость инструментального материала,

$$\theta = (1 - \mu^2)/E;$$

μ – коэффициент Пуассона;

E – модуль упругости;

K_v – коэффициент, учитывающий влияние температурного фактора;

$$\beta = 1/(2v + 1);$$

$$K_f = 2(4f^2(1 - \mu + \mu^2) + (1 - 2\mu)^{0.5}) / \pi \text{ при } \sigma_B^p \approx \sigma_B^c;$$

$$K_f = 4f(1 + \mu^2) / \pi \text{ при } \sigma_B^p \approx \sigma_B^c \ll 1;$$

f – коэффициент трения;

σ_B^p, σ_B^c – пределы прочности материала при растяжении и сжатии;

η_{ca} – коэффициент, учитывающий несоответствие между контурной A_c и номинальной A_a площадями контакта, $\eta_{ca} = A_c/A_a$;

V – скорость резания.

Трудности, возникающие при разработке такой модели, аналогичны перечисленным выше. Проблемой является определение показателей механических свойств поверхностей, которые значительно отличаются от полученных при испытаниях образцов. Возможен переход к интегральной оценке качества инструмента. В настоящее время перечисленные модели можно рассматривать как основу САПР режущего инструмента, построенную по модульному принципу [13]. Это позволит по мере развития единой модели непрерывно ее усложнять за счет введения новых модулей без перестройки структуры, а также использовать отдельные ее элементы для решения частных задач.

На этапе изготовления и эксплуатации инструмента решение поставленной задачи может быть осуществлено через разработку диагностических испытательных стендов активного контроля [2, 5]. При создании стендов должны быть использованы те же принципы, а критериями должны служить те же оценки, которые заложены в расчетные математические модели. Такие стенды на стадии изготовления инструмента служат в качестве средства входного контроля надежности, а на стадии эксплуатации – в качестве средства входного контроля. В обоих случаях стенды позволяют контролировать качество изготовления отдельных элементов и сборки инструмента в целом, вскрывать причины брака, по известным стойкостным зависимостям корректировать скорость резания для обеспечения заданного периода стойкости, вести селективный отбор инструмента в партии. Подобные стендовые испытания относятся к активным методам контроля и, как показывает опыт, достаточно эффективны с точки зрения оценки качества конструкции инструмента, но они не позволяют выявить скрытые дефекты самой режущей пластины. Кроме того, резание – процесс во многом случайный, что связано, например, с неравномерностью структуры, а следовательно, и свойств обрабатываемых материалов из-за различного рода включений. Поэтому полное решение вопроса инструментального обеспечения надежности технологических процессов механической обработки невозможно без использования средств контроля состояния режущей кромки инструмента в процессе резания. Необходимы также экспресс-методы установления оптимального режима резания, действие которых основано на определенных физических характеристиках процесса резания (силовые, вибрационные, акустическая эмиссия, температура, градиент термо-ЭДС [5]).

зубе, обусловленная настройкой системы;
 a_{dk} – действительная толщина реза на k -м зубе;
 $\Delta_{\text{деф}}$ – изменение толщины реза в результате деформации под воздействием силы резания;
 $\Delta_{\text{сл}}$ – то же в результате прохода предыдущего зуба («след»)

колебания в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Эквивалентные упругие системы (ЭУС) заготовки и инструмента характеризуются приведенными к зоне резания массами m , обобщенными коэффициентами сопротивления (демпфирования) λ и жесткости k , в общем случае различными по трем координатным направлениям. Система является замкнутой. Эта замкнутость определяется взаимодействием ЭУС заготовки и инструмента с процессом резания, причем многоконтурность системы обусловлена участием в работе нескольких зубьев фрезы. Обе ЭУС взаимодействуют друг с другом через процесс резания, действие которого заменено суммарными составляющими силы резания $\left(\sum_{i=1}^{N_p} F_{Z_i}; \sum_{i=1}^{N_p} F_{Y_i}; \sum_{i=1}^{N_p} F_{X_i} \right)$, которые являются ре-

зультатом работы зубьев, участвующих в резании в данный момент времени (число N_p является переменным в силу неравномерности фрезерования).

Данные силы, действующие на режущие зубья, получены путем приведения к неподвижной системе координат $OXYZ$ сил из системы координат, связанной с вращающейся фрезой: $F_{t1}, F_{t2}, \dots, F_{tN}$ – тангенциальные составляющие на k -м зубе; $F_{r1}, F_{r2}, \dots, F_{rN}$ – радиальные составляющие на k -м зубе; $F_{o1}, F_{o2}, \dots, F_{oN}$ – осевые составляющие на k -м зубе.

Составляющие силы резания в подвижной системе координат – результат сопротивления материала резанию – зависят от площади действительного сечения срезаемого слоя и являются функциями времени:

$S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t)$.

Действительное сечение срезаемого слоя является произведением действительной толщины $\bar{a}_1(t), \bar{a}_2(t), \dots, \bar{a}_N(t)$ на действительную ширину срезаемого слоя $\bar{b}_1(t), \bar{b}_2(t), \dots, \bar{b}_N(t)$.

Действительные толщина и ширина сечения среза на k -м работающем зубе определяются настройкой системы на заданную (кинематическую) толщину и ширину сечения среза, а также ее изменением в результате взаимных деформаций системы под влиянием всех работающих зубьев и «следа» обработки от прохода предыдущего зуба.

Расчет происходит следующим образом. На начальном этапе на основе анализа геометрических характеристик обрабатываемой поверхности решают вопрос о выборе схемы ее формообразования: определение производящей поверхности инструмента и движений подачи. С учетом ограничений, налагаемых станком, строят функцию формообразования. На основе анализа огибающих поверхностей резания получают ответ на вопрос о при-

емлемости выбранной схемы резания условиям точности, предъявляемым к профилю поверхности.

Для выбранной производящей поверхности инструмента определяют конструктивные характеристики инструмента (число зубьев, геометрия и др.). С учетом выбранных конструктивных характеристик инструмента, схемы его работы (главное движение и движение подачи) на основании геометрической информации о заготовке производят расчет мгновенных характеристик сечения срезаемого слоя (толщина и ширина), а затем пошаговое формирование вектор-функций сил резания.

Следующий этап расчета – генерирование информации о полях податливости элементов технологической системы (ТС), непосредственно примыкающих к зоне резания, их диссипативных и инерционных характеристиках. Осуществляют расчет статических и динамических отклонений характеристик сечения снимаемого слоя при выбранной схеме обработки и конструктивных параметрах инструмента. Воспроизводят действительные поверхности резания с учетом упругости элементов ТС и их огибающих для оценки формы и размеров обрабатываемой поверхности, оценивают погрешность и принимают решение о необходимости ее компенсации. В случае необходимости выполняют коррекцию параметров или самой функции формообразования.

При заданной кинематике нахождение оптимальных вида, типа и конструкции инструмента, наряду с управлением схемой срезания припуска, позволяет оптимизировать распределение деформаций при обработке, обеспечивает точность формообразования и производительность обработки.

В соответствии с традиционной теорией формообразования в данной модели использован математический аппарат, основанный на применении параметрических матричных преобразований. В качестве основного параметра выбрано время. Предусмотрен также анализ динамических характеристик процесса в частотной области.

Выводы

1. Предложенный подход позволяет на этапе технологического проектирования сформировать требования к конструкции режущего инструмента, схемам его работы и проектированию (в том числе и в автоматизированном режиме) технологической операции обработки резанием древесных материалов, что обеспечивает повышение точности и производительности при существующих технологических ограничениях.

2. Полное решение вопроса инструментального обеспечения надежности, производительности и точности технологических процессов механической обработки как в деревообработке, так и в других отраслях возможно лишь при комплексном подходе и определяется прежде всего развитием физических моделей процессов, происходящих в зоне резания и протекающих непосредственно в режущем инструменте.

3. Оценка надежности и точности обработки должна осуществляться как по прямым (стойкость, ресурс, прочность), так и по косвенным критери-

ям (напряженно-деформированное состояние, статическая жесткость, динамические характеристики (податливость, импеданс, адмитанс, уровень спектральных характеристик), отношение механических характеристик инструментального и обрабатываемого материалов при заданной температуре резания), а также по другим критериям, имеющим корреляционные зависимости с прямыми показателями надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гречишников, В.А.* Оценка динамической точности настройки сборного инструмента на стадии проектирования [Текст] / В.А. Гречишников, В.И. Малыгин, П.В. Перфильев // Вестник машиностроения. – 1996. – № 6. – С. 24–27.
2. *Малыгин, В.И.* Диагностические методы обеспечения надежности составного инструмента для ГАП [Текст] / В.И. Малыгин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1993. – № 1. – С. 110–116.
3. *Малыгин, В.И.* Математическая модель сборной торцевой фрезы [Текст] / В.И. Малыгин, В.В. Матвейкин, Г. Манавендра, В.В. Копылов // Вопросы повышения жесткости и точности технологического оборудования и режущего инструмента. – М.: УДН, 1986. – С. 16–20.
4. *Малыгин, В.И.* Методика расчета динамических параметров процесса фрезерования древесины с учетом кинематической неустойчивости технологической системы [Текст] / В.И. Малыгин, Л.В. Кремлева // Лесн. журн. – 2002. – № 1. – С. 95–103. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Малыгин, В.И.* Методы и технические средства комплексной диагностики инструмента и оптимального режима резания [Текст] / В.И. Малыгин. – М.: МГТУ «Станкин», 1994. – 40 с.
6. *Малыгин, В.И.* Модель напряженного состояния сборного дереворежущего инструмента для оценки его качества на стадии проектирования [Текст] / В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов // Лесн. журн. – 2001. – № 4. – С. 58–64. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Малыгин, В.И.* Модель напряженно-деформированного состояния режущего элемента сборного инструмента [Текст] / В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов // Вестник машиностроения. – 2000. – № 2. – С. 22–26.
8. *Малыгин, В.И.* Оптимизация конструкций инструмента для ГАП методами математического моделирования физических процессов при резании [Текст]: сб. тр. АИН РФ / В.И. Малыгин. – СПб., 2001. – С.175–185.
9. *Малыгин, В.И.* Расчетный метод оценки качества сборного инструмента по напряженному состоянию [Текст] / В.И. Малыгин, П.В. Перфильев // Вестник машиностроения. – 1992. – № 9. – С. 44–46.
10. *Малыгин, В.И.* Резервы повышения эффективности сборного режущего инструмента и пути их использования [Текст] / В.И. Малыгин, Н.Р. Варгасов, О.Д. Мюллер, П.В. Перфильев // Технология судостроения. – 1990. – № 1. – С. 30–32.
11. *Малыгин, В.И.* Реологическая стойкостная модель сборного режущего инструмента [Текст] / В.И. Малыгин, Н.Р. Варгасов, О.Д. Мюллер // Применение физикохимических методов исследования в науке и технике: тез. докл. III научно-техн. конф. – М.: УДН, 1990. – С. 208.
12. *Малыгин, В.И.* Связь работоспособности сборного режущего инструмента с его спектральными характеристиками [Текст] / В.И. Малыгин, А.Д. Шустри-

ков // Совершенствование конструкций и процессов изготовления режущего и измерительного инструментов и технологической оснастки: сб. докл. МНТК. – Киров, 1988. – С. 22–23.

13. *Мальгин, В.И.* Структурное построение САПР инструмента гибкого автоматизированного производства [Текст] / В.И. Мальгин, С.Е. Евстигнеев // Применение физикохимических методов исследования в науке и технике: тез. докл. II научно-техн. конф. – М.: УДН, 1986. – С. 234.

14. *Подураев, В.Н.* Динамическая модель элементов технологической системы с учетом кинематической неустойчивости процесса резания [Текст] / В.Н. Подураев, В.И. Мальгин, Л.В. Кремлева // Вестник машиностроения. – 1996. – № 6. – С. 18–23.

15. *Чинаев И.П.* Концепции надежности [Текст]: материалы научно-техн. конф., посвященной 25-летию кафедры технологии машиностроения / И.П. Чинаев. – М.: УДН, 1988. – С. 3–8.

Поступила 11.05.06

Филиал «Севмашвуз» СПбГМТУ

V.I. Malygin, N.V. Lobanov, L.V. Kremleva

Methods of Optimization and Quality Rating of Wood Cutters under Bench and Mathematical Simulation. 1. Algorithm of Problem Solution on Optimization of Assembled Tool Structure under Physical and Mathematical Modeling

Ways of practical realization of providing quality efficiency for assembled wood cutters are set at the stage of designing technological process.

УДК 624.011

С.И. Рощина

Рощина Светлана Ивановна родилась в 1961 г., окончила в 1989 г. Владимирский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета. Имеет более 80 печатных работ в области изучения деревянных конструкций.



АРМИРОВАНИЕ – ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Подтверждена необходимость учета влияния ползучести древесины при проектировании армированных деревянных конструкций.

Ключевые слова: армирование, армированные деревянные конструкции, арматура, балки, арки, ползучесть, модуль упругости, эксплуатационная надежность, напряжения, коэффициент армирования.

Деревянные конструкции уверенно занимают одно из ведущих положений среди легких строительных конструкций. Однако существуют объективные причины, сдерживающие их широкое применение из-за недостаточной надежности и долговечности и определяемые особенностями строения и наличием как природных (сучки, трещины, косослой и др.), так и технологических (непроклеи, стыки элементов на зубчатый шип в растянутых зонах, излишняя массивность сечений) дефектов.

Одним из эффективных способов повышения надежности, долговечности и снижения материалоемкости несущих клееных деревянных конструкций является их армирование [1–3]. В качестве арматуры целесообразно использовать стальные стрежни периодического профиля классов А-II или А-III.

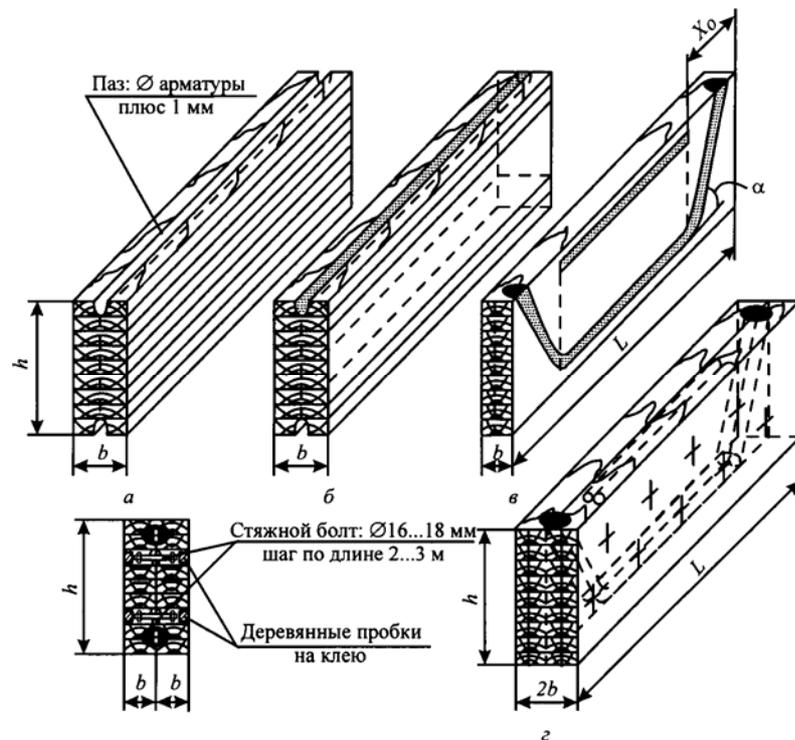
В практике отечественного строительства армированные деревянные конструкции (АДК) в виде балок пролетом 5 ... 6 м появились в середине 60-х годов прошлого века.

Большой объем исследовательских работ в области изучения АДК подтвердил их высокие конструктивные свойства, способность адаптироваться к действующим эксплуатационным нагрузкам, особенно к постоянным и длительно действующим, и позволил определить эффективные способы соединения арматуры с древесиной, обеспечивающие их совместную работу в течение всего срока эксплуатации. Такими клеевыми композициями служат компаунды на основе эпоксидных смол с наполнителями из песка или цемента.

Армирование многократно повышает надежность клееных конструкций против обрушения. Так, даже после достижения арматурой предела текучести и разрыва волокон древесины в растянутой зоне конструкции

способны в течение 0,5 ... 2,5 ч выдерживать нагрузку, составляющую (0,4 ... 0,6) $M_{\text{разр}}$, т. е. фактически равную нормативной, хотя прогибы при этом могут достигать 1 / 40 ... 1 / 60 пролета, что объясняется поддерживающим влиянием арматуры.

В последнее время были разработаны деревянные конструкции с рациональным армированием, при котором стержни в растянутой зоне располагают не по траектории, близкой к траектории главных растягивающих деформаций, а в сжатой линейно. Подобное армирование позволяет более эффективно использовать арматуру, так как отгибы стержней на расстоянии 1,2 ... 1,5 h от опор позволяют практически во всех случаях предотвратить хрупкое разрушение конструкций от скалывания и значительно упростить технологию изготовления АДК. В обычном варианте армирование осуществляют в два этапа: на первом – вклеивание стержней в сжатую зону сечения, на втором – в растянутую, для чего требуется кантование заготовки конструкций после набора клеем достаточной прочности. При рациональном армировании арматуру вклеивают одновременно, так как пазы под стержни фрезеруют в положении заготовки плашмя, что дает возможность защищать арматуру достаточным слоем древесины (см. рисунок). Кроме того, при рациональном армировании можно использовать пиломатериалы шириной 70...120 мм, сплачивая которые попарно получают сечение шириной 140 ... 240 мм и более.



Балка с рациональным армированием

Номенклатура клееных армированных деревянных конструкций

Конструкции	Пролет, м	Расчет- ные на- грузки, кН/м	Армирование	Относительные размеры сечения		Коэф- фициент армиро- вания, %	Коэф- фициент собствен- ной массы
				высота	ширина		
Двухскатные балки	12...24	9...27	Одиночное рас- тянутой зоны	1/12... 1/17	1/6... 1/8	1,5...2,5	4,0...7,0
Одно- и двух- консольные балки	15...30	9...27	Двойное сим- метричное	1/17... 1/25	1/6... 1/8	1,5...3,0	3,5...6,0
Балки постоян- ной высоты: однопролетные	6...24	9...27	То же	1/15... 1/20	1/6... 1/8	1,5...3,5	4,0...7,0
двухпролетные	6...18	9...27	«	1/17... 1/30	1/6... 1/8	1,0...3,0	3,5...6,0
Треугольные ба- лки с затяжкой	12...30	9...24	Двойное сим- метричное или несимметричное	1/30... 1/55	1/5... 1/7	1,5...3,0	2,0...4,0
Треугольные стрельчатые арки	18...36	9...18	То же	1/35... 1/60	1/5... 1/7	1,5...3,0	2,0...4,0
Трехшарнирные рамы: гнутоклееные с постоянной высотой сечения	18...42	9...18	«	1/20... 1/35	1/5... 1/7	1,0...3,0	4,0...8,0
из прямолиней- ных элементов с армированным карнизным узлом	18...27	9...18	«	1/20... 1/25	1/5... 1/7	2,0...3,0	4,0...8,0
Колонны (стойки) постоянного се- чения	4...8	-	«	1/12... 1/17	1/5... 1/6	1,5...3,0	5,0...10,0
Плиты и панели по- крытий под кров- лю из профилиро- ванного настила волнистых асбе- стоцементных ли- стов, рулонную	6...12	-	Двойное симметричное	1/30... 1/40	-	2,0...4,5	-

Примечание. Во всех вариантах конструкций сечения прямоугольные сплошные, кроме предпоследнего случая, где оно прямоугольное, и последнего – ребра каркаса.

АДК, находящиеся в эксплуатации с 1967 г. до настоящего времени, показали достаточно высокие эксплуатационные свойства. Наблюдения за армированными деревянными конструкциями в процессе эксплуатации, а также исследования напряженно-деформированного состояния моделей и натуральных конструкций в виде балок пролетом 2,25 ... 18,00 м и треугольных арок пролетом 2,40 ... 18,00 м при длительном действии нагрузок подтвердили их высокие конструктивные свойства. Были получены зависимости характеристики ползучести АДК при нагрузках, соответствующих нормативным (0,3 ... 0,5) $M_{\text{разр}}$. Значения характеристик ползучести АДК изменялись от 0,179 до 0,275, у неармированных – от 0,227 до 0,380, что говорит о значительном влиянии армирования на деформирование конструкций во времени.

В результате изменения (снижения) модуля упругости древесины в АДК происходит перераспределение усилий, вследствие которого напряжения в арматуре увеличиваются на 12 ... 33 %, а в древесине снижаются на 20 ... 34 %, что повышает эксплуатационную надежность конструкций за счет разгрузки основного материала – древесины.

Результаты экспериментально-теоретических исследований и опытное строительство показали, что по сравнению с традиционными клееными конструкциями АДК обладают большими в 2–3,5 раза несущей способностью и в 1,8–3 раза жесткостью. При этом они на 20 ... 35 % легче, что при равной несущей способности по сравнению с обычными конструкциями позволяют сократить расход древесины на 30...40 % (коэффициент армирования 0,015 ... 0,035).

Накопленный опыт проектирования и строительства с использованием АДК у нас в стране и за рубежом позволил разработать номенклатуру конструкций, рекомендуемых к применению (см. таблицу).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Линьков, И.М.* Снижение материалоемкости деревянных конструкций [Текст] / И.М. Линьков. – М.: Стройиздат, 1974. – 48 с.
2. *Щуко, В.Ю.* Армирование деревянных конструкций в строительстве: учеб. пособие [Текст] / В.Ю. Щуко, С.И. Рощина. – Владимир: ВлГУ, 2002. – 68 с.
3. *Щуко, В.Ю.* Армированные деревянные конструкции в строительстве [Текст] / В. Ю. Щуко, С.И. Рощина // Строеие, свойства и качество древесины–96: материалы 2-го междунар. симп. – М., Мытищи, 1996.

Владимирский государственный университет

Поступила 02.04.07

S.I. Roshchina

Reinforcement – Efficient Means of Increasing Reliability and Durability of Wooden Structures

Necessity of taking into account the influence of wood creeping in designing reinforced wooden structures.

УДК 674.023:621.9

И.Т. Глебов

Глебов Иван Тихонович родился в 1938 г, окончил в 1961 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры станков и инструментов Уральского государственного лесотехнического университета, почетный работник высшей школы. Имеет более 80 научных трудов и 100 авторских свидетельств и патентов на изобретения.



О КОЭФФИЦИЕНТЕ ТРЕНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Предложена методика расчета коэффициента трения на передней поверхности лезвия при фрезеровании древесины; приведены расчетные данные в зависимости от различных факторов процесса резания.

Ключевые слова: резание, древесина, лезвие, угол трения, коэффициент трения.

При резании древесины затрачиваемая энергия расходуется на упруго-пластическое деформирование обрабатываемого материала и лезвия, а также на трение. Зная величину коэффициента трения, можно прогнозировать износ лезвий и точнее анализировать процесс резания.

В настоящее время разработана молекулярно-механическая теория трения [3], согласно которой твердые тела вследствие шероховатости и волнистости их поверхностей при взаимодействии контактируют не всей номинальной поверхностью, а только пятнами, выступами. В результате различной твердости тел их контактирующие области взаимно внедряются. При движении имеет место упругое и пластическое отеснение материала, его выцарапывание и нагребание. В местах контакта происходит молекулярное сцепление, сопровождающееся глубинным вырыванием материала, или молекулярное сцепление пленок, которыми тела покрыты.

Изменение коэффициента трения скольжения срезаемого слоя с передней поверхностью лезвия

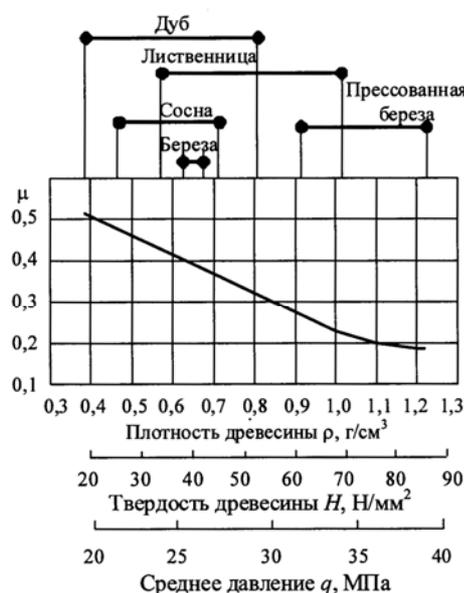
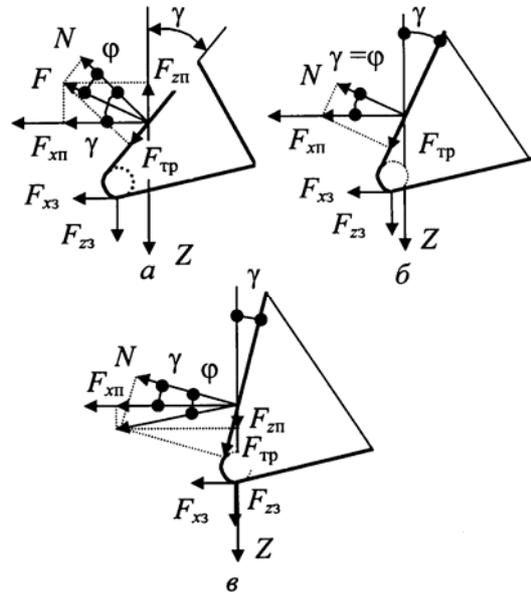


Рис. 1. Изменение коэффициента трения скольжения μ на передней поверхности лезвия от плотности ρ и твердости H древесины и среднего давления q

Рис. 2. Касательные и нормальные силы резания на поверхностях лезвия: *a* – $\varphi < \gamma$; *б* – $\varphi = \gamma$; *в* – $\varphi > \gamma$



показано на рис. 1 [2]. При увеличении плотности и твердости древесины, а также давления на контактной поверхности, коэффициент трения скольжения уменьшается. Известно, что с повышением влажности и температуры древесины, шероховатости поверхности лезвия и скорости скольжения он увеличивается.

Коэффициент трения скольжения на передней поверхности лезвия можно определить расчетным путем.

На рис. 2, *a* нормальные составляющие силы резания N направлены по нормали к поверхностям. Нормальная сила резания на передней поверхности лезвия $F_{zп}$ имеет отрицательный знак, на задней поверхности $F_{zз}$ – положительный. В этом случае угол трения φ меньше переднего угла резания γ .

Возможен случай, когда сила $F_{zп} = 0$ (рис. 2, *б*) и угол трения $\varphi = \gamma$.

Возможен также вариант, когда обе нормальные составляющие $F_{zп}$ и $F_{zз}$ имеют знак плюс и действуют в направлении оси Z (рис. 2, *в*). В этом случае угол $\varphi > \gamma$.

Разность углов φ и γ для всех возможных случаев с учетом знака $F_{zп}$:

$$\varphi - \gamma = \operatorname{arctg} \frac{F_{zп}}{F_{xп}}. \quad (1)$$

Отсюда следует, что коэффициент трения срезаемого слоя на передней поверхности лезвия

$$\mu = \operatorname{tg}(\gamma + \operatorname{arctg} \frac{F_{zп1}}{F_{xп1}}). \quad (2)$$

Единичную радиальную (нормальную) составляющую силы резания часто выражают через единичную касательную силу резания F_{x1} и переход-

ный множитель m : $F_{z1} = mF_{x1}$. При этом $m = m_1 + m_2$ (m_1 – зависит от радиуса закругления режущей кромки и толщины срезаемого слоя, m_2 – от угла резания лезвия [4]). Единичная касательная сила резания

$$F_{x1} = \alpha_p p + ka, \quad (3)$$

где α_p – коэффициент затупления режущей кромки лезвия;

p – фиктивная сила резания, Н/мм;

k – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия, МПа;

a – толщина срезаемого слоя, $a \geq 0,1$ мм.

Коэффициент затупления режущей кромки лезвия можно найти по следующей формуле [1]:

$$\alpha_p = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_p}{\rho_0 + 50}, \quad (4)$$

где Δ_p – затупление режущей кромки, мкм;

ρ_0 – начальный радиус закругления режущей кромки, для фрез $\rho_0 = 5$ мкм.

Единичная радиальная сила резания на передней поверхности лезвия

$$F_{zn1} = F_{z1} - F_{z31}, \quad (5)$$

где F_{z31} – единичная радиальная (нормальная) составляющая силы резания, действующая на задней поверхности лезвия, $F_{z31} = F_{x31}/f$.

Единичную касательную силу резания на задней поверхности лезвия F_{x31} можно найти по формуле [1]:

$$F_{x31} = (\alpha_p p + 0,1k) \left(\frac{\rho}{\rho + 50} \right) = F_{x0,1} \frac{\rho}{\rho + 50}, \quad (6)$$

где ρ – радиус закругления режущей кромки лезвия, мкм.

Коэффициент трения f на задней поверхности лезвия, по данным А.Л. Бершадского:

$$f = \frac{2}{\alpha_p^2}. \quad (7)$$

Здесь α_p – коэффициент затупления режущей кромки лезвия.

По формуле (5) получим

$$F_{zn1} = F_{z1} - F_{z31} = mF_{x1} - \frac{0,5\rho\alpha_p^2 F_{x0,1}}{(\rho + 50)}. \quad (8)$$

Единичная касательная сила резания на передней поверхности лезвия

$$F_{xn1} = F_{x1} - F_{x31} = F_{x1} - F_{x0,1} \frac{\rho}{\rho + 50}. \quad (9)$$

Угол резания лезвия	Коэффициент трения при толщине срезаемого слоя, мм			
	0,10	0,15	0,30	0,40
50	0,530/0,395	0,461/0,289	0,386/0,239	0,371/0,264
55	0,537/0,394	0,463/0,288	0,383/0,240	0,365/0,267
60	0,546/0,395	0,486/0,292	0,382/0,246	0,362/0,274
70	0,563/0,403	0,482/0,306	0,386/0,264	0,362/0,292
80	0,567/0,404	0,486/0,318	0,386/0,281	0,360/0,307

Примечание. В числителе приведены данные при $\rho = 10$ мкм, в знаменателе – 35 мкм.

Из формулы (2) получим формулу для расчета коэффициента трения на передней поверхности лезвия:

$$\mu = \operatorname{tg}[\gamma + \operatorname{arctg} \frac{m(\rho + 50)F_{x1} - 0,5\rho\alpha_p^2 F_{x0,1}}{(\rho + 50)F_{x1} - \rho F_{x0,1}}]. \quad (10)$$

Рассчитаем по формуле (10) коэффициент трения на передней поверхности лезвия при резании древесины сосны.

Расчеты проведены для случая фрезерования древесины фрезой диаметром 100 мм при скорости главного движения 30 м/с и глубине фрезерования 2 мм. Начальный радиус закругления режущей кромки острого лезвия равен $\rho_0 = 5$ мкм. Результаты расчета коэффициента трения срезаемого слоя на передней поверхности лезвия при фрезеровании представлены в таблице.

Как видно из данных таблицы и рис. 1, расчетные значения коэффициента трения близки к экспериментальным.

При фрезеровании древесины сосны лезвием с радиусом закругления режущей кромки 10 мкм и углом резания 80° изменения глубины фрезерования, диаметра фрезы, скорости главного движения практически не сказываются на коэффициенте затупления (см. таблицу).

При радиусе закругления режущей кромки 35 мкм и угле резания 80° изменения глубины фрезерования, диаметра фрезы и скорости главного движения приводят к некоторому изменению коэффициента трения.

По сравнению с данными таблицы для тех же значений толщины срезаемого слоя увеличение глубины фрезерования до 4 мм соответственно вызывает увеличение коэффициента трения: 0,415; 0,325; 0,284; 0,309.

При скорости главного движения $V = 25$ м/с коэффициент трения соответственно составляет 0,385; 0,306; 0,275; 0,304; при $V = 40$ м/с – 0,441; 0,343; 0,291; 0,314.

При диаметре фрезы 150 мм коэффициент трения равен 0,399; 0,315; 0,279; 0,306.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов, И.Т. Резание древесины: избранные лекции [Текст] / И.Т. Глебов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. – 98 с.

2. *Ивановский, Е.Г.* Резание древесины [Текст] / Е.Г. Ивановский. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 200 с.

3. *Крагельский, И.В.* Коэффициент трения [Текст] / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградов. – М., 1962. – 220 с.

4. *Суханов, В.Г.* Резание древесины и дереворежущий инструмент [Текст] / В.Г. Суханов, В.В. Кищенко. – М.: МГУЛ, 2002. – 168 с.

Уральский государственный
лесотехнический университет

Поступила 20.01.06

I.T. Glebov

On Friction Coefficient in Wood Milling

Computation technique for friction coefficient on the front surface of a blade in wood milling is offered. Design data are provided depending on various factors of the cutting process.

УДК 66.047.134

Л.С. Атрощенко

Атрощенко Леонид Степанович родился в 1937 г., окончил в 1961 г. Днепропетровский государственный университет, кандидат технических наук. Область научных интересов – стекольное производство, глубокий и низкий холод, влияние силовых полей на технологические процессы, аэро- и гидромеханика, магнитная гидромеханика, теория и практика тепло- и массообмена, химическая кинетика и технология и др.



СУШКА ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ КОНВЕКТИВНЫХ КАМЕР

Предложенный метод электронной сушки паровоздушной смеси конвективных камер позволяет оптимально решить задачу снижения энергоемкости процесса; упрощается как конструкция, так и регулирование процесса сушки, что обеспечивает его независимость от сезонности и погодных условий.

Ключевые слова: конвективная сушка, энергоемкость, электрический заряд, ионы, пересыщение, поверхностное натяжение, теплота фазового перехода.

Многие технологические процессы испытывают потребность в сухих газах и воздухе. В качестве примера можно привести необходимость сушки воздуха перед его разделением на составляющие компоненты: кислород, азот, аргон, криптон и др. [10, 16].

Настоящая работа посвящена вопросу сушки паровоздушной смеси конвективных камер в целях повышения скорости сушки древесины. При повторном использовании осушенной паровоздушной смеси не происходит ее охлаждения, что приводит к снижению энергетических затрат при конвективной сушке древесины, получившей в последнее время широкое распространение.

Рассмотрим основные недостатки конвективной сушки.

1. Значительная разница температур по объему сушильной камеры вызывает возникновение деформаций и трещинообразование всех видов высушиваемой древесины.

2. Необходимость периодического выброса в атмосферу избытков паровоздушной смеси, что приводит к потере теплоты и увеличению энергоемкости процесса.

3. Сложность регулирования процесса сушки, высокая насыщенность вспомогательным оборудованием.

4. Неполное использование при конструировании сушильных аппаратов достижений в области аэродинамики конвективных потоков, тепло- и массопереноса как в них, так и в древесине.

5. Неправильное пакетирование материала (с учетом толщины, длины и породы древесины), предназначенного для сушки, что нарушает аэродинамику обтекания поверхности древесины, а следовательно, и теплото- и массопереноса в пакете.

Снижению энергоемкости процесса сушки способствует исключение периодических выбросов в атмосферу паровоздушной смеси. Это связано с тем, что с увеличением влажности воздуха в сушильной камере скорость сушки снижается вследствие уменьшения разности между равновесной влажностью пара над поверхностью древесины и влажностью паровоздушной смеси в камере. Периодические выбросы паровоздушной смеси из сушильной камеры в атмосферу можно исключить, если подвергнуть смесь сушке (снижается парциальное давление пара) с последующим возвратом ее в сушильную камеру. В этом случае в камеру поступал бы воздух с фиксированной влажностью или абсолютно сухой. При этом регулирование процесса сушки упрощается, а также достигается максимальная его скорость и независимость от сезонности и погодных условий.

Проанализировав существующие методы сушки паровоздушных и парогазовых смесей известными способами (снижение их температуры, разбавление смесями с пониженной влажностью или температурой, использование адсорбентов), автор пришел к выводу, что последние не приемлемы вследствие их энергоемкости, сложности оборудования и высокой стоимости. Кроме перечисленных методов сушки паровоздушных смесей, можно использовать процессы, происходящие в атмосфере [1, 13]. Воздушная атмосфера содержит центры конденсации: механические частицы; заряженные частицы космического (α , β) и жесткого (γ) излучения, которое ионизирует молекулы содержащихся в воздухе веществ и комплексы, состоящие из молекул воды, и др.

Физика процесса заключается в присоединении молекул воды, обладающих дипольными моментами, к заряженным центрам конденсации, в результате чего образуются капли воды. Возникновению центров конденсации способствует электризация потоков воздуха, движущихся с различными скоростями. Комплексы молекул воды получают вследствие смещения в них зарядов, что приводит к электростатическому притягиванию и удержанию разноименно заряженных частиц [3]. При начальном заполнении сушильной камеры содержит центры конденсации природного происхождения, но, с одной стороны, их явно недостаточно для достижения необходимой степени сушки, с другой – их количество будет уменьшаться вследствие взаимной нейтрализации при столкновениях капель и образовании растворов из-за попадания ионов противоположных знаков в образующуюся жидкость [1, 13]. Также частично происходит утечка зарядов через конструктивные элементы сушильной камеры и емкость сборника воды, т.е. необходимо постоянно пополнять центрами конденсации поступающую в сушильную камеру паровоздушную смесь. В этом случае единственным вариантом является искусственное образование центров конденсации.

Автором предложен способ электронной сушки паровоздушных (газовых) смесей, который заключается в продуцировании электронов с использованием явления холодной эмиссии на остриях [5, 7, 9, 12, 15, 17].

Основой этого способа служат известные физические явления. Остановимся на некоторых из них. Известно, что капли паровоздушной смеси

образуются на центрах конденсации, а их рост происходит вследствие дополнительного присоединения молекул воды или столкновения образовавшихся капель. Последними являются включения, содержащиеся в атмосфере, а также заряженные частицы космического и земного происхождения, образующие ионы и электроны. В процессе сушки (после одной или двух замкнутых циркуляций паровоздушной смеси) остаются только ионы кислорода и электроны (при продуцировании последних в сушильной камере). Для сушки паровоздушных смесей предпочтительно использовать отрицательные ионы вследствие того, что образование капель на них происходит при более низкой концентрации паров в паровоздушной смеси. Так, образование капель для отрицательных ионов наблюдается при степени пересыщения $S = 4,2$, а для положительных – при $S = 6,0$ [1, 4, 8, 13]. Молекула воды обладает дипольным моментом из-за смещения центров зарядов, поэтому за счет электростатических сил присоединяется к отрицательному иону кислорода O_2^- . Периферия первого слоя молекул воды будет заряжена отрицательно, вследствие этого вокруг него будет формироваться следующий слой молекул, образуя комплексы и, в конечном итоге, капли воды [6].

Физика получения отрицательных ионов следующая. При приложении отрицательного потенциала к остриям они начинают продуцировать электроны, которые на расстоянии не более 3 мм присоединяются к атомам кислорода, являющимся центрами конденсации, как и свободные электроны [1, 10, 16]. Образующиеся капли под действием электростатических сил и силы тяжести движутся к накопителю воды. В процессе движения происходит частичное укрупнение комплексов вследствие разного знака заряда внешнего слоя молекул воды. В дальнейшем образуются капли воды, которые укрупняются в результате их взаимного столкновения. Попадая в накопитель, капли превращаются в единую массу. Следует отметить, что образовавшаяся вода будет иметь более высокую температуру, чем осушенный воздух. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что энергия поверхностного натяжения капель при их объединении уменьшается, а выделившаяся энергия идет на нагревание массы жидкости.

Пересыщение пара над образующейся каплей определяется следующим соотношением [1, 11]:

$$\ln S = \ln(p_r/P_\infty(T)) = M(2\sigma/r - e^2/8\pi r^4)/RTp, \quad (1)$$

где S – степень пересыщения пара, соответствующая равновесному давлению насыщенного пара над каплей;

p_r – давление пара над каплей, Н/м²;

P_∞ – давление пара над плоской поверхностью;

T – температура, К;

M – масса одного моля жидкости, кг·моль;

σ – поверхностное натяжение капли, $\sigma = 0,77$ Дж/м²;

r – радиус капли, м;

e – электрический заряд электрона, $e = 1,602 \cdot 10^{11}$ К [1, 13];

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/(кг·моль·град);

ρ – плотность жидкости капли, кг/м^3 .

Если $2\sigma/r = e^2/8\pi r^4$, то $S = 1$, что соответствует давлению пересыщенного пара над плоской поверхностью $P_\infty(T)$. Подставляя численные значения величин, входящих в формулу (1), имеем $r^3 = 3,18 \cdot 10^{-28}$ м.

При $2\sigma/r > e^2/8\pi r^4$ насыщенность пара над каплей будет больше, чем над плоской поверхностью воды, а при $2\sigma/r < e^2/8\pi r^4$ – наоборот. Это обстоятельство обусловлено значительным влиянием электростатических или магнитных сил на силы поверхностного натяжения системы «жидкость–пар», а следовательно, на равновесное давление пара над жидкостью независимо от формы поверхности [5, 9, 15].

Подставляя в формулу (1) численные значения входящих величин для температуры 293 °С, получаем

$$\ln S = 5,94 \cdot 10^{-8}/r - 1,89 \cdot 10^{-35}r^4. \quad (2)$$

При анализе (2) установлено, что значение второго члена лежит в интервале 1,000 ... 0,411.

Для туманов радиус капель $1,0 \cdot 10^{-6}$ м $> r > 5,2 \cdot 10^{-8}$ м [10, 16].

Так, для $r = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м степень пересыщения $S = 1,001$, а давление насыщенного пара $P = 2,33 \cdot 10^3$ Н/м²; для $r = 5,2 \cdot 10^{-10}$ м – соответственно $p_r = 1,9 \cdot 10^4$ Н/м² [2, 5, 13, 16].

Предложено получать отрицательные ионы с использованием переменного тока без его выпрямления. Это позволяет повысить коэффициент полезного действия сушильной камеры. Управление такой системой (регулирование производительностью ионов – центров конденсации) несложно.

Из вышеизложенного вытекает идеология конструкции аппаратов ионной сушки влажного воздуха.

Из сушильной камеры паровоздушная смесь должна поступить в камеру сушки, имеющую источник отрицательных ионов. В ней пар превращается в капли воды, которые поступают в накопитель влаги. Превращение пара в капельки воды происходит в промежутке между электродами. Число зародышей (центров конденсации) N , образующих капли воды при эмиссии электронов, определяют как отношение тока I к заряду электрона e :

$$N = I / e.$$

Температура воды повышается за счет уменьшения поверхностной энергии образовавшейся массы воды. При температуре 100 °С выделяется теплота Q , равная теплоте фазового перехода 2263,0 кДж/кг, а при 60 °С – $Q = 2609,5$ кДж/кг [2, 5, 13]. Дополнительное повышение температуры воды будет происходить вследствие уменьшения поверхностной энергии капель. Горячую воду используют по усмотрению производителя, сухой воздух возвращают в камеру сушки древесины. Циркуляцию паровоздушной смеси в системе «сушильная камера древесины – камера сушки смеси» осуществляют непрерывно при помощи вентилятора. Камера сушки воздуха может быть адаптирована к любой из существующих сушильных камер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амелин, А.Г.* Теоретические основы образования тумана при конденсации пара [Текст] / А.Г. Амелин. – М.: Химия. – 1966.
2. А. с. № 1112195. [Текст] / А.С. Атрощенко // Б.И. – 1984. – № 33.
3. *Атрощенко, А.С.* Экспериментальные исследования ионного возбуждения воздуха [Текст] / А.С. Атрощенко // Промышленная энергетика. – 1985. – № 3.
4. *Атрощенко, Л.С.* Условия зарождения и работа образования газового пузыря в однородном магнитном поле [Текст] / А.С. Атрощенко // Магнитная гидромеханика. – 1971. – № 2.
5. *Атрощенко, Л.С.* Поверхностное натяжение плоского слоя, находящегося в однородном магнитном поле [Текст] / А.С. Атрощенко // Магнитная гидромеханика. – 1971. – № 2.
6. *Варгафтик, Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н.Б. Варгафтик. – М.: Изд-во физико-математ. лит-ры, 1972.
7. *Грановский, В.Л.* Электрический ток в газе. Т. 1 [Текст] / В.Л. Грановский. – М.; Л.: Гостехиздат, 1952. – 625 с.
8. *Дерпгольц, В.Ф.* Мир воды [Текст] / В.Ф. Дерпгольц. – Л.: Недра, 1979. – 255 с.
9. *Добрецов, Л.Н.* Эмиссионная электроника [Текст] / Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова. – М.: Наука, 1966. – 564 с.
10. *Касаткин, А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
11. *Кутателадзе, С.С.* Справочник по теплопередаче [Текст] / С.С. Кутателадзе. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959.
12. *Леб, Л.Б.* Статистическая электризация [Текст] / Л.Б. Леб. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 408 с.
13. *Мейсон, Б. Дж.* Физика облаков [Текст] / Б.Дж. Мейсон. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961.
14. *Оно, С.* Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях [Текст] / С. Оно, С. Кондо. – М.: Иностран. лит-ра, 1963.
15. *Скорчеллетти.* Теоретическая электрохимия [Текст] / Скорчеллетти. – Л.: Госнаучтехиздат, 1963. – 608 с.
16. Справочник по теплоснабжению и вентиляции [Текст]. – К.: Будівельник, 1968. – 287 с.
17. *Чижевский, А.Г.* Аэрификация в народном хозяйстве [Текст] / А.Г. Чижевский. – М.: Госпланиздат, 1960. – 735 с.

6*

Поступила 17.01.07

*L.S. Atroshchenko***Drying of Steam-air Mixture of Convective Chambers**

The proposed method of electronic drying of steam-and-air mixture in convective chambers allows optimally solving the task of reducing the process energy capacity. Both the design and drying process regulation are simplified thus ensuring independence on seasonal and weather conditions.



УДК 745.511

М.М. Черных, А.И. Пьянков, А.В. Троянов

Черных Михаил Михайлович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ижевский механический институт, доктор технических наук, декан факультета рекламы и дизайна, профессор кафедры технологии промышленной и художественной обработки материалов Ижевского государственного технического университета. Имеет 160 научных работ, из них 23 по тематике деревообработки.



Пьянков Александр Иванович родился в 1960 г., окончил в 1983 г. Ижевский механический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии промышленной и художественной обработки материалов Ижевского государственного технического университета. Имеет 50 научных статей, в том числе 13 по тематике деревообработки.



Троянов Андрей Валерьевич родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Ижевский государственный технический университет, аспирант. Имеет одну научную работу в области деревообработки.



ОБРАБОТКА СКУЛЬПТУРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Проведено сравнение себестоимости и трудоемкости изготовления типового скульптурного изделия из древесины по различным технологиям; предложена технология, совмещающая преимущества ручной и станочной обработок.

Ключевые слова: древесина, обработка скульптур из древесины, станки с ЧПУ.

Наиболее сложной техникой выполнения работ по дереву является скульптурная резьба. Готовое изделие представляет собой художественно обработанную объемную фигуру, в основной массе или полностью оторванную от фона; оно просматривается со всех сторон (рис. 1) [1, 2]. В работе резчики используют большой набор различных инструментов (ножи-резаки, косяки и стамески разного размера и профиля). Изготовление изделия ведется медленно. До 25 % времени уходит на выявление основных форм

скульптуры из массива древесины. При этом существует так называемый человеческий фактор, связанный с возможным браком.

Выполненное изделие является неповторимым произведением искусства и изготавливается обычно по индивидуальному заказу в одном или нескольких экземплярах. Все изделия ручной работы, даже в одной небольшой партии (до 10 шт.), отличаются друг от друга и имеют характерные художественные черты.



Рис. 1. Примеры скульптурных изделий из древесины

Современные технологии изготовления скульптурных изделий из древесины основаны на использовании фрезерного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). При изготовлении скульптуры станки с ЧПУ работают по программам, составленным в САМ-системах [3, 4]. Траектории движения фрезы при обработке рассчитывают по поверхностям трехмерных моделей, которые создает дизайнер, или по моделям, полученным при трехмерном сканировании.

Технология изготовления на станках с ЧПУ включает черновую обработку, предназначенную для снятия напуска с заготовки, и чистовую, доводящую изделие до нужной чистоты поверхности. Чистовую обработку выполняют в несколько раз дольше черновой.

К основным недостаткам обработки на станках с ЧПУ можно отнести большие капитальные вложения в оборудование, необходимость использования дорогостоящих программных продуктов, значительную продолжительность чистовой обработки, сложность создания трехмерной модели и отсутствие эксклюзивности продукции. Недостатки и достоинства двух сравниваемых технологий изготовления скульптурных изделий из древесины приведены в таблице.

Анализ таблицы показывает, что недостатки и достоинства рассмотренных способов связаны с технологией изготовления. Резчик по дереву не способен в короткие сроки изготовить большую и даже среднюю партию изделий. На станке с ЧПУ это возможно, но все изделия будут идентичны, теряя свою эксклюзивность.

Потребность изменения существующей ситуации в отрасли ведет к необходимости совмещения ручной и станочной обработок, что является, по нашему мнению, важным шагом в области изготовления художественных изделий из древесины.

Критерии	Ручная резьба	Обработка на станках с ЧПУ
Недостатки	<p>Большие трудозатраты</p> <p>Высокая квалификация резчика</p>	<p>Большие капитальные вложения в оборудование и программное обеспечение</p> <p>Сложность создания 3D-модели изделия</p> <p>Высокая стоимость машинного времени</p> <p>Отсутствие эксклюзивности продукции</p>
Достоинства	<p>Высокая эксклюзивность изделия</p>	<p>Высокая производительность изготовления партии изделий</p>

Цель данной статьи – проанализировать различные способы изготовления скульптурных изделий из древесины и предложить технологию, совмещающую ручную и станочную обработки.

Предложенная комбинированная технология предполагает первоначальное черновое фрезерование заготовок на станке с ЧПУ и последующую ручную доработку. Черновая обработка позволяет эффективно выделить из заготовки основные формы объемно-пространственного изделия. При этом чистовая обработка на станке, которая для большинства изделий составляет от 2 до 10 ч машинного времени в зависимости от габаритов изделия, полностью исключена. Тем самым намного уменьшается стоимость общего машинного времени, составляющего сегодня для механической обработки на станках с ЧПУ до 1 тыс. р./ч [5]. К тому же, дизайнеру не нужно создавать точную модель (прототип), необходимую для чистового фрезерования. Модель упрощается, продолжительность ее проектирования снижается.

Резчик по дереву, дорезая черновую заготовку вручную, придает изделию художественно-эстетическую завершенность. При этом продолжительность ручной обработки тоже сокращается, так как уже не требуется рутинный труд на первой стадии придания формы изделию.

Нужно отметить, что все изделия в итоге будут различными, так как ручная работа неповторима даже при изготовлении одинаковых изделий. Поэтому цена продажи этого изделия будет значительно выше, поскольку его можно продавать как ручную работу.

При сравнении себестоимости одного изделия и трудоемкости его изготовления были рассмотрены три технологии: ручная резьба, фрезерование на станке с ЧПУ «Камея» и комбинированный способ. В качестве примера в статье представлено изделие «Мамонт» (рис. 2), которое изготовлено по трем вариантам технологий. При расчете были учтены все статьи расходов в условиях действующего производства (основные фонды, общие сводные данные на содержание и эксплуатацию оборудования, общецеховые, общезаводские и внепроизводственные расходы) и

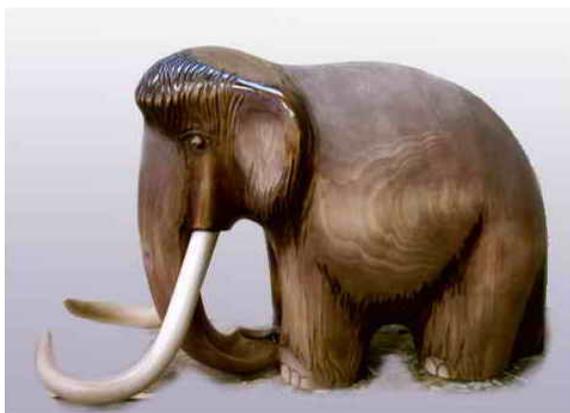


Рис. 2. Изделие «Мамонт» (осина, размеры 130×120×70 мм) налоги. Установлено, что при

изготовлении одного изделия

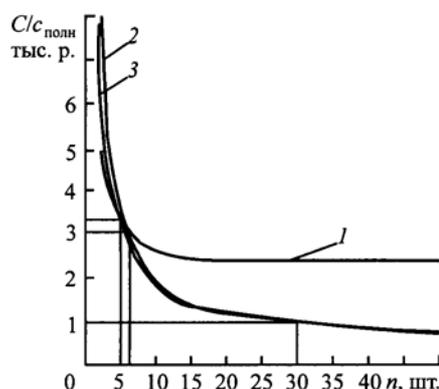


Рис. 3. Зависимость себестоимости изделия от партии: 1 – ручная обработка; 2 – обработка на станке с ЧПУ и ручная доработка; 3 – изготовление изделия на станке с ЧПУ

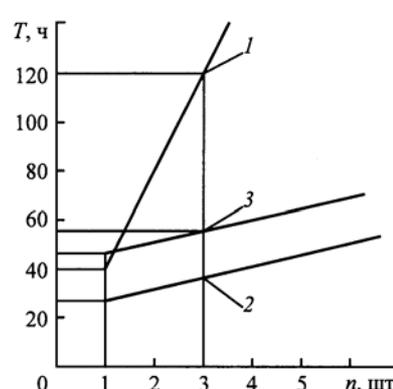


Рис. 4. Зависимость времени изготовления от объема партии изделий (см. обозначения на рис. 3)

«Мамонт» минимальная себестоимость единицы продукции получена при использовании ручного труда резчика и составляет 4922 р. (рис. 3). Это объяснимо, так как в расходы не включено использование дорогостоящего оборудования. С ростом числа изделий в партии до 10 шт. себестоимость изделия снижается и при дальнейшем увеличении остается постоянной – 2401 р.

Изготовление партии изделий с использованием станка с ЧПУ требует первоначальных крупных вложений как в оборудование, так и в проек-

тирование, отладку процесса. Поэтому единичное производство экономически неоправданно. Себестоимость одного изделия «Мамонт» достигает почти 8 тыс. р. С увеличением числа изделий до 100 шт. себестоимость снижается до 534 р. за счет распределения затрат на всю партию продукции (рис. 3).

Применение комбинированного способа обеспечивает меньшую по сравнению с перечисленными выше способами себестоимость продукции. При партии 30 шт. себестоимость изделия составляет 664 р., при партии 100 шт. – 467 р.

В условиях рынка, кроме себестоимости изготовления изделий, важное значение имеет срок выполнения заказа. Анализ затрат времени показал, что самым малопродуктивным способом изготовления, как и следовало ожидать, является ручная резьба. Для создания только 3 шт. изделий одному резчику требуется до 120 ч (рис. 4). На станке с ЧПУ работа выполняется гораздо быстрее, но при этом на проектирование и отладку всего техпроцесса требуется до 50 ч – время, за которое резчик сможет вырезать одну скульптуру. При совмещении обработки на станке с ЧПУ с ручной доработкой предполагается полная загруженность станка. Это условие дает возможность изготовить в месяц до 320 черновых заготовок. Один мастер может обработать за месяц 48 заготовок, а 6 человек полностью выполняют месячный план.

Важной задачей в изготовлении изделий по комбинированной технологии является определение оптимального соотношения времени станочной и ручной обработок. Правильный выбор этого соотношения может, с одной стороны, значительно облегчить труд резчика, с другой – снизить себестоимость изделия за счет уменьшения времени работы оборудования с ЧПУ. С увеличением припуска на ручную доработку время работы станка уменьшается, что приводит к снижению себестоимости изделия.

Применение высоких технологий проектирования изделия, написание программ обработки, использование квалифицированного персонала – это те факторы, которые повышают себестоимость изделия. В любом случае при проектировании и изготовлении художественных изделий нужно не только рассчитывать производственные мощности и использовать современные технологии, но и проводить маркетинговые исследования, выясняя потребительский спрос на товар.

Таким образом, предложенный способ производства скульптурных художественных изделий из древесины позволяет совместить преимущества станочной ЧПУ-обработки (высокая производительность) и ручной обработки (эксклюзивность) и обеспечивает большую цену продаж при меньших затратах времени на изготовление партии изделий и практически одинаковых производственных затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дымковский, И.П. Художественная резьба и мозаика по дереву [Текст] / И.П. Дымковский. – Минск, 1999.

2. Круковер, В.И. Резьба по дереву [Текст] / В.И. Круковер. – М.: ООО «Эт-рол», ООО «ИКТЦ «ЛАДА», 2004.

3. Режим доступа: <http://sapr2000.ru/link7.html>

4. Режим доступа: <http://ad.cctpu.edu.ru/SAPR/SAPR02/cadcam/Review.htm>

5. Режим доступа: <http://sapr2000.ru/invision/index.php?showtopic=11102>

Ижевский государственный
технический университет

Поступила 19.10.07

М.М. Chernykh, A.I. Pjankov, A.V. Troyanov

**Processing of Sculptural Wooden Items on Machines
with Numerical Program Control**

Comparison of cost and labour-intensiveness of producing standard sculptural wooden item by different technologies. The technology combining advantages of manual and machine processing is offered.





ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630*283:630*866

Ю.Я. Симкин, И.Н. Беседина

Симкин Юрий Яковлевич родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Сибирский технологический институт, кандидат наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Имеет около 70 печатных работ в области термической переработки древесины, технологии сорбентов.



Беседина Ирина Никитична родилась в 1950 г., окончила в 1974 г. Сибирский технологический институт, кандидат наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Имеет более 20 печатных работ в области термической переработки древесины, получения углеродных сорбентов.



УГОЛЬ-СЫРЕЦ И СОРБЕНТЫ ИЗ БРИКЕТИРОВАННЫХ ОТХОДОВ ОКОРКИ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ

Получены прочные угли и сорбенты из брикетированных отходов окорки, по адсорбционным свойствам не уступающие активным углям из древесины.

Ключевые слова: отходы окорки, лиственница сибирская, брикетирование, пиролиз, активные угли, углеродные материалы, сорбенты.

В последние годы в России, США, Германии, Финляндии, Японии и других странах ведется интенсивный поиск технических решений использования коры как сырья для химической и фармацевтической промышленности. В России промышленные отходы окорки отправляют на свалку или в лучшем случае сжигают. Особенно большие массы коры скапливаются при окорке древесины на целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих предприятиях. Объем коры, вывозимой из леса вместе с древесиной составляет более 45 млн м³ в год [5].

Одними из потенциальных промышленных методов переработки такого сырья могут быть термохимические методы.

Нами изучена возможность получения углеродных материалов из отходов сухой окорки лиственницы сибирской. Материалами исследований служили пробы отходов сухой окорки Селенгинского целлюлозно-

Таблица 1

Фракционный состав отходов сухой окорки

Порядковый номер образца	Размер частиц, мм	Содержание, %
1	≤ 1	10
2	1...5	15
3	5...10	57
4	10...20	8
5	≥ 20	10

картонного комбината, отобранные с транспортера отходов при работе окорочного барабана. Отходы окорки в среднем содержали 5 ... 10 % древесного волокна [1], отслаивающегося в процессе окорки от ствола дерева, и имели большую дисперсность. Анализ данных, приведенных в табл. 1, показал, что доля фракции с размерами частиц менее 20 мм составляет 90 % от массы отходов окорки.

Анатомическое строение исходного древесного сырья в значительной степени определяет характер пористой структуры древесноугольных материалов. Как видно из рис. 1, *а*, где представлена микрофотография среза коры лиственницы, выполненная с помощью электронного микроскопа РЭМ-100У (увеличение в 100 раз), кора состоит преимущественно из ситовидных, паренхимных и пробковых клеток с непрочными тонкими стенками. Эти клетки занимают более 70 % сечения.

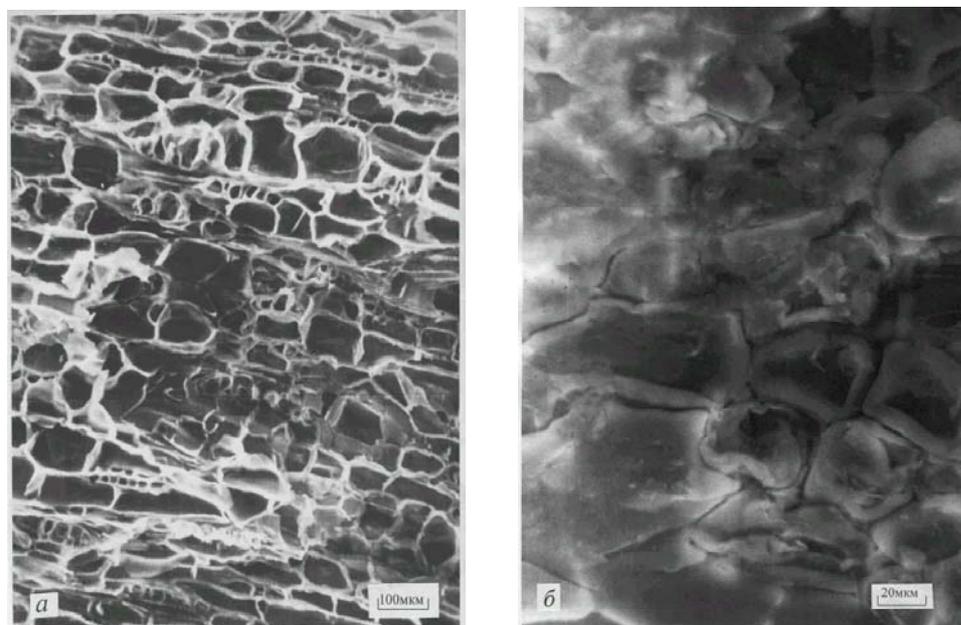


Рис. 1. Микрофотографии поперечных срезов коры лиственницы сибирской (*а*) и брикета отходов сухой окорки (*б*)

В центральной и верхней части микрофотографии выделяются крупные паренхимные клетки, размеры которых достигают 100 ... 150 мкм. Мелкие ситовидные клетки с размерами сечений 15 ... 40 мкм расположены горизонтальными рядами. В нижней части видны вытянутые пробковые клетки феллемы. В коре хвойных пород на долю каменных и лубяных клеток, имеющих прямоугольную форму с более прочными и толстыми стенками, придающими механическую прочность коре, по данным Д. Фенгела и Г. Вегенера [11], приходится только 22 ... 26 %. Часть этих клеток видна в правой нижней и средней левой частях снимка. Естественно, из материала, имеющего такую рыхлую структуру, традиционными методами получить углеродные продукты с удовлетворительными потребительскими свойствами невозможно.

Отходы сухой окорки исходного полидисперсного состава размерами менее 20 мм и влажностью 12 % были сбrikетированы на прессе ГСМ-50 в одноместной пресс-форме при комнатной температуре без использования связующих материалов. Давление прессования – 100 МПа. Полученные цилиндрические брикеты (высота 20,0 мм, диаметр 37,5 мм) при сбрасывании с высоты 1 м не разрушались. Механическую прочность брикетов определяли методом раздавливания образца на прессе с фиксируемой нагрузкой, прочность на истирание (барабанная проба) – по общепринятой методике [9].

На рис. 1, б представлена микрофотография полученного среза брикета (увеличение в 500 раз). В результате прессования в анатомическом строении отходов окорки произошли существенные изменения: отсутствуют слабые ситовидные, пробковые и паренхимные клетки. Основная часть площади среза занята массой, состоящей из разрушенных и спрессованных клеточных стенок, лишь на небольшой части среза сохранились клетки, имеющие прочные толстые стенки. С изменением давления прессования от 100 до 300 МПа кажущаяся плотность возросла от 380 кг/м³ у исходной коры до 830 ... 930 кг/м³ у брикетов из отходов окорки. Соответственно увеличилась и механическая прочность на раздавливание от 3,9 МПа у исходной коры до 45,0 ... 54,0 МПа у брикетов (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость прочности «сырых» брикетов, углей из брикетированных отходов сухой окорки и активных углей из брикетов от давления прессования

Прочность	Значение прочности при давлении прессования, МПа					
	60	100	150	200	250	300
«Сырые» брикеты						
На раздавливание, МПа	31,00	47,00	50,00	52,00	53,00	54,00
На истирание, %	80	83	85	89	91	91
Угли из брикетированных отходов сухой окорки						
На раздавливание, МПа	20,00	26,00	28,00	29,00	30,00	30,00
На истирание, %	87	88	86	82	78	73
Активные угли из брикетов (обгар 30 %)						
На раздавливание, МПа	1,80	2,20	2,30	2,35	2,38	2,38
На истирание, %	75	75	70	65	60	60

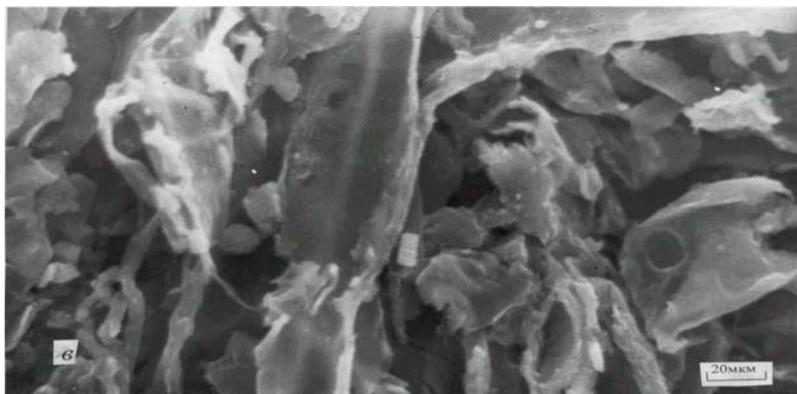


Рис. 2. Микрофотография среза угля из брикетированных отходов сухой окорки (увеличение в 500 раз)

Таким образом, полученные брикеты по своим размерам и механическим свойствам вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к сырью для слоевых промышленных процессов.

При пиролизе брикетов, осуществленном со скоростью нагрева $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до температуры $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, были получены угли, сохраняющие форму и размеры исходных брикетов (высота – 17 мм, диаметр – 32,5 мм), а также содержащие 90 ... 92 % нелетучего углерода и 3 ... 4 % золы. Были получены следующие продукты пиролиза брикетов: уголь-сырец – 29 %, жидкие продукты – 47 %, неконденсирующиеся газы и потери – 24 %. Представленная на рис. 2 микрофотография среза угля показывает, что наравне с переугленными осколками разрушенных клеточных стенок существуют участки пористой структуры, образованные сохранившимися в «сырых брикетах» прочными клетками коры.

Было выявлено, что механическая прочность полученных углей на раздавливание зависит от давления прессования в процессе получения «сырых брикетов» (табл. 2). Так, при изменении давления прессования от 60 до 300 МПа механическая прочность углей на раздавливание возрастает от 20 до 30 МПа.

Следовательно, механическая прочность пиролизированных брикетов, полученных при давлении прессования 100 МПа, достаточно высока и вполне удовлетворяет требованиям технологий, использующих древесный уголь-сырец. Например, механическая прочность производимого березового угля-сырца вдоль волокон составляет 8,0 ... 10,0 МПа, поперек волокон – 4,0 ... 6,0 МПа [10], что значительно меньше прочности углей из брикетированных отходов сухой окорки. Давление прессования 100 МПа обеспечивают типовые отечественные штемпельные и валковые прессы.

Пиролизированные брикеты в нераздробленном состоянии были проактивированы водяным паром при температуре $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ во вращающейся лабораторной печи активации. Полученные активные угли сохранили форму ис-

Таблица 3

Сорбционные характеристики активных углей из брикетированных отходов сухой окорки

Порядковый номер образца	Обгар, %	Адсорбционная активность по йоду, %	Осветляющая способность	
			по метиленовому голубому, мг/г	по мелассе, %
1	0	20,2	14,5	4,3
2	15	35,1	54,0	11,5
3	30	61,5	177,0	86,4
4	50	87,6	278,0	114,2

ходных брикетов. Воздействие водяного пара вызвало ослабление внутренних связей, отразившееся на значительном снижении прочности углей (табл. 2). Тем не менее, прочность на раздавливание активированных углей из брикетов остается на уровне 1,80 ... 2,38 МПа, на истирание – 60 ... 75 %, что позволяет применять их в производственных процессах в качестве дробленых активных углей. Поскольку изменение давления прессования при получении «сырых» брикетов в интервале 100 ... 300 МПа мало сказывается на прочности активных углей из брикетов (табл. 2), его увеличение выше 100 МПа нецелесообразно. В дальнейшем при их получении использовали давление прессования 100 МПа.

С увеличением степени обгара адсорбционные свойства углей из брикетов, также как и при активировании древесных углей [6–8], возрастают (табл. 3).

Адсорбционную активность активных углей по йоду и осветляющую способность по метиленовому голубому и мелассе определяли по стандартным методикам [3, 4]. По адсорбционным свойствам активные угли из брикетов окорки удовлетворяют требованиям ГОСТ 4453–74 и ГОСТ 6217–74 для марок древесных активных углей ОУ-А и БАУ-А. Повышенное содержание золы в активных углях (12 ... 16 %) не препятствует их применению в отдельных производственных процессах. Так, полученные из отходов окорки лиственницы сибирской дробленые активные угли с обгаром 30 % успешно использовали вместо активных углей марки АГ-3 при очистке медно-аммиачного раствора и конденсата 2-й стадии дегидрирования изопентана в производстве бутадиена на Стерлитамакском заводе синтетического каучука, а также при очистке сточных вод Красноярского ЦБК и Красноярского БХЗ, где они показали лучшие результаты в сравнении с промышленными углями БАУ-А.

Таким образом, брикетированные отходы сухой окорки лиственницы сибирской могут служить сырьем для получения угля-сырца и сорбентов, в ряде случаев способных заменять в производственных процессах древесный уголь-сырец и древесноугольные сорбенты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веретенник, Д.Г.* Использование древесной коры в народном хозяйстве [Текст] / Д.Г. Веретенник. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 120 с.
2. *Гвоздева, Е.Н.* Химический состав коры лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) [Текст] / Е. Н. Гвоздева, И. С. Артемьева, В. П. Леванова // Химия древесины. – 1979. – № 3. – С. 100–102.
3. ГОСТ 4453–74. Уголь активный осветляющий, древесный, порошкообразный. Технические условия. – Взамен ГОСТ 4453–48; введ. с 01.01.76. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 10 с.
4. ГОСТ 6217–74. Уголь активный древесный дробленый. Технические условия. – Взамен ГОСТ 6217–54; введ. с 02.01.76. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 8 с.
5. *Житков, А.В.* Утилизация древесной коры [Текст] / А.В. Житков. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 136 с.
6. *Кельцев, Н.В.* Основы адсорбционной техники [Текст]: 2-е изд., перераб. и доп. / Н.В. Кельцев. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
7. *Кинле, Х.* Активные угли и их промышленное применение [Текст] / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.
8. *Меньковская, М.А.* Технический анализ углей [Текст] / М.А. Меньковская [и др.]. – М.; Л., 1952. – 159 с.
9. *Никитин, Н.И.* Химия древесины и целлюлозы [Текст] / Н.И. Никитин. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 711 с.
10. *Сорокина, Г.И.* Свойства и получение углеродистого восстановителя из лесосечных отходов лиственницы сибирской [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Сорокина Г.И. – Рига, 1985. – 186 с.
11. *Фенгел, Д.* Древесина (химия, ультраструктура, реакции) [Текст] / Д. Фенгел, Г. Вегенер. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 511 с.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 11.09.06

Yu. Ya. Simkin, I.N. Besedina

Green Coal and Sorbents from Briquette Bark Residue of Siberian Larch

Strong coal and sorbents are produced from briquette bark residue with adsorption properties not yielding to active coals produced from wood.

УДК 676.19

В.К. Дубовый, Л.Ю. Фокина, А.Д. Иваненко, В.В. Богданов

Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры целлюлозно-бумажного производства С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 40 печатных работ в области технологии бумаги и картона.



Фокина Любовь Юрьевна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, аспирант.



СВОЙСТВА ЛИСТОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН

Приведены характеристики листовых композиционных материалов на основе стеклянных волокон со связующими – сульфатом алюминия, поливинилспиртовыми и растительными волокнами.

Ключевые слова: минеральные волокна, связующие, композиционные материалы, полигидроксокомплексы, показатели прочности.

Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон находят применение в авиакосмической технике, двигателях различного назначения, биотехнологии, медицине, строительстве и др. Однако области применения и объемы использования этих материалов не соответствуют тем потенциальным возможностям, которые обусловлены комплексом присущих им свойств.

Сложившаяся ситуация объясняется тем, что до настоящего времени нет научных разработок по приданию прочности материалам из минеральных волокон, не обладающих способностью к образованию в листе бумаги межволоконных связей. Для того, чтобы по традиционной технологии бумажного производства получить материал, сочетающий в себе преимущества, обусловленные листовой формой и особыми свойствами минеральных волокон, в исходную композицию вводят связующие вещества различной природы: растительные, поливинилспиртовые (ПВС) волокна, латексы, полимерные эмульсии и др.

Однако органические связующие резко ограничивают сферу применения материалов на основе минеральных волокон, так как при высоких температурах и под действием агрессивных сред они разрушаются, что ведет к потере прочности. В полной мере уникальные свойства материалов на основе минеральных волокон могут проявиться только в случае использова-

ния термо-, хемо- и биоустойчивых неорганических связующих. Цель данной работы – испытание некоторых из них.

В ходе первого эксперимента были изготовлены двухкомпонентные бумагоподобные композиты на основе стеклянных волокон (диаметр 0,2 и 0,6 мкм, соотношение 1 : 1). Массу 1 м² образцов варьировали от 20 до 100 г. Связующие агенты вводили в следующих количествах: Al₂(SO₄)₃ – 10 ... 30 % от массы волокон в пересчете на Al₂O₃; ПВС – 0 ... 5 % от массы волокон.

Отлив производили на листоотливном аппарате ЛА-М69 при pH 7 ... 8, сушили на сушильном цилиндре при температуре 110 ... 115 °С. Далее на разрывной машине INSTRON определяли прочностные и деформационные характеристики полученных стекловолоконных материалов: предел прочности на разрыв, разрывная длина, начальный модуль упругости.

На рис. 1 представлены зависимости предела прочности на разрыв и модуля упругости от расхода неорганического (Al₂(SO₄)₃) и органического (ПВС) связующих при массе 1 м² образцов 20, 60 и 100 г. Графики 1–5 построены для минимального и максимального расходов органического связующего, а также для расхода, соответствующего максимальной величине изучаемых показателей (если этот максимум не совпадает с минимальным или максимальным расходом органического связующего).

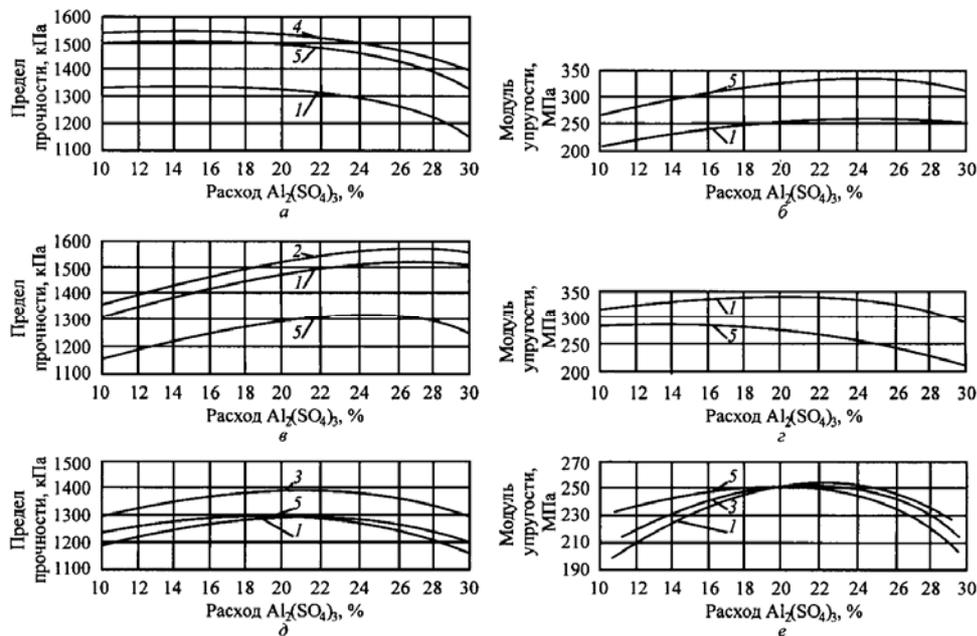


Рис. 1. Влияние расходов Al₂(SO₄)₃ и волокон ПВС на предел прочности (а, в, д) и модуль упругости (б, г, е) стекловолоконного материала с различной массой 1 м²: а, б – 20 г; в, г – 60 г; д, е – 100 г; 1 – 0 % ПВС; 2 – 1,5; 3 – 2,5; 4 – 3,5; 5 – 5,0 % ПВС

Анализ рис. 1 показал следующее. Во-первых, по мере увеличения массы 1 м^2 образцов расход волокон ПВС, обеспечивающий максимальные значения предела прочности на разрыв, последовательно снижается с 3,5 % при массе 1 м^2 образцов 20 г до 1,5 % при 100 г. Во-вторых, с ростом массы 1 м^2 образцов максимум значений предела прочности последовательно сдвигается в область повышенных расходов $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: для отливок с массой 20, 60 и 100 г максимум отмечен при расходе сульфата алюминия 17, 20 и 23 %.

Не менее отчетливо проявляется влияние повышенных расходов волокон ПВС на модуль упругости стекловолоконного бумагоподобного композита по мере увеличения массы 1 м^2 образцов. Так, для образцов массой 20 г максимум модуля упругости наблюдается при 5,0 %-м расходе волокон ПВС, у материала массой 60 г этот показатель уже мало зависит от расхода добавки. При массе 1 м^2 материала 100 г любое количество волокон ПВС снижает модуль упругости.

Однако, варьируя расходы связующих в исследуемом диапазоне, можно добиться примерно одинаковых значений предела прочности на разрыв и начального модуля упругости у материалов, значительно отличающихся массой 1 м^2 .

Для второго эксперимента был создан бумагоподобный композит на основе стеклянных волокон (диаметр 0,2 и 0,6 мкм, соотношение 1 : 1) массой 1 м^2 7,3 г. Снижение массы 1 м^2 от 20,0 до 7,3 г было достигнуто за счет введения в композицию волокон хлопковой целлюлозы со степенью помола 76 °ШР в количестве 2,5; 5,0; 7,5 и 10,0 % от массы стеклянных волокон. В качестве связующего агента использовали только $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в количестве 30 % от массы стеклянных волокон (в пересчете на Al_2O_3).

Как и в предыдущем случае, были определены прочностные и деформационные характеристики полученных бумагоподобных композитов: предел прочности на разрыв, разрывная длина, начальный модуль упругости. Зависимости предела прочности на разрыв и модуля упругости от расхода волокон хлопковой целлюлозы представлены на рис. 2.

В случае использования материалов на основе стекловолокна и других минеральных волокон с повышенной прочностью, например, как изолирующих элементов, можно в качестве связующего применять растительные



Рис. 2. Влияние расхода волокон хлопковой целлюлозы на предел прочности (а) и модуль упругости (б) стекловолоконного материала (масса 1 м^2 – 7,3 г)

волокна. Для этой цели использовали ящичную макулатуру; размолотую до 40 °ШР сульфатную небеленую целлюлозу и высокоразмолотую хлопковую целлюлозу (90 °ШР). На рис. 3 представлены результаты эксперимента с использованием в качестве связующего растительных волокон.

Одно из востребованных направлений использования минеральных волокон – их применение в производстве впитывающих бумагоподобных композитов. Существенным отличием впитывающих материалов на основе минеральных волокон от целлюлозных впитывающих материалов является отсутствие набухания минеральных волокон. Поэтому листы из минеральных волокон после удаления поглощенной воды снова способны к впитыванию влаги. Эта их особенность необходима для процессов с периодическим поглощением влаги, например, при регенерации каких-либо фильтрующих или абсорбирующих элементов.

Для получения подобных материалов на основе минеральных волокон невозможно применение органических связующих, поскольку это резко снижает впитывающую способность. Использование в качестве связующего макулатуры, размолотой древесной или хлопковой целлюлозы снижает периодичность применения поглощающих элементов из-за набухания связующих волокон. Поэтому предложено использовать связующие полигидрокомплексы алюминия для создания необходимой прочности материала и сохранения высокой впитывающей способности.

К достоинствам технологии получения композиционных материалов с участием природных полимеров на основе целлюлозы и минеральных волокон, содержащих сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$, относится то, что последний, являясь эффективным коагулянтом, при попадании в водную среду (сточные воды) участвует в ее очищении.

Таким образом, в качестве связующих, в зависимости от назначения материала, могут быть использованы полигидрокомплексы алюминия как самостоятельно, так и в сочетании с органическими связующими, а также различные виды растительных волокон.



Рис. 3. Результаты введения в качестве связующих растительных волокон: 1 – хлопковая целлюлоза, 2 – древесная целлюлоза, 3 – макулатура

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асланова, М. Стекланные волокна [Текст] / М. Асланова. – М.: Химия, 1979. – 340 с.

2. *Дубовый, В.К.* Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Дубовый В.К. – СПб., 2006. – 35 с.

3. *Дубовый, В.К.* Стекланные волокна. Свойства и применение [Текст] / В.К. Дубовый. – СПб.: Изд-во «Нестор», 2003. – 130 с.

4. *Чижов, Г.И.* Влияние повышенных расходов соединений алюминия на механическую прочность бумаги из хлопковой целлюлозы [Текст] / Г.И. Чижов, В.М. Бодрова // Химия и технология бумаги: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1974. – Вып. II. – С. 20–28.

5. *Чижов, Г.И.* Исследование механизма взаимодействия соединений алюминия с целлюлозными волокнами [Текст] / Г.И. Чижов, В.М. Бодрова // Химия и технология древесины, целлюлозы и бумаги: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1974. – Вып. II. – С. 30–34.

6. *Чижов, Г.И.* О механизме взаимодействия соединений алюминия с целлюлозными волокнами [Текст] / Г.И. Чижов, С.Н. Иванов, Д.М. Фляте // Химия и технология целлюлозы: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1975. – Вып. II. – С. 93–100.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 12.12.07

V.K. Dubovyi, L. Yu. Fokina, A.D. Ivanenko, V.V. Bogdanov

Properties of Sheet Composite Materials with Based on Glass Fiber

Characteristics of sheet composite materials based on glass fibers with bindings – aluminum sulfate, polyvinyl - alcohol fibers and plant fibers are provided.



УДК 674.8

Л.П. Майорова

Майорова Людмила Петровна родилась в 1947 г., окончила в 1973 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности Тихоокеанского государственного университета. Имеет более 180 печатных работ в области рационального и комплексного использования древесного сырья и глубокой химической переработки древесины.



ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК

Показано, что при увеличении расхода химикатов на варку и продолжительности стоянки на конечной температуре из отходов лесозаготовок может быть получена сепарируемая целлюлоза с выходом на 10...11 % ниже, чем из балансовой древесины, и достаточно высокими показателями механической прочности.

Ключевые слова: отходы лесозаготовок, сульфатная варка, делигнификация, избирательность, выход, степень делигнификации, показатели механической прочности.

Хабаровский край имеет значительные лесные ресурсы, на долю которых приходится 6,2 % запасов древесины Российской Федерации. Лесопромышленный комплекс края является одной из ведущих отраслей промышленности. Однако из-за отсутствия глубокой химической переработки и ориентации на экспорт круглого леса на лесосеках остается до 3 млн м³ балансов, тонкомерной древесины и отходов. Велика доля поврежденной и брошенной на лесосеке древесины [5]. Основными направлениями экономического и социального развития Хабаровского края на период до 2010 г. предусмотрено строительство целлюлозно-бумажного комбината мощностью 700 тыс. т сульфатной целлюлозы по варке в год. Для этого потребуются 3,5 млн м³ низкосортного сырья, поэтому остро стоят вопросы использования всех видов отходов, остающихся на лесосеках, погрузочных площадках и нижних складах, для производства технологической щепы и оценки возможности ее использования в производстве целлюлозы.

Анализ литературных данных [1–4] показал следующее.

1. Щепка из всей биомассы дерева содержит много экстрактивных веществ и золы, а наличие в ней коры, хвои, листвы, минеральных и др. включений вызывает значительные трудности при эксплуатации транспортного и технологического оборудования. Без облагораживания такую щепу можно использовать в виде добавок (до 20 %) к технологической щепе из балансовой древесины при производстве целлюлозы для бумаг и картона.

2. Щепка из древесины лиственных пород (береза, осина) по сравнению с щепкой из балансовой древесины имеет пониженную на 5 ... 6 %

плотность и содержит на 3,4 ... 4,5 % меньше целлюлозы и на 2,0 % больше лигнина; содержание экстрактивных веществ в такой щепе выше в 1,5 раза, золы – в 2,2–2,6 раза. Она относительно менее засорена и может использоваться в количестве 15 ... 20 % в производстве беленой сульфатной целлюлозы и 50 % и более в производстве полуцеллюлозы.

3. Для производства высококачественных видов целлюлозы и бумаги применение щепы из всего дерева технологически и экономически нецелесообразно, так как связано с увеличением расходов химикатов, потерями волокна и ухудшением показателей механической прочности целлюлозы.

4. По сравнению с древесиной ствола древесина корней и ветвей содержит меньше целлюлозы и больше лигнина, экстрактивных веществ, золы. Максимальное количество нежелательных примесей отмечено в коре.

5. Древесина ветвей и пней может служить дополнительным источником сырья для получения волокнистых полуфабрикатов. Для варки древесных отходов хвойных пород применим сульфатный способ, для лиственных – также и моносульфитный. Целлюлоза отличается низким выходом и пониженными показателями механической прочности. Целлюлозу из ветвей можно использовать в производстве оберточных и упаковочных видов бумаги и картона.

Таким образом, особенности физических свойств и химического состава, наличие коры в щепе обуславливают особенности переработки и качественные показатели получаемых из этого сырья полуфабрикатов. Наиболее рациональным способом переработки такого сырья считается сульфатный.

Цель данной работы – исследовать возможность применения щепы из отходов лесозаготовок основных дальневосточных пород в производстве сульфатной целлюлозы.

В качестве сырья использовали технологическую щепу из балансовой древесины и отходов лесозаготовок Амурского района, изготовленную из наиболее распространенных в Хабаровском крае пород: лиственницы даурской, ели, березы белой. Щепа, неравномерная по фракционному составу, имела примеси коры (табл. 1).

По сравнению с технологической щепой марки Ц-3 в щепе из отходов лесозаготовок доля крупной и мелкой фракций и коры выше, гниль первой стадии составляет от 2,3 до 3,6 %. Содержание лигнина и экстрактивных веществ в отходах лесозаготовок выше, а целлюлозы ниже, чем в балансовой древесине (табл. 2).

Варки проводили в автоклавах вместимостью 5 л с электрообогревом. Гидро модуль 4,5:1,0. Показатели белого щелока: сульфидность – 25 %, степень каустизации – 85 %, степень восстановления – 92 %, концентрация активной щелочи – 100 г/л ед. Na₂O.

Таблица 1

Усредненный фракционный состав щепы из отходов лесозаготовок (числитель) и балансовой древесины (знаменатель)

Порода древесины	Остаток щепы, %, на ситах с отверстиями диаметром, мм					Содержание коры, %
	50	30	10	5	0*	
Ель	–	6,8/3,6	80,1/89,2	9,9/6,8	3,2/0,4	10,1/1,7
Лиственница	1,6/–	8,6/3,9	72,7/86,1	14,2/8,8	2,9/1,2	13,2/2,1
Береза	–	7,4/2,8	77,1/90,0	12,0/5,7	3,5/1,5	11,8/1,8

* Поддон.

Таблица 2

**Химический состав (%) балансовой древесины (числитель)
и отходов лесозаготовок (знаменатель)**

Порода древесины	Вещества, экстрагируемые водой	Лигнин	Целлюлоза
Ель	1,48/–	28,8/32,3	49,1/41,1
Лиственница	2,25/6,20	26,4/29,3	46,2/39,8
Береза	1,53/4,10	22,9/24,6	46,0/36,8

Таблица 3

Условия проведения четырех вариантов варок

Порода древесины	1			2			3			4		
	<i>T</i>	τ	<i>P</i>									
Ель	175	45	18,0	175	80	18,0	175	45	19,0	175	80	19,0
Лиственница	172	50	19,0	172	80	19,0	172	50	20,5	172	80	20,5
Береза	160	45	16,0	160	80	16,0	160	45	17,0	160	80	17,0

Примечание. *T* – температура варки, °С; τ – продолжительность стоянки, мин; *P* – расход щелочи на варку, %.

Важнейшим фактором, определяющим скорость делигнификации, является расход активной щелочи на варку. В предварительных опытах было показано, что расход активной щелочи на варку менее 15 % для березы и 17 % для ели и лиственницы недостаточен для завершения делигнификации: полученные полуфабрикаты практически не разделяются на волокна. Чрезмерное увеличение расхода активной щелочи на варку может привести к значительной деструкции углеводной части древесины, что сказывается на выходе целлюлозы и ее бумагообразующих свойствах.

Эксперименты проводили в четырех (1–4) вариантах (табл. 3). Продолжительность подъема температуры до конечной во всех опытах составляла 120 мин. Полученные полуфабрикаты промывали на лабораторной сече и анализировали по традиционным в ЦБП методикам (табл. 4).

Анализируя результаты, представленные в табл. 2, можно отметить следующее.

Выбранные режимы варки щепы из балансовой древесины позволяют получить полуфабрикаты с степенью делигнификации 26 ... 30 ед. Кап-

па и достаточно высокими показателями механической прочности (разрывная длина, сопротивления продавливанию и раздиранию).

Выход целлюлозы из отходов лесозаготовок ниже, чем из балансовой древесины, а количество непровара и содержание лигнина существенно выше. Делигнификация замедлена. Максимальная разница показателей отмечена при варке по одному режиму щепы из отходов лесозаготовок и балансовой древесины. Большое количество непровара обусловлено наличием в щепе коры и очень неравномерным фракционным составом.

Таблица 4

Показатели целлюлозы из отходов лесозаготовок

Вариант варки	Общий выход, %	Непровар, % от абс. сухой древесины	Выход сортированной целлюлозы, %	Степень делигнификации, ед. Каппа	Разрывная длина, м	Сопротивление		Потребление активной щелочи, % от заданной
						продавливанию, кПа	раздиранию, Н	
Ель								
1	44,97	5,67	39,30	60,6	10800	550	0,84	94,1
2	40,92	4,76	36,16	32,3	9500	465	0,85	96,8
3	41,40	3,35	38,05	39,4	9900	510	0,85	90,3
4	39,70	2,55	37,15	27,6	9600	470	0,85	92,1
*	48,90	1,60	47,30	26,7	9800	490	0,89	86,4
Лиственница								
1	41,73	5,43	36,30	45,5	8900	400	1,02	95,3
2	38,45	3,55	34,90	32,9	8700	450	1,05	98,2
3	39,50	4,20	35,32	37,1	8300	410	1,06	91,4
4	37,17	3,67	33,51	28,2	9250	430	1,06	92,9
*	44,12	0,25	43,60	27,3	7800	340	1,36	87,6
Береза								
1	45,00	5,00	40,00	64,5	8600	340	0,61	92,8
2	44,44	3,16	40,28	38,7	9150	360	0,62	96,3
3	43,67	4,23	39,44	45,2	8700	365	0,62	89,8
4	41,85	2,20	39,65	31,8	8550	350	0,69	90,3
*	51,28	0,68	50,60	29,7	9900	410	0,74	88,9

* Щепы из балансовой древесины.

Выход сортированной целлюлозы из лесосечных отходов ели составляет 39,30 %, количество непровара 5,67 %, степень делигнификации 60,6 ед. Каппа (9,1 % лигнина в целлюлозе). Сульфатная целлюлоза из балансовой древесины, сваренная по тому же технологическому режиму, имела выход 47,30 % при содержании непровара 1,60 % и степени делигнификации 26,7 ед. Каппа. Соотношение лигнина и углеводов в целлюлозе из лесосечных отходов составляло 0,301, а в целлюлозе из балансовой древесины – 0,093 (в 3,24 раза меньше).

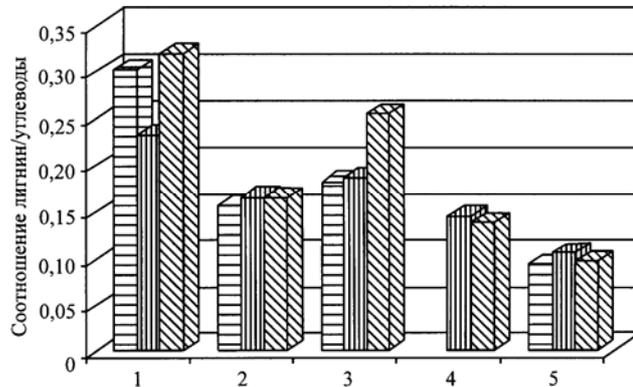
При варке по одному режиму щепы из отходов лесозаготовок и балансовой древесины лиственницы выход сортированной целлюлозы из лесосечных отходов на 7,3 % ниже, количество непровара в 1,04 раза больше. Делигнификация, как и в случае варки ели, замедлена. Степень делигнификации целлюлозы из лесосечных отходов – 45,5 ед. Каппа, из балансовой древесины – 27,3 ед. Каппа, соотношение лигнина и углеводов в древесных остатках – соответственно 0,232 и 0,104. В случае варки березы выход сортированной целлюлозы ниже на 10,6 %, количество непровара выше в 7,35 раза, степень делигнификации – на 34,8 ед. Каппа.

При увеличении продолжительности стоянки на конечной температуре до 80 мин выход целлюлозы из отходов лесозаготовок ели снизился до 36,16 % (на 3,16 %), степень делигнификации – на 21,2 ед. Каппа, а соотношение лигнина и углеводов составило 0,155, что свидетельствует о преимущественном удалении лигнина. В меньшей степени увеличение продолжительности стоянки сказывается при варке отходов из древесины лиственницы: выход сортированной целлюлозы снижается на 1,4 %, степень делигнификации – на 12,6 ед. Каппа, приближаясь к уровню соответствующего показателя полуфабриката из отходов ели. Количество непровара уменьшается в 1,53 раза. При варке щепы из лесосечных отходов березовой древесины выход сортированной целлюлозы мало изменяется, количество непровара и степень делигнификации снижаются. По-видимому, при увеличении продолжительности стоянки имеет место развитие стадии преимущественного удаления лигнина, не завершившейся при варке по варианту 1.

Увеличение расхода активной щелочи на варку при сохранении продолжительности стоянки по варианту 1 менее эффективно с точки зрения завершенности делигнификации, чем увеличение продолжительности стоянки на конечной температуре.

Условия варки по варианту 4 обеспечивают получение из отходов всех исследованных пород полуфабриката с приблизительно той же степенью делигнификации, что и при варке щепы из балансовой древесины, но с более низким (на 10 ... 11 %) выходом сортированной целлюлозы и более высоким количеством непровара (табл. 4).

Показатели механической прочности полуфабрикатов из отходов хвойных пород остаются на достаточно высоком уровне. Сопротивление раздиранию полуфабрикатов из отходов лесозаготовок ниже по сравнению с соответствующим показателем целлюлозы из балансовой древесины у всех исследованных пород. Максимальными показателями разрывной длины и



Изменение избирательности варочного процесса:
 1 – 4 – варианты варки, 5 – балансовая древесина;
 (▨ – ель, ▤ – лиственница, ▩ – береза)

сопротивления продавливанию отличается целлюлоза, полученная из отходов лесозаготовок ели. У полуфабрикатов из отходов лесозаготовок березы показатели механической прочности ниже, чем у целлюлозы из балансовой древесины.

Избирательность варочного процесса, выраженная как отношение содержания лигнина в древесном остатке к содержанию углеводов, значительно ниже при варке отходов лесозаготовок и несколько улучшается с повышением расхода активной щелочи и продолжительности стоянки на конечной температуре (см. рисунок).

Целлюлоза, полученная из отходов лесозаготовок по вариантам 2–4, удовлетворяет требованиям ГОСТ 11208–82 к целлюлозе марок НС-1 (ель), НС-2 (лиственница), НС-2 (береза) за исключением сопротивления раздиранию.

Выводы

1. Делигнификация при варке щепы из отходов лесозаготовок замедлена, избирательность варочного процесса низкая, что обусловлено неравномерным фракционным составом щепы и присутствием коры.

2. В технологическую схему производства целлюлозы из отходов лесозаготовок целесообразно включение стадии горячего размола.

3. Для получения сепарируемой целлюлозы из отходов лесозаготовок необходимо увеличение расхода активной щелочи на варку и продолжительности стоянки на конечной температуре. В этих условиях может быть получена целлюлоза, соответствующая требованиям ГОСТ 11208–82, но выход ее на 10 ... 11 % ниже, чем у целлюлозы из балансовой древесины.

4. Организация производства технологической щепы из отходов лесозаготовок позволит повысить комплексное использование древесного сырья и частично решить проблему обеспечения сырьем планируемого в Хабаровском крае целлюлозно-бумажного комбината.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бейгельман, А.В.* Переработка низкокачественной древесины, лесосечных отходов и щепы из целого дерева на волокнистые полуфабрикаты [Текст]: экспресс-информ. / А.В. Бейгельман, А.И. Гасинец, Г.Н. Антошкина, Т.А. Мехнин. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1982. – Вып. 26. – С. 1–14.
2. *Захаренко, В.Н.* Использование всей биомассы дерева лиственных пород для получения целлюлозы и полуцеллюлозы [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Захаренко В.Н.. – Л., 1987. – 20 с.
3. *Лысяк, Т.К.* Исследование особенностей получения сульфатной целлюлозы из тонкомерной древесины лиственных пород от рубок ухода [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Лысяк Т.К. – Л., 1980. – 160 с.
4. *Матюшкина, А.П.* Исследование пнево-корневой древесины осины в производстве сульфатной целлюлозы [Текст] / А.П. Матюшкина // Физико-химические исследования древесины и ее комплексное использование. – Петрозаводск, 1978. – С. 5–24.
5. Основные направления экономического и социального развития Хабаровского края на период до 2010 г. [Текст]. – Хабаровск: Изд-во «Магеллан», 2005. – 214 с.

Тихоокеанский государственный
университет

Поступила 21.02.07

L.P. Maiorova

Quality Analysis of Sulphate Pulp from Waste Wood

It is shown that under increase of chemicals charge for cooking and staying time at the final temperature the separated pulp could be produced from wastewood with yield on 10...11 % lower than from pulpwood and rather high characteristics of mechanical strength

УДК 676.16

Э.И. Гермер

Гермер Эмиль Исаакович, окончил Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор химических наук, заместитель генерального директора СПБОО «Экология и бизнес» по новым технологиям. Имеет около 180 печатных работ в области производства целлюлозы, преимущественно по химии, технологии и катализу кислородно-щелочной делигнификации, экологии и технологии целлюлозно-бумажного производства.



**СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЦБП
И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ В РОССИИ.
1. О ПРОЕКТЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
НОРМИРОВАНИЯ – ПРЕДПОСЫЛКИ ЕГО ПОЯВЛЕНИЯ
И КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ; ПРОБЛЕМЫ,
ОСТАВШИЕСЯ ЗА РАМКАМИ ПРОЕКТА**

Рассмотрены основные недостатки российской системы экологического нормирования технологических процессов ЦБП; обсуждена необходимость модификации этой системы на основе принципа внедрения наилучших существующих технологий с учетом опыта, накопленного в этой области передовыми промышленными странами; указаны некоторые вопросы, требующие проработки для совершенствования экологического нормирования процессов ЦБП.

Ключевые слова: экологическое нормирование технологических процессов, наилучшие существующие технологии.

В стадии рассмотрения в правительственных структурах находится большой и значимый для целлюлозно-бумажной отрасли проект «Разработка и реализация системы технологического нормирования* на основе наилучших существующих технологий (НСТ) для предприятий ЦБП России в свете стратегии устойчивого развития» (далее – Проект), выполнявшийся под руководством РАО «Бумпром», где заказчиком и одним из соисполнителей был определен ОАО «Гипробум», а основным исполнителем – инициатор данного проекта СПБОО «Экология и бизнес». В качестве соисполнителей были привлечены ОАО ВНИИБ, Научно-исследовательский центр

* С точки зрения экологов, экологическое нормирование технологических процессов называется «технологическое нормирование». Однако технологи под «технологическим нормированием», как правило, понимают удельные расходы сырья, воды, химикатов, энергии, необходимые для выработки единицы той или иной продукции, а не экологические показатели (например ХПК, БПК, ВВ (взвешенные вещества) и т.д.). Так как настоящая статья претендует на внимание широкого круга читателей, в тексте чаще будет использоваться термин «экологическое нормирование технологических процессов», который понимается однозначно всеми группами специалистов, или просто «экологическое нормирование».

экологической безопасности (НИЦЭБ) РАН и Институт экологических проблем Севера (ИЭПС) УрО РАН.

Значение Проекта характеризует и состав организационной группы по его выполнению, возглавляемой председателем правления, первым вице-президентом РАО «Бумпром» В.А. Чуйко и включающей 22 человека – преимущественно руководителей ряда важных государственных природоохранных структур Северо-Запада РФ, а также вышеперечисленных организаций. Выполнение Проекта заняло около двух лет. Каждый его этап по завершении рассматривался экспертами организаций, представленных в группе выполнения Проекта, затем шла работа с замечаниями и окончательное обсуждение результатов на очередном заседании группы. Заседание вел, как правило, один из старейших и опытных работников отрасли вице-президент РАО «Бумпром» А.П. Черновол.

Проект выполнялся на средства ряда предприятий. Самым первым и самым существенным был вклад крупнейшей целлюлозно-бумажной компании России «Илим Палп Энтерпрайз». Важно, чтобы как можно более широкий круг специалистов ЦБП, а также работников государственных и общественных организаций, занимающихся охраной окружающей среды от воздействия промышленности, в частности предприятий ЦБП, ясно представлял себе концепцию Проекта, доводы, на которых она основывалась, и т.п. Это должно способствовать правильному и более творческому восприятию предлагаемых в проекте нормативов, а также поможет снять, по крайней мере, ряд вопросов, которые безусловно возникнут при изучении проекта всеми заинтересованными сторонами.

Предпосылки появления Проекта и его значение. Россия стремится интегрироваться в мировую и, прежде всего, европейскую систему в промышленности, гуманитарной области, науке, образовании и т.д. Не в последнюю очередь это относится и к охране окружающей среды, главным образом, от воздействия промышленности, поскольку это обычно носит не просто существенный, а глобальный характер, зачастую не лимитированный государственными границами. Один из относительно недавних и наиболее значимых примеров такого российского подхода – ратификация Думой Киотского протокола.

Подобная политика требует большой работы в плане гармонизации законодательств и подходов к решению различных проблем – транспортных, энергетических, миграционных, гуманитарных и, конечно, экологических. При этом в экологической области имеются весьма существенные расхождения между подходами развитых стран, в том числе европейских, и России, в основном сформировавшимися еще в доперестроечное время. В частности, во многих передовых странах мира качество, например, сточных вод контролируется преимущественно по 4–6 интегральным показателям, и лишь по требованию региональных природоохранных структур их число для конкретных предприятий может быть увеличено. У нас же перечень нормируемых показателей сточных вод для большинства предприятий обычно составляет 15–17 и, согласно нормативным документам, может дос-

тигать 23, из которых значительная часть – индивидуальные вещества. Причем некоторые из этих индивидуальных веществ определяют как бы дважды – самостоятельно и в составе интегральных показателей, некоторые из которых также включены у нас в число обязательных для контроля. При этом необходимо иметь в виду, что предлагаемая система нормирования не исключает, а даже требует проведение мониторинга (но не нормирования) некоторых показателей и индивидуальных веществ, специфических для данного производства и способных заметно влиять на состояние окружающей среды. Если выяснится, что предприятие часто превышает предельно допустимый сброс (ПДС) или выброс (ПДВ) по какому-нибудь из таких соединений, то соответствующая региональная природоохранная структура должна иметь право ввести данное соединение (или показатель) в число нормируемых (до тех пор, пока не будет достигнуто стабильное снижение сброса (выброса) данного вещества до установленного для него норматива).

Принятый в РФ подход к экологическому нормированию, в значительной степени перегруженный не всегда обоснованными и при этом трудно выполнимыми требованиями, ведет не столько к дополнительным усилиям предприятий ЦБП по снижению их вредного воздействия на окружающую среду, сколько к тому, что даже относительно благополучные из их числа вместо того, чтобы тратить средства на новую экологически более прогрессивную технологию, вынуждены расходовать их на большие штрафы и/или способствовать коррупции в региональных природоохранных государственных структурах. В защиту последних можно сказать, что эти структуры были вынуждены иногда «сквозь пальцы» смотреть на нарушение экологических нормативов со стороны некоторых предприятий (как правило градообразующих), хотя этот же фактор в ряде случаев является и прикрытием для коррупции. Но самое главное в этой ситуации – потеря времени. Только сейчас, примерно на два десятилетия позже передовых стран Запада, посредством упомянутого выше проекта Россия делает первую серьезную попытку начать модернизацию общей системы экологического нормирования промышленных процессов на основе НСТ с переходом к современной рациональной системе по отраслевому принципу и опорой на относительно небольшое число интегральных показателей.

Некоторые сотрудники государственных экологических структур склоняются к мысли, что, используя инициативу создателей данного Проекта, неплохо было бы рассматривать ЦБП как пилотную отрасль для внедрения современных принципов экологического нормирования в другие отрасли и в российскую промышленность в целом. Тем более, что ЦБП – одна из наиболее проблемных отраслей в экологическом плане, и потому ее опыт в решении данной задачи будет особенно ценен.

Концепция Проекта. Один концептуальный вопрос, решаемый в обсуждаемом Проекте, был уже упомянут выше – переход от нормирования отдельных соединений и компонентов сбросов (выбросов) на ограниченное число интегральных нормируемых экологических показателей по отраслевому принципу, что уже принято в промышленно развитых странах. Однако

разработчики Проекта не слепо копировали число и вид нормируемых показателей, принятых в этих странах, а попытались учесть и отечественную специфику. Так, кроме общепринятых, в частности, в странах ЕС компонентов сбросов (ХПК, БПК, ОБВ (общее количество взвешенных веществ), АОХ, $N_{\text{общ}}$, $P_{\text{общ}}$) и выбросов (суммарная газообразная сера, NO_x , ВВ), в нормы были введены такие дополнительные показатели, как расход сточных вод (хорошо коррелирующийся с расходом свежей воды на технологические нужды) и расход энергии. С чем связаны эти дополнения?

ЦБП вообще является одной из отраслей, потребляющих свежую воду в больших количествах. При этом количество как свежей воды, так и сточных вод существенно выше, чем на среднем европейском предприятии того же профиля. Причем это относится не только к отсталым в техническом отношении, но часто и к передовым предприятиям российской ЦБП. Такое положение в большинстве случаев связано с более низким, чем в Европе, уровнем внедрения передовых технологий и оборудования, однако проблема не исчерпывается этим. Завышенные объемы стоков в значительной степени обусловлены невысокой культурой производства, низкой степенью использования оборотных вод на наших предприятиях. Этому также способствует существующая система текущего контроля за сбросом загрязняющих веществ по их концентрации в сточных водах, вследствие чего на некоторых предприятиях проблему завышенного содержания отдельных компонентов в стоках решают их разбавлением свежей водой перед сбросом в водоприемник, что существенно повышает как расход свежей воды, так и объем сточных вод.

В то же время чистая вода с усилением техногенного воздействия человека на природу становится все более ценным природным ресурсом, нуждающимся в охране, бережном отношении и контроле потребления. Остро проблема чистой воды стоит и в ряде промышленных регионов России, где расположено большинство предприятий ЦБП. Водоподготовка, особенно, питьевой воды уже давно стала достаточно дорогим процессом, в значительной степени обуславливающим и без того невысокое качество нашей жизни.

По совокупности приведенных выше обстоятельств в Проекте было решено нормировать количество сточных вод. Такой путь, по нашему мнению, более продуктивен, чем повышение цены на свежую воду, которое снизит и без того невысокую конкурентоспособность отечественной продукции на мировом рынке.

Другим показателем, включенным в нормы сверх тех, что приняты для ЦБП в Европе, является расход энергии. Хотя в предлагаемых нормативах мы пошли дальше многих стран, нормируя расход энергии, тем не менее значимость этой проблемы не раз отмечалась и в ряде европейских экологических документов, в частности в руководстве IPPC по НСТ (BREF), где приводятся данные по энергосбережению, а также технологии, позволяющие минимизировать расход как тепловой, так и электрической энергии, в том числе и когенерация энергии и т.д. Это в значительной степени связано

с тем, что в последние десятилетия потребление энергии, напрямую сопряженное с ее производством, стало одной из важных экологических характеристик, поскольку выработка энергии сопровождается выбросами в атмосферу миллионов тонн углекислого газа и диоксида серы, сотен тысяч тонн оксидов азота и других вредных соединений, если энергия производится из ископаемых топлив, а также продуктов их переработки, или с наличием ряда серьезнейших и весьма дорого и трудно разрешимых проблем, как в случае переработки ядерных отходов при использовании атомной энергии для выработки электричества и тепла. Исключением, как известно, является лишь применение в качестве топлива древесины, поскольку в данном случае выделяемое при ее сжигании количество диоксида углерода соответствует его количеству, потребленному из атмосферы при росте деревьев. Однако доля биоресурсов в общем производстве энергии для промышленности еще весьма невелика.

Большая всемирная значимость этой проблемы и ее экологический характер обусловлены существенным изменением климата планеты, которое мы ощущаем уже сегодня в результате изменения состава атмосферы, вызванного, по мнению большинства ученых, преимущественно «парниковым» эффектом, за который ответственно, главным образом, огромное количество диоксида углерода, непрерывно выбрасываемого в атмосферу в результате техногенной деятельности человечества.

Безусловно, основным стимулом для сокращения расхода энергии является высокая стоимость энергоресурсов. Однако для дополнительного стимулирования этого процесса, исключительно важного с экологической точки зрения, было решено нормировать расход тепловой и электрической энергии при производстве всех основных видов целлюлозно-бумажной продукции.

Другим концептуальным решением является переход при количественной оценке сбросов и выбросов нормируемых компонентов от значений, выраженных в виде их массы в единицу времени (сутки, месяц, квартал, год) или в виде концентраций, к их удельным величинам в расчете на 1 т продукции. Принятые сегодня нормируемые показатели непосредственно не характеризуют своей величиной (т.е. без учета целого ряда дополнительных показателей) технический уровень отдельных производств, входящих в состав интегрированного предприятия. По каждому нормируемому показателю (компоненту) имеется результат «на конце трубы», который должен соответствовать нормативному, т.е. ПДС этого компонента по предприятию в целом. Таким образом, функционирует система некоего «черного ящика», где перемешивается ряд совершенно разных потоков, никак не связанных с нормативами для отдельных производств в составе интегрированного предприятия.

В отличие от рассмотренной выше существующей системы нормирования предлагаемая в Проекте система учитывает специфику не только предприятия в целом (например, сульфат-целлюлозный комбинат), но и всех основных производств, входящих в его состав, и даже побочных произ-

водств (производство тепловой и электрической энергии, ДВП и т.д.). Для каждого отдельного производства, характерного для ЦБП в целом (сульфат- или сульфит-целлюлозное, производство бумаги и картона наиболее типичных видов, механических или макулатурных масс), разработаны удельные (на 1 т продукции) нормы, соответствующие современному уровню его технологии и оборудования.

Таким образом, нормирование по предлагаемой системе учитывает не только характер интегрированного предприятия в целом, но и характер всех входящих в его состав основных производств при современном техническом уровне. Естественно, что такие нормы являются значительно более прогрессивными, а нормативные значения экологических показателей для каждого предприятия, рассчитанные на их основе, более обоснованными и понятными по сравнению с действующими. Именно такое нормирование по основным видам производства на базе удельных показателей реализовано в странах ЕС и в других промышленно развитых странах.

Одним из важнейших принципов, входящих в концепцию предложенной системы экологического нормирования, является стимулирование внедрения на предприятии НСТ, причем не только в области очистки сточных вод, газовых выбросов и утилизации твердых отходов, но и, прежде всего, в области технологии основных производственных процессов. Это обусловлено тем, что способы очистки сбросов и выбросов, как правило, не способствуют повышению количества и качества продукции и весьма затратны как в смысле капитальных вложений, так и эксплуатационных расходов, увеличивая себестоимость продукции. (Исключением, по-видимому, можно считать лишь утилизацию некоторых видов твердых отходов (кора, древесные и волокнистые отходы), которые позволяют получить энергию от их сжигания или какие-нибудь ценные продукты, стоимость которых превышает себестоимость их утилизации.) Эксплуатационникам и разработчикам новых технологий и оборудования уже давно стало ясно, что значительно дешевле и целесообразней предотвратить (или заметно снизить) появление загрязнений в основном процессе, чем затем удалять их до допустимого уровня на очистных сооружениях. Поэтому в мировой практике последние тридцать лет уже безальтернативно действует принцип, согласно которому самая эффективная технология с точки зрения качества или количества основного продукта не получит «путевку в жизнь», если она связана даже с незначительным увеличением количества эмиссий и/или их вредности. Преимущества использования новых технологий и конструкций оборудования в основном процессе сочетаются с улучшением, часто весьма значительным, экологических показателей по сравнению с существующими технологиями (оборудованием) того же назначения. Поэтому значения всех удельных нормативов сбросов и выбросов приняты с учетом возможности их достижения только при достаточно высоком уровне внедрения на предприятии лучших из используемых на практике технологий. Необходимость соответствия таким нормативам заставляет предприятие, даже если его из-за необходимости высоких капитальных вложений недостаточно стимулирует

производственная и итоговая экономическая привлекательность НСТ, все-таки внедрять эти технологии по экологическим соображениям для соответствия нормам, иначе его будут ожидать достаточно жесткие санкции со стороны природоохранных государственных органов.

Важной частью Проекта является также новый вариант Инструкции по подготовке, рассмотрению и утверждению комплексного разрешения на природопользование на основе использования НСТ и предлагаемых экологических нормативов процессов ЦБП, учитывающей опыт, накопленный при выдаче подобных разрешений как отечественными, так и европейскими природоохранными государственными органами. Концептуально новыми положениями данного раздела Проекта для природоохранного законодательства РФ являются соблюдение принципа «одного окна» при реализации комплекса процедур по получению предприятием упомянутого разрешения и гласная защита предприятием заявки на его получение, затрудняющие предвзятые решения со стороны отдельных природоохранных структур (подробнее об этом в последующих публикациях).

Некоторые проблемы, оставшиеся за рамками Проекта. Разработка на основе НСТ нормативных удельных значений важнейших интегральных показателей, характеризующих сбросы и выбросы основных производств любой отрасли промышленности, безусловно является важнейшей задачей, с которой необходимо начинать модернизацию общей системы экологического нормирования любой отрасли промышленности. Однако решение упомянутой задачи не исчерпывает всех проблем, связанных с модернизацией такой системы. В полной мере это относится и к целлюлозно-бумажной промышленности.

8

В частности, нормирование на основе НСТ, как отмечено выше, показывает возможность достижения низких значений эмиссий от функционирования основного производства, что в большинстве случаев должно позволить предприятию уложиться в обычно довольно жесткие значения ПДС и ПДВ. Тем не менее, известно, что сами ПДС для нормируемых компонентов, утверждаемые предприятию, не привязаны к экологическим нормативам, что вполне естественно, а обусловлены гидрологическими параметрами и аккумулирующей емкостью природного водного объекта, куда сбрасываются сточные воды, а также ПДК каждого нормируемого компонента (для ПДВ – состоянием атмосферы в зоне расположения предприятия, рядом метеорологических факторов и также ПДК компонента). Поэтому не исключена ситуация, когда даже в случае соблюдения предприятием удельных экологических нормативов, разработанных с учетом использования достаточно передовой технологии основного производства, оно не сможет обеспечить спущенные ему значения ПДС или ПДВ по некоторым показателям.

Элементарная логика требует, чтобы при выполнении норм, разработанных на основе НСТ, предприятие не платило штрафы за нарушение экологической обстановки. В то же время очевидно, что состояние водного объекта и атмосферы было, есть и должно оставаться приоритетным при любой системе нормирования. Поэтому в рассматриваемом случае у пред-

приятия имеется три выхода из приведенной сложной ситуации: экстенсивный путь, связанный с увеличением мощности (в лучшем случае – эффективности) очистных сооружений; крайне нежелательное сокращение объема производства; внедрение еще более эффективных технологий основного производства, которые позволят достигнуть значений ПДС и/или ПДВ по проблемным для предприятия показателям при необходимой для него производительности. Именно последний путь наиболее часто реализуется серьезными зарубежными, например скандинавскими и северо-американскими, компаниями. При этом необходимо иметь в виду, что предлагаемые в Проекте нормы соответствуют некоторому среднему европейскому уровню модернизации и оставляют предприятиям еще весьма значительные резервы для дальнейшего повышения экологичности основного производства, что при использовании НСТ практически всегда сочетается со значительным экономическим эффектом. Необходимо отметить, что, например, в странах ЕС экологически образцовые предприятия имеют значения нормируемых показателей, как правило, в 2–4 раза ниже, чем у аналогичных по профилю предприятий со средним уровнем модернизации.

Изложенная выше ситуация также привлекает внимание к значениям ПДС, которые, как показала длительная практика использования этого показателя, очень часто являются неоправданно жесткими. Это создает для предприятий массу проблем, требуя от них чрезмерно больших расходов на соответствующие природоохранные мероприятия или на непомерные штрафы за превышение ПДС, что существенно снижает конкурентоспособность их продукции на рынке. Будучи не в состоянии нести такие расходы, предприятия способствуют коррупции в природоохранных органах, «покупая» приемлемые для себя значения временно согласованных сбросов (ВСС) и выбросов (ВСВ), которые зачастую становятся постоянными.

Упомянутая выше неоправданная жесткость значений ПДС, в свою очередь, обусловлена рядом причин. Прежде всего, как неоднократно отмечалось в различных публикациях, при расчете ПДС используются неоправданно низкие значения ПДК, являющейся одним из базовых показателей при выполнении этого расчета. Например, известны случаи, когда фоновые концентрации некоторых соединений в природных водных объектах превышали значения ПДК для данных веществ, хотя за годы наблюдений в этих водоприемниках сохранялись неизменными биоразнообразие и биопродуктивность и вся экосистема функционировала нормально. Кроме того, значения ПДК часто являются заниженными, поскольку в недостаточной степени учитывают экологическую емкость водного объекта, его регенерирующую способность, а сами методики расчета ПДС, предлагаемые в последние годы, из-за сложности компьютерных программ требуют использования коэффициентов, недостаточно точно учитывающих специфику конкретного природного водного объекта. Это делает конечный результат зависимым от выбранной для расчета программы и, следовательно, от квалификации ее составителей, которые не всегда полно и точно учитывают все необходимые показатели. Не исключено, что такая ситуация с расчетом ПДС может при-

вести к тому, что разрешения на сброс загрязняющих веществ (ЗВ) на один и тот же период времени, выдаваемые предприятию различными природоохранными ведомствами, будут содержать существенно различающиеся (по некоторым веществам – в разы) значения ПДС. Вероятно, определенную роль играют использованные при расчете ПДС значения ПДК, отличающиеся вследствие различий требований к качеству воды в водоприемнике у природоохранных ведомств. Однако, чем бы ни объяснялся данный факт, совершенно парадоксально предписывать предприятию соблюдение не одного значения ПДС по каждому нормируемому компоненту сточных вод, а того их количества, которое соответствует числу природоохранных структур, отвечающих за состояние воды в водных объектах данного региона.

Кроме того, следует отметить, что сегодня законодательством не предусмотрена обязательная независимая экспертиза расчета ПДС, а вопрос о необходимости исправления дефектов методики его расчета в целях более тонкого учета особенностей конкретного водного объекта и специфики каждой отрасли центральными государственными природоохранными органами даже не ставится.

Если речь идет о сбросе водопользователем ЗВ в природный водный объект, в который осуществляют сброс токсичных стоков и другие предприятия, то может сложиться ситуация, когда даже прогрессивные удельные нормы сброса, базирующиеся на использовании предприятием НСТ, а также грамотно рассчитанные ПДС будут не в состоянии предотвратить деградацию водного объекта. В этом случае, вероятнее всего, было бы целесообразно и справедливо для определения нормы сброса ЗВ каждым предприятием использовать принцип квотирования. Однако в настоящее время еще ответственно не сформулированы критерии, на основе которых должен проводиться этот весьма щепетильный процесс, фактически полностью отсутствует обоснованная тщательно продуманная методика квотирования сбросов и выбросов, которую можно было бы рекомендовать для практического применения. Это тоже важная проблема, требующая самостоятельной проработки.

Широкие специальные исследования, учитывающие особенности каждой конкретной отрасли промышленности, необходимы для нормирования твердых отходов. Эта проблема не решена и в Европе. В частности, крайняя скудость, большой разброс и несопоставимость данных по твердым отходам предприятий ЦБП отмечены в упоминавшемся выше европейском справочнике BREF.

Требуют значительной и трудоемкой работы сбор и обработка данных для нормирования побочных и некоторых вспомогательных производств целлюлозно-бумажных комбинатов, сбросы и выбросы которых могут заметно увеличивать общее количество эмиссий, поступающих от ЦБК в окружающую среду.

Было бы неверно критиковать в целом всю систему экологического нормирования технологических процессов, существующую сегодня в России. Большинство ее положений логичны и продуктивны. Будучи модерни-

зированной и дополненной в соответствии с передовым европейским и мировым опытом, а также с учетом тех недоработок и ошибочных моментов, которые выявила многолетняя практика применения, наша система нормирования вполне сможет способствовать снижению давления промышленности на окружающую среду, став важнейшим инструментом этого процесса.

Упомянутые выше проблемы, относящиеся к общей системе экологического нормирования технологических процессов, естественно, не могут быть решены в рамках одного, даже крупного отраслевого проекта. Их решение требует прежде всего воли со стороны высших государственных природоохранных структур типа МПР РФ, Ростехнадзора и т.п. Однако обозначить хотя бы некоторые из этих проблем, учитывая характер данной статьи, было необходимо.

СПбОО «Экология и бизнес»
Поступила 18.04.07

E.I. Hermer

**Modern Concept of Ecological Rationing of Technological Processes of Pulp-and-Paper Production and Possible Ways of its Realization in Russia.
1. On Draft New System of Ecological Rationing – Prerequisites of its Emerging and Conceptual Solutions: Problems beyond Project**

The main drawbacks of the Russian system of ecological rationing for technological processes of PPP are considered. The necessity of this system modification is discussed based on the principle of introduction of the best existing technologies taking into account the experience accumulated in this area by advanced industrial countries. Some issues are pointed out to be studied for improving the ecological rationing of PPP processes.

УДК 661.183.2

О.А. Калиничева, Н.И. Богданович, Г.В. Добеле

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



ПРЕДПИРОЛИЗ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В СИНТЕЗЕ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ С NaOH

Экспериментально доказано, что предварительная карбонизация древесного сырья в процессах синтеза активных углей термохимической активацией с NaOH является действенным фактором регулирования их адсорбционно-структурных свойств, повышения выхода и снижения расхода реагента.

Ключевые слова: древесина, кора, активация химическая, активные угли.

При получении активных углей (АУ) методами химической активации используют, главным образом, некарбонизованные древесные материалы. Под воздействием активирующих агентов при нагреве до температуры 400...700 °С происходит превращение такого сырья в АУ [3]. При этом кислород и водород избирательно удаляются из углеродсодержащего материала с одновременной его карбонизацией и активацией. Использование гидроксид натрия в качестве активирующего агента ограничивается, в первую очередь, по причине высоких его расходов на активацию из-за высокого содержания кислорода в сырье и сложности регенерации отработанных промывных растворов [1, 2].

Кислород, входящий в структуру макромолекул различных компонентов древесины, выделяется при пиролизе и связывается в избытке NaOH преимущественно в виде Na_2CO_3 , что инактивирует основной реагент и приводит к его перерасходу. Возникает необходимость в искусственном науглероживании исходного сырья, снижении содержания в нем элементного кислорода без заметного снижения содержания водорода.

Одним из методов науглероживания является термическая предобработка (предпиролиз) сырья, приводящая к удалению кислорода в виде кислородсодержащих газов, в основном в виде CO_2 и низкомолекулярных карбоновых кислот. При температуре предпиролиза 300 °С выход науглероженного материала составляет около 55 % от абс. сухой древесины, при этом содержание кислорода в нем снижается с 46,1 до 22,3 %, т. е. более чем в 2 раза, при снижении содержания водорода с 6,5 до 5,4 %. Повышение температуры предпиролиза до 400 °С приводит к дальнейшему снижению

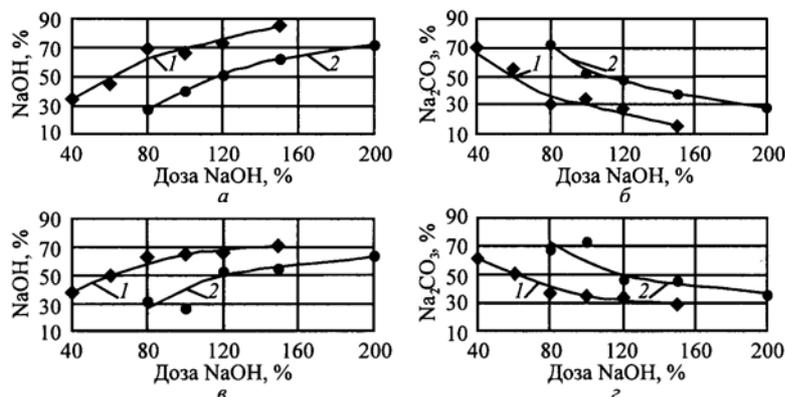


Рис. 1. Зависимость содержания NaOH Na_2CO_3 в щелоче от дозы NaOH и температуры предпиролиза: *а, б* – АУ из березовых опилок; *в, г* – АУ из коры ели; *1* – 450 °С, *2* – 300 °С

выхода науглероженного материала до 40 %, содержание кислорода в нем падает до 19,0 % (почти на 60 %), содержание водорода составляет около 5,0 % (снижается на 25 %) [4].

Не исключается, что количество щелочи, необходимой для получения углеродных адсорбентов, можно регулировать, контролируя содержание гидроксида и карбоната натрия в водных экстрактах, полученных при промывке карбонизованных продуктов водой. На рис. 1 представлено изменение количества NaOH и Na_2CO_3 (в ед. Na_2O) в промывных растворах в процентах от расхода (дозы) NaOH , вводимого в карбонизованный материал перед термохимической активацией. Предпиролиз сырья (карбонизацию) проводили при температурах 300 и 450 °С.

Как следует из полученных зависимостей повышение температуры карбонизации сырья (березовые опилки, кора ели) приводит к существенному снижению образования Na_2CO_3 и соответствующему росту количества NaOH в промывной воде. С повышением расхода NaOH на активацию разница в содержании указанных реагентов снижается, так как абсолютное количество инактивированной в результате карбонизации щелочи не существенно зависит от ее расхода.

Из полученных нами экспериментальных данных следует, что при повышении температуры предпиролиза до 400 ... 450 °С расход реагента на активацию снижается в 1,5–2,0 раза, причем выход АУ из опилок возрастает с 17 до 20 % в расчете на абс. сухое вещество, а адсорбционные свойства изменяются незначительно. Выход активированного угля из коры также увеличивается при повышении температуры предпиролиза, причем АУ из коры образуется на 20 ... 30 % больше, чем из опилок, т. е. 19 ... 27 % в расчете на исходное сырье. Дальнейшее повышение температуры предобработки не приводит к улучшению адсорбционных свойств полученных углей, а значит, проводить более глубокую карбонизацию исходного сырья становится нецелесообразным.

Наибольшую осветляющую способность по отношению к метиленовому голубому (МГ) показывают АУ, полученные из опилок, карбонизованных перед активацией в течении 3 ч при температуре 300 ... 400 °С. Абсолютное значение адсорбции МГ превышает 600 мг/г для АУ, синтезированных в оптимальных условиях варьирования переменных, что в 2,5 раза превышает требования, предъявляемые к промышленным АУ подобного класса. Повышение температуры предобработки до 400 ... 450 °С приводит к некоторому снижению адсорбции ими МГ, однако при этом резко возрастает адсорбция йода (до 190 ... 200 %) и, особенно, гексана. Адсорбция гексана отдельными образцами АУ достигает 620 мг/г, что свидетельствует о формировании узких пор, скорее всего микропор полушириной меньше 0,8 нм. В микропорах размером 0,8 ... 1,6 нм (супермикропоры) могут адсорбироваться не только йод и гексан, но и МГ, адсорбция которого АУ из карбонизованного при температуре выше 400 °С сырья снижается, что косвенно свидетельствует об отсутствии условий для формирования подобных пор.

В аналогичных условиях температурной предобработке подвергалась хвойная кора. АУ из коры также обладают высокими адсорбционными свойствами, превосходящими аналогичные свойства углей, полученных в промышленных условиях. Однако осветляющая способность по метиленовому голубому АУ из коры несколько ниже, чем АУ из опилок, а сорбция по йоду и гексану, наоборот, выше. Вероятно, это связано с тем, что кора имеет отличное от древесины анатомическое строение, содержит значительно меньше структурированных клеточной стенкой пор и более подвержена пластическим деформациям лигнинных веществ при нагреве.

Влияние продолжительности термообработки на стадии предпиролиза при подготовке исходного сырья к последующему активированию с NaOH представлено в табл. 1. Следует отметить, что продолжительность предпиролиза оказывает воздействие на науглероживание, аналогичное температурному, однако этот процесс связан с кинетическими факторами.

Таблица 1

Влияние продолжительности предпиролиза на выход и свойства активного угля

Продолжительность предпиролиза, мин	Выход, % от абс. сухого сырья	Сорбционная активность, %		Осветляющая способность по МГ, мг/л	Насыпная плотность, кг/л
		по I ₂	по гексану		
Березовые опилки					
60	17,4	174,4	547,1	733,0	0,07
90	18,9	189,9	544,8	689,8	0,07
120	17,6	164,5	505,5	636,7	0,07
150	17,4	169,8	503,1	631,4	0,07
Кора ели					
60	20,7	152,3	419,6	588,4	0,16
90	20,8	177,1	496,6	648,7	0,14
120	21,7	179,5	485,4	622,1	0,15
150	21,7	175,2	478,8	677,6	0,15

Анализ полученных экспериментальных данных свидетельствует о том, что влияние продолжительности предпиролиза при заданной температуре (400 °С) несущественно сказывается на выходе АУ из древесины (древесные опилки), но благоприятно (пусть и незначительно) влияет на выход АУ из коры. При этом выход АУ из коры всегда остается выше, чем из опилок при одинаковых условиях термообработки.

Из табл. 1 видно, что с ростом продолжительности предпиролиза от 60 до 150 мин адсорбционная активность АУ по йоду и гексану увеличивается при использовании коры в качестве сырья. Также увеличивается и их осветляющая способность по МГ, достигая максимума при продолжительности предпиролиза 150 мин. При изменении продолжительности предпиролиза в данном интервале времени сорбционные свойства активных углей, полученных из опилок, уменьшаются. Поэтому при использовании в качестве сырья для получения АУ из древесных опилок становится возможным снизить продолжительность предварительной термообработки до 60 мин.

На основании приведенных выше данных можно сделать вывод, что предположения о возможности снизить расход NaOH за счет предварительного науглероживания исходного сырья нашли свое подтверждение. Более того, при науглероживании путем температурной предобработки несколько возрастает выход угля без существенного изменения его адсорбционных свойств. Однако все приведенные выше результаты были получены в одинаковых условиях термохимической активации с NaOH. Вместе с тем не исключается, что при варьировании температурно-временных параметров активации карбонизованного сырья процесс формирования пористой структуры, а значит, и адсорбционных свойств АУ будет протекать иначе по сравнению с использованием для данной цели исходных сырьевых материалов.

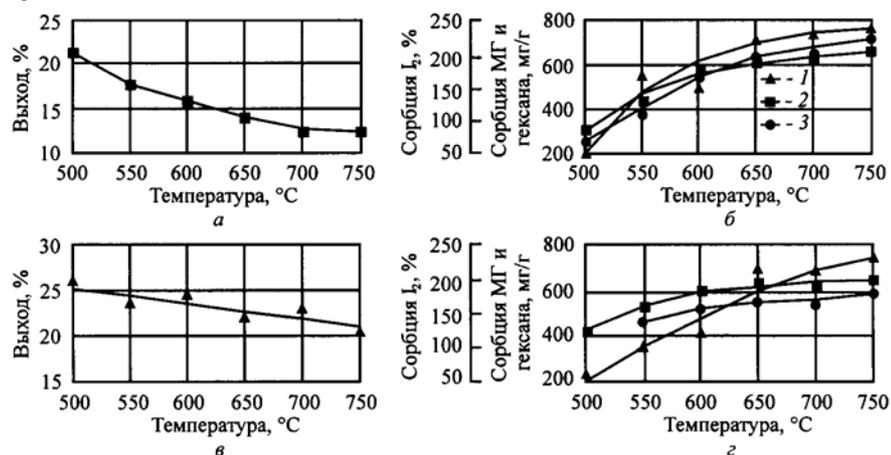


Рис. 2. Зависимость характеристик активного угля от температуры пиролиза: а, б – АУ из березовых опилок; в, г – АУ из коры ели; 1 – МГ; 2 – I₂; 3 – гексан

Таблица 2

Влияние продолжительности пиролиза на выход и свойства активного угля

Продолжительность пиролиза, мин	Выход, % от абс. сухого сырья	Сорбционная активность, %		Осветляющая способность по МГ, мг/л	Насыпная плотность, кг/л
		по I ₂	по гексану		
Березовые опилки					
20	22,5	91,9	154,1	120,4	0,16
40	18,5	165,6	355,7	409,8	0,11
60	15,8	194,1	545,0	492,8	0,09
80	14,6	178,0	554,1	698,2	0,09
100	15,1	196,0	600,2	508,9	0,07
Кора ели					
20	26,9	127,9	362,7	238,5	0,25
40	23,0	171,5	474,0	399,5	0,21
60	24,6	183,3	515,4	413,4	0,22
80	21,3	185,3	541,9	611,9	0,20
100	21,4	191,3	514,3	692,7	0,15
120	20,5	188,0	–	543,7	0,22

Для выяснения данного вопроса предварительно карбонизированное при температуре 400 °С в течении 3 ч сырье подвергали активированию с NaOH при различных температурах и продолжительности. Полученные данные приведены на рис. 2 и в табл. 2. Полученные экспериментальные данные подтверждают, что выход АУ из карбонизированной коры остается более высоким по сравнению с выходом из карбонизированных опилок. Сорбционные свойства активных углей практически полностью формируются при активации с NaOH в течении 60 мин. Температура активации благоприятно влияет на адсорбционные свойства АУ во всем исследуемом интервале, однако из практических соображений, в том числе и на основании данных о выходе углей, ее следует ограничивать на уровне около 650 °С. В условиях как предпиролиза, так и последующего активирования, в основном, заканчивается формирование пористой структуры углей, ответственных за адсорбцию как из жидкой (йод, МГ), так и газовой (гексан) фазы.

Таким образом, предварительная термообработка древесного сырья является действенным методом регулирования, в первую очередь, расхода NaOH на термохимическую активацию, а также выхода и, в определенной мере, адсорбционных свойств синтезируемых углеродных адсорбентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович, Н.И. Новые реагенты термохимической активации углеродных материалов в синтезе адсорбентов [Текст] / Н.И. Богданович, Л.Н. Кузнецова, Г.В. Добеле // Углеродные адсорбенты: материалы Второго международного семинара. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2000. – С.16–18.
2. Богданович, Н.И. Термохимическая активация измельченных древесных материалов гидроксидом натрия [Текст] / Н.И. Богданович, Н.В. Труфанова, С.М.

Фадеев [и др.] // Актуальные проблемы адсорбции, модифицирования поверхности и разделения веществ: материалы VII Всерос. симп. – М.: ИФХ РАН, 2002. – С.158.

3. Кинле, Х. Активные угли и их промышленное применение [Текст] / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.

4. Козлов, В.Н. Технология пирогенетической переработки древесины [Текст] / В.Н. Козлов, А.А. Нимвицкий. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. – 619 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 26.02.08

O.A. Kalinicheva, N.I. Bogdanovich, G.V. Dobele

**Pre-pyrolysis of Wooden Raw Material in Synthesis of Active
Coals with NaOH**

It is proved experimentally that pre-carbonization of wooden raw material in the synthesis processes of active coals by thermochemical activation with NaOH is the effective regulative factor of their adsorption-and-structural properties, yield increase and reagent discharge reduction.



УДК 630*6

М.Д. Некрасов

Некрасов Михаил Дмитриевич родился в 1929 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник Института экономики Карельского НЦ РАН, заслуженный работник культуры Карельской АССР. Имеет более 170 научных публикаций в области экономики лесного и охотничьего хозяйства, лесной промышленности.

**ОСОБЕННОСТИ САМООКУПАЕМОСТИ
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Рассмотрены потенциальные источники самоокупаемости лесохозяйственного производства.

Ключевые слова: лесохозяйственное производство, лесные культуры, рентабельность.

Специфической особенностью лесного хозяйства является чрезвычайно длительный период лесовыращивания, измеряемый несколькими десятилетиями (для хвойных пород на Севере от 100 лет и более). Эта особенность накладывает заметный отпечаток на функционирование отрасли, ее экономику и приводит к ограничению масштабов вложений материальных, финансовых и трудовых ресурсов в развитие лесохозяйственного производства, поскольку получение продукции также растягивается на значительный срок. Поэтому усложняется переход лесного хозяйства на полную самоокупаемость.

В советское время вопросам развития лесного хозяйства, особенно на севере страны, не уделялось должного внимания. Отрасль финансировалась по остаточному принципу. В результате имеем низкий уровень его интенсивности, слабую техническую базу, большую изношенность основных фондов, неудовлетворительную оснащенность новейшими машинами и механизмами, квалифицированным персоналом, инвестициями.

Каковы же потенциальные источники финансирования лесохозяйственной отрасли? На наш взгляд, их может быть несколько. Нужно помнить, что не каждый вид работ в лесном хозяйстве дает реальный доход. Так, создание лесных культур (посев, посадка), лесоустройство, охрана и защита леса требуют бюджетного финансирования, потому что их продукцию не

всегда и не сразу можно исчислить в денежном выражении и оперативно реализовать (продать). Здесь произведенные затраты окупаются в течение длительного срока. Элементы самокупаемости, в первую очередь, можно применить к тем лесохозяйственным работам, в процессе которых производится продукция, обладающая потребительной стоимостью, имеющая устойчивый сбыт и дающая доход. Это продукция от рубок промежуточного пользования лесом, или рубок ухода, лесомелиорации (дополнительный ежегодный прирост биомассы), семена, сеянцы и саженцы, продукция побочного пользования (грибы, ягоды и др.). Другие немаловажные источники – поступления от платы за лес на корню, аренды лесфонда, рентных платежей и санкций за лесонарушения. Рассмотрим возможность использования конкретных источников как основы наиболее полного финансирования лесного хозяйства.

Важным и дорогостоящим лесохозяйственным мероприятием являются лесокультурные работы, или восстановление лесов на вырубках. В Карелии, например, неплохо развито производство посадочного материала, создана надежная база, функционируют 9 базисных и 13 временных питомников, 4 тепличных комплекса по выращиванию сеянцев с закрытой корневой системой. Карелия в числе первых субъектов Федерации начала внедрять эту передовую технологию, что позволяет сократить срок выращивания в 3-4 раза, эффективно использовать дорогостоящие семена, максимально продлить срок посадки, облегчить и улучшить организацию лесокультурных работ, сократить уходы за посадками, повысить приживаемость одно- и трехлетних культур в различных лесорастительных условиях [5]. Дальнейшее развитие и рост масштабов производства посадочного материала с закрытой корневой системой во многом зависят от размеров финансирования, необходимого для осуществления этого мероприятия, в связи с чем необходимы адекватные меры для снижения уровня материальных затрат и денежных средств на выращивание и применение таких сеянцев.

Наши исследования показали, что в структуре себестоимости выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в теплицах в расчете на 300 тыс. шт. наибольшие затраты приходились на заработную плату (48,8 ... 55,3 % в зависимости от породы), приобретение кассет-ячеек (21 ... 32 %), пленку (6...7 %), торф (3...4 %), семена (1,3 ... 4,0 %), электроэнергию (2,2 ... 3,0 %), прочие (6...7 %). Значительные расходы на оплату кассет-ячеек объясняются тем, что их закупают по сравнительно высокой цене за рубежом: в Швеции для ели, Финляндии для сосны. Торф для теплиц завозят из Ленинградской области и Финляндии.

Резервы снижения себестоимости выращивания сеянцев с закрытой корневой системой заключаются, прежде всего, в полной механизации всех операций производственного процесса, 55 ... 76 % которых выполняются вручную. Максимальная механизация за счет применения современных машин и механизмов приведет к росту производительности труда, снижению трудозатрат и уменьшит себестоимость выращивания сеянцев. Желательно организовать производство кассет-ячеек в нашей стране, а также изыскать

возможности замены привозного торфа своим, карельским. Целесообразно применять комплексные удобрения отечественного производства, что сокращает трудозатраты на внесение питательных веществ в субстрат и уменьшает себестоимость производства сеянцев [1].

Реализация посадочного материала с закрытой корневой системой осуществляется в ряд лесхозов, где это мероприятие не организовано, в акционерные общества, арендующие лесной фонд, и даже в соседние северные регионы. Пока рентабельность таких сеянцев недостаточна. Однако сеянцы с закрытой корневой системой имеют высокое качество, хорошую приживаемость, меньший отпад и выбраковку, ускоренный рост, позволяющий снимать больше продукции с единицы площади в единицу времени. Поэтому целесообразно расширять масштабы выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. Между предприятиями-производителями необходимо активно развивать конкуренцию за высокое качество данной продукции, которая имеет спрос, позволяющий маневрировать ценами, и может стать прибыльной, рентабельной.

Выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой и его реализация арендаторам лесфонда станет расти и совершенствоваться. Полученный доход необходимо использовать только на лесокультурные работы. Дополнительные средства можно получить также и от продажи оставшихся лесных семян.

В Карелии осуществлена передача лесосечного фонда в долгосрочную аренду. Получив лесные делянки на 10 ... 25 лет, лесопромышленники смогли составить долгосрочные бизнес-планы, взять кредиты в банках и начать коренную модернизацию всего производственного процесса. Кроме платы за аренду лесопокрытых площадей промышленники обязаны вносить попенную плату, именуемую попенной или таксовой ценой. Она практически является отпускной ценой леса на корню и служит одним из элементов, образующих оптовую цену лесоматериалов. В настоящее время попенная плата незначительна, ее доля в себестоимости продукции равна всего 10 ... 12 %, в западноевропейских странах – 1/3. В России плата за 1 м³ древесины на корню в среднем в 4-5 раз меньше, чем в скандинавских странах, США и Японии. Поэтому, на наш взгляд, целесообразно значительно увеличить размер лесных такс, что будет способствовать рационализации лесопользования. Однако плату следует повышать постепенно, иначе может затормозиться рост объемов лесозаготовок. И здесь без контроля со стороны государства не обойтись. Лесной доход, полученный от продажи леса на корню и аренды, явится одним из источников финансирования лесного хозяйства, отчислений в местный бюджет и на нужды федерального органа управления лесами (финансирование научных исследований, информационного обеспечения, подготовки кадров и др.). Мобилизация и аккумуляция лесного дохода происходит на нижнем уровне, в лесничествах (лесхозах). Поэтому необходим правовой статус лесничего и других работников аппарата управления лесами. Целесообразно, чтобы значительная часть полученных средств направлялась в доход предприятия, осуществляющего охра-

ну и защиту лесов, их воспроизводство. Платить за древесное сырье должны потребители древесины – деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, строительство, железнодорожный транспорт, угольная отрасль и т. д.

Расчеты, выполненные с анализом производственных данных, показывают, что наибольший экономический эффект от рубок ухода за растущим лесом достигается при комплексном использовании заготовленной древесины, т. е. в результате переработки всей заготовленной биомассы дерева. Если получение продукции от таких видов рубок ухода, как осветления, прочистки, прореживания, пока в основном убыточно, то реализация древесины от проходных и санитарных рубок дает прибыль с рентабельностью от 10 до 30 % [2]. Исполнителями рубок ухода должны быть акционерные общества – арендаторы лесфонда.

Заготовка и реализация продукции побочного пользования лесами (грибы, ягоды, лекарственные растения, живица, луб, кора, березовый сок и др.) экономически выгодна для предприятий и населения. Заинтересованность сборщиков грибов и ягод достигается высокими закупочными ценами. Реализация грибов и ягод в торговую сеть по оптовым ценам выгодна для предприятий-заготовителей. Уровень рентабельности от продажи ягод достигает 30 ... 40, грибов – 20 ... 30 %. Рентабельна в основном и заготовка лекарственных растений, березового сока, живицы. Целесообразно, чтобы лесохозяйственники составили карты-схемы размещения этих даров леса по территории лесного фонда, что позволит заготовителям сократить время, затрачиваемое на их поиск и сбор. По оценке ученых, запасы съедобных грибов, например в Карелии, превышают 100 тыс. т, а заготавливается пока всего 5 ... 10 % от запаса.

Следовательно, есть основания считать, что продукция от промежуточного и побочного пользования лесом при определенных условиях экономически выгодна. Достаточно высокая рентабельность этих видов работ позволяет перевести их на финансирование по принципу самокупаемости.

Лес является местом обитания охотничье-промысловых зверей и птиц. В лесах водятся медведи, лоси, олени, волки, лисицы, зайцы, рыси, кабаны, глухари, куропатки, тетерева и масса других обитателей. Так, в Карелии численность охотничьих животных составляет не менее 260 тыс. экземпляров (по данным 2005 г.); охотники же официально отстреливают в год лишь до 10 % этого количества [4], получая платные лицензии на добычу определенных зверей и птиц. Охотничьи хозяйства вносят плату за аренду охотничьих угодий в лесном фонде. Представляется целесообразным ввести плату за использование охотничьих ресурсов как одного из компонентов природных ресурсов, а полученные средства направлять на развитие лесного хозяйства.

Лесоосушение способствует увеличению текущего прироста, например в Карелии до 3...4 м³ /га при среднем фактическом приросте 1,2 м³ /га. Основной экономический эффект от осушения лесных земель в виде денежной оценки полученной и реализованной дополнительной древесины насту-

пит за пределами расчетного периода. Поэтому необходимо принимать во внимание фактор времени. Вместе с тем, исходя из существующих оптовых цен на древесину, уровня организации и производительности труда в лесном комплексе, можно ориентировочно рассчитывать условную среднюю прибыль от проведения лесомелиорации. На облесенных болотах она может превысить 10, в заболоченных местах – 6-7, на безлесных болотах – 1 тыс. р./га. Следовательно, продукция от лесосошения тоже может стать объектом купли – продажи и участвовать в процессе самокупаемости лесного хозяйства. Раньше осушением занимались лесомелиоративные станции, теперь лесомелиорация пока не осуществляется.

Лесные территории привлекают много туристов, сборщиков лесных даров, рыбаков-любителей, охотников, просто отдыхающих. Пользование лесным фондом может принести ощутимый доход местному, а также областному и федеральному бюджету. По американским данным, рекреационное использование лесов (включая туризм) дает доход, равный примерно 46 долл. на 1 долл. затраченных средств. С баз отдыха, расположенных в окружении лесов, учитывая их благоприятное влияние на настроение и самочувствие отдыхающих, целесообразно взимать налог в пользу лесного хозяйства, организации, которая заботится о воспроизводстве и сохранении лесов, защите их от пожаров и экологических вредителей.

Одним из источников поступления денежных средств являются применяемые лесничествами жесткие штрафные санкции за несоблюдение лесоводственных и экологических требований со стороны лесопользователей и населения.

Новый Лесной кодекс предусматривает переход от ведомственного к производственному монополизму, при котором всю продукцию лесозаготовок будут выпускать крупные вертикально интегрированные структуры. Земли же лесного фонда остаются в государственной собственности [3]. В связи с этим органы лесного хозяйства не лишаются самостоятельности в выборе методов организации эффективных мероприятий, способствующих получению и реализации рентабельной продукции. Лесной же кодекс – документ масштабный, насыщенный не всегда бесспорными положениями, поэтому его критический анализ требует особого разговора.

Нуждается в повышении уровень жизни работников лесного хозяйства. Необходимо выравнивать зарплату на лесозаготовках и в лесном хозяйстве, где среднемесячная зарплата меньше. Неудовлетворительна обеспеченность работников отрасли жильем, а степень благоустройства имеющегося низка. Не хватает объектов здравоохранения, просвещения, культуры, детских учреждений, торговли и общественного питания. Все это отрицательно сказывается на сохранении постоянных квалифицированных кадров на предприятиях.

Учитывая сказанное, можно считать, что при эффективной организации производства самокупаемость лесного хозяйства вполне реальна. В то же время, зная огромную роль леса в жизни людей (например как поставщика кислорода в атмосферу и производителя рекреационных услуг),

общество может пойти и на определенные временные издержки, выделяя необходимые дополнительные средства из государственного бюджета на воспроизводство, защиту и охрану этого важнейшего природного ресурса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жигунов, А.В.* Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой [Текст] / А.В. Жигунов. – С.-Петербург, 2000. – 293 с.
2. *Некрасов, М.Д.* О самоокупаемости лесохозяйственной деятельности [Текст] / М.Д. Некрасов // Лесн. хоз-во. – 2003. – № 2. – С. 10–11.
3. *Петров, В.Н.* Станет ли лесной кодекс «периодическим изданием» [Текст] / В.Н. Петров // Лесн. хоз-во. – 2007. – № 2. – С. 5–7.
4. *Пухов, В.* Несанкционированное убийство [Текст] / В. Пухов // Северный курьер. – 2006. – 20 февр.
5. *Сянтти, А.* Край лесной [Текст] / А. Сянтти // Северный курьер. – 2004. – 7 июля.

Институт экономики КарНЦ РАН

Поступила 31.05.07

M.D. Nekrasov

Self-repayment Peculiarities of Forestry Production

Potential sources of self-repayment of forestry production are considered.

УДК 630*79:005.1

В.И. Конков

Конков Виктор Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Ленинградский электротехнический институт связи им. М.А. Бонч-Бруевича, в 1992 г. Московский технический университет связи и информатики, кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета Института экономики, финансов и бизнеса Архангельского государственного технического университета, генеральный директор аудиторской фирмы. Имеет более 30 печатных работ в области учета, аудита и контроллинга.

**РОЛЬ КОНТРОЛЛИНГА
В АНТИКРИЗИСНОМ УПРАВЛЕНИИ**

Исследовано применение элементов контроллинга в антикризисном управлении. Сформулированы роль и задачи контроллинга в рамках управленческой концепции в целях обеспечения и сохранения долгосрочной жизнеспособности предприятия.

Ключевые слова: кризисные процессы, антикризисное управление, контроллинг, управленческий процесс.

Циклическое развитие систем сопровождается периодическим наступлением кризисов, что обычно вызвано как субъективными, так и объективными причинами, самой природой социально-экономической системы. Кризисные явления свойственны всей экономике страны, отдельным отраслям, подотраслям и основным хозяйствующим субъектам – предприятиям. На уровне предприятия экономическое положение может быть стабильным, предкризисным, кризисным, на грани банкротства, несмотря на ситуацию в стране и отрасли.

Лесопромышленный комплекс (ЛПК) России, включающий лесозаготовительную, деревообрабатывающую и целлюлозно-бумажную отрасли, в настоящее время не относится к числу ведущих в российской промышленности. Его доля в структуре промышленного производства в 2000-2004 гг. составляла около 4,5 %, занимая по этому показателю лишь 7-е место. Общее число предприятий, функционирующих в сфере лесозаготовок и переработки древесины, превышает 20 тыс., при этом преобладают сравнительно мелкие и средние. ЛПК более остро, чем другие отрасли промышленности, ощутил влияние экономического кризиса 1990-х гг. Начиная с 1993 г., спад производства существенно опережал общероссийские темпы сокращения выпуска продукции, и в последующие годы разрыв увеличивался. Улучшение общероссийской конъюнктуры после 1998 г. отразилось на ЛПК. Так, в 1999 г. рост производства составил 118 % к уровню предыдущего года. Однако в дальнейшем динамика развития отрасли стала постепенно снижаться. В результате в 2001 г. выпуск продукции лесной промышленности не превысил половины объемов 1990 г., тогда как в целом в России этот показатель находился на уровне 58 %. В 2004 г. объем выпуска продукции на основе древесины увеличился всего на 2,2 % по отношению к предыдущему

году, отставая от динамики производства промышленной продукции в целом [1].

Предприятие как систему можно разделить на взаимосвязанные элементы, кризисные явления в которых негативно влияют на всю систему, т. е. на предприятие в целом. С этих позиций экономический кризис может быть связан с кризисными тенденциями в отдельных элементах – сфере управления, производства, маркетинга, финансовой, в рамках которых эти процессы тесно взаимосвязаны. Например, кризис в финансовой сфере сопровождается кризисом в сфере производства, а управленческий существенно обостряет кризисное состояние финансов предприятия.

По характеру проявления можно выделить кризис скрытый (формальный) и явный. Формальный обычно обусловлен особенностями условий хозяйственной деятельности, т. е. проявляющиеся кризисные явления на предприятии в тот или иной период времени могут носить краткосрочный характер и быть обусловлены, прежде всего, спецификой производства. Под явным кризисом подразумевается долговременное нестабильное состояние финансово-хозяйственного функционирования предприятия. Лесопромышленному производству присущи оба вида кризиса.

По глубине различают меж- и внутрисистемный кризисы. Межсистемный кризис сопровождает переход экономической системы к новому, качественно иному режиму функционирования и предполагает смену экономического строя, что на уровне предприятия проявляется в изменении формы собственности, создании совершенно новых условий хозяйствования, вызванных переходом от централизованного планирования и управления к полной самостоятельности хозяйствующих субъектов в организации своей деятельности. Внутрисистемные кризисы не предполагают смены хозяйственного механизма и поэтому связаны с гораздо меньшим уровнем дезорганизации экономической системы. Однако при этом может быть существенно дифференцирована тяжесть внутрисистемных кризисов, от конъюнктурного спада до состояния банкротства.

Успехи и неудачи деятельности предприятия есть взаимодействие целого ряда факторов: внешних и внутренних. Умение предприятия приспособиться к изменению технологических, экономических и социальных обстоятельств – гарантия не только его выживания, но и устойчивого функционирования.

В классической рыночной экономике, как отмечают зарубежные исследователи, 1/3 вины за банкротство предприятия приходится на внешние факторы и 2/3 – на внутренние. Отечественные исследователи еще не провели подобной оценки, однако можно предполагать, что для современной России характерна обратная пропорция. Политическую и экономическую нестабильность, отсутствие регулирования финансового механизма и инфляционные процессы следует отнести к наиболее значительным факторам, ухудшающим кризисную ситуацию российских предприятий.

Глубинные экономические основы нынешних кризисных тенденций связаны, прежде всего, с особенностями организации отечественной рыноч-

ной экономики. Отсутствие стабильности, жесткость переживаемого кризиса остро ставят вопрос о нестандартных подходах к управлению промышленными предприятиями, обусловленных необходимыми структурными изменениями. В современных условиях это актуально для предприятий лесопромышленного комплекса в связи с неурегулированностью правовых отношений лесопользования, ориентацией предприятий на экспортные поставки сырья и отсутствием заинтересованности в глубокой переработке древесины.

Как показывает мировой опыт, в условиях рыночной экономики антикризисный процесс является управляемым. При этом выделяют два понятия: антикризисное управление и антикризисное регулирование.

Антикризисное регулирование, по мнению отечественных и зарубежных исследователей, – категория макроэкономическая. Оно содержит меры организационно-экономического и нормативно-правового воздействия со стороны государства, направленные на защиту предприятий от кризисов и предотвращения банкротства.

В отношении антикризисного управления среди ученых экономистов нет единого мнения. Можно выделить несколько вариантов определения этого понятия:

- управление в условиях уже наступившего кризиса в целях ликвидации предприятия, либо управление, направленное на вывод его из этого состояния;
- совокупность этапов оздоровления состояния предприятия на основе финансовых показателей;
- управление по предотвращению банкротства на основе анализа сложившегося положения.

Процесс антикризисного управления можно разделить на несколько этапов. На первом этапе определяется его цель, т. е. необходимое состояние предприятия по этапам выхода из кризиса. На втором этапе оценивается фактическое или прогнозируемое состояние предприятия относительно поставленной цели. На третьем этапе формулируется проблема антикризисного управления как рассогласование цели и текущего положения, а также оценивается степень такого рассогласования. На последнем этапе вырабатываются управленческие решения по способам финансового оздоровления и организационно-техническим мероприятиям по его реализации.

Характеристика этапов показывает, что антикризисное управление базируется как на общих закономерностях, присущих управленческим процессам, так и на специфических особенностях, связанных с осуществлением антикризисных процедур. Управление всегда целенаправленно, поэтому выбор и формирование целей являются исходным пунктом и в антикризисном управлении. В то же время система контроля и раннего обнаружения признаков предстоящей кризисной ситуации является специфическим атрибутом, присущим процессу антикризисного управления.

Контроль в антикризисном управлении представляет собой проверку организации работ по выходу из кризиса. Посредством контроля собирается

информация о степени выполнения намеченной программы действий, на основании которой вносятся изменения в финансовые программы, организацию финансовой работы, антикризисного управления. Контроль предполагает анализ результатов мероприятий по преодолению кризиса. При этом необходимо иметь в виду, что система рассмотренных функций взаимосвязана со всеми сторонами процесса управления и отражает его содержание. Соотношение объема и содержания функций на разных ступенях антикризисного управления неодинаковы и зависят от компетенции соответствующего субъекта управления

Руководители предприятий все внимательнее отслеживают кризисные тенденции и разрабатывают своевременные антикризисные мероприятия. Усиление кризисных явлений заставляет их включаться в изучение и разрешение проблем, связанных с антикризисным управлением, таких как диагностика состояния, разработка антикризисных целей, стратегий и мероприятий по реструктуризации производства.

Одна из проблем, с которой столкнулись предприятия в период рыночных реформ, – непрофессионализм в сфере управления, преобладание неквалифицированных руководителей всех уровней, склонность к методам, свойственным административно-командной системе.

Рыночные отношения вызывают необходимость использования всего потенциала современного менеджмента.

Кризисное состояние предприятия заставляет его руководство искать новые инструментарию планирования и управления. Управление бизнес-процессами требует комплексного решения многочисленных проблем, обусловленных внешними и внутренними факторами. Одним из основных внутренних факторов неопределенности для руководителя является неполная информация как о текущем состоянии, так и о перспективах развития предприятия. Поэтому необходимы актуальные подходы к управлению и инструменты их внедрения, которые позволят своевременно получить сигналы о возможном возникновении кризисной ситуации на предприятии, выяснить причины усложняющихся экономических проблем, обеспечат информационную поддержку управленческих решений руководства, смогут предотвратить негативные кризисные тенденции с ориентацией на перспективу.

Одним из инструментов антикризисного управления может стать грамотное использование контроллинга. В конце 1970-х – начале 1980-х гг. на волне банкротств европейские предприниматели широко использовали систему контроллинга. Это позволило им в достаточно короткие сроки не только переломить ситуацию, но и достичь хороших результатов деятельности.

В плановой командно-административной экономике комплексное использование контроллинга было невозможным. В переходный период предприятия получили полную самостоятельность в принятии решений как оперативного, так и стратегического плана, т.е. появилась возможность применения контроллинга как концепции системы управления. Однако, в

настоящее время в экономической литературе нет единства взглядов и общепризнанного представления о системе контроллинга.

В России контроллинг как система управления затратами и результатами производственно-сбытовой и финансовой деятельности предприятий получил признание в начале 1990-х гг., однако отечественная терминология пока не устоялась.

Контроллинг – не только органическая часть современного бизнеса, новейшее направление в теории и практике учета, контроля и анализа хозяйственной деятельности предприятия в странах рыночной экономики, но и одна из важнейших функций менеджмента, заключающихся в осуществлении систематической, на всех уровнях, проверки выполнения поставленных задач в соответствии с намеченными путями и методами и предотвращении отклонений. Он действует на основе установившихся стандартов, создания регулирующего механизма и мониторинга.

Изменение внешних условий функционирования предприятий привело к появлению контроллинга как концепции системы управления. Так, планирование по отдельным аспектам трансформировалось в комплексное программно-целевое, управление сбытом и продажами – в маркетинг, бухгалтерский и управленческий учет – в систему контроля и регулирования.

Исследователи рассматривают несколько концепций контроллинга, имеющих разную сущность и задачи. Максимизация прибыли использует концепцию контроллинга с ориентацией на систему учета. Социально ориентированное рыночное хозяйство выбирает концепцию контроллинга «общей руководящей цели» с оптимизацией прибыли для обеспечения и сохранения долгосрочной жизнеспособности и существования предприятия.

В рамках управленческой концепции задачи контроллинга можно представить следующим образом [3]:

– в планировании:

а) формирование общей методики оперативного и стратегического планирования на предприятии: выделение объектов, определение временных горизонтов и интервалов, выбор форм и инструментов планирования;

б) разработка совместно с управленческим звеном стратегических планов предприятия и их обоснование;

в) информирование структурных подразделений о задаваемых плановых параметрах и консультирование при составлении ими оперативных планов;

г) своевременная корректировка планов при изменениях в системе целей, внешних и внутренних условий функционирования предприятия;

– в контроле:

а) разработка «следающей» системы контроля достижений как стратегических, так и тактических целей деятельности фирмы, определение области контроля («критических» внешних и внутренних условий, «узких» и «слабых» мест), составление перечня подконтрольных показателей (являющихся наилучшим индикатором достижения стратегических целей и их совокупности в соответствии с текущими целями с выделением подконтроль-

ных в центрах ответственности), разработка форм контрольной отчетности, определение контрольных периодов;

б) сравнение фактических подконтрольных показателей центров ответственности с планируемыми и определение допущенных отклонений;

в) выявление причин зафиксированных отклонений и виновных лиц;

г) предварительный и текущий контроль в целях принятия менеджерами превентивных мер по устранению причин возможных отклонений;

– в анализе:

а) анализ стратегического развития предприятия с учетом всех внешних и внутренних условий его функционирования в целях своевременного выявления тенденций и закономерностей развития управляемых объектов (STEER-анализ, SWOT-анализ, анализ чувствительности и т. д.);

б) прогнозный анализ результатов работы предприятия путем сравнения возможных вариантов решения существующих проблем между собой или с фактической информацией;

в) экономическая оценка изменений в развитии управляемых объектов относительно заданных параметров с использованием приемов и методов, обеспечивающих необходимую быстроту получения результативных аналитических показателей (например метод расчета сумм покрытия);

г) анализ полученных отклонений при выявлении причинно-следственных взаимосвязей между подконтрольными и конечными, результирующими показателями деятельности для принятия тактических управленческих решений и/или внесения поправок в стратегию предприятия до возникновения оперативных недостатков;

д) своевременное предоставление полученной информации управляющей системе, что обеспечивает быструю реакцию на отклонения управляемых процессов от заданных параметров.

Исходя из представленных задач, можно обозначить роль контроллинга в различных процессах управления предприятием [2] (см. таблицу).

Роль контроллинга как одного из элементов антикризисного управления заключается в систематических проверках на всех уровнях выполнения поставленных задач и принятии мер для предотвращения отклонений от намеченных путей и методов их выполнения, избежания банкротства и кризисных ситуаций как в настоящем, так и в будущем.

Таким образом, контроллинг ориентирован, прежде всего, на поддержку процессов принятия решений и эффективен именно для нестабильной, постоянно меняющейся экономической среды. Он должен обеспечить адаптацию традиционной системы учета на предприятии к информационным потребностям должностных лиц, принимающих решения, т. е. в функции контроллинга входит создание, обработка, проверка и представление системной управленческой информации. Контроллинг также поддерживает и координирует процессы планирования, обеспечения информацией, контроля и адаптации.

Основные цели контроллинга – ориентация управленческого процесса на выполнение задач, стоящих перед предприятием. Они вытекают непо-

средственно из целей организации и могут выражаться, например, в достижении определенного уровня прибыли, рентабельности или производительности организации при заданном уровне ликвидности.

Функции контроллинга определяются целями организации и включают те виды управленческой деятельности, которые обеспечивают их достижение. Это учет, поддержка процесса планирования, контроль реализации планов, оценка протекающих процессов, выявление причин отклонений и выработка рекомендаций руководству по их устранению.

В сфере учета задачи контроллинга включают создание системы сбора и обработки информации, существенной для принятия управленческих решений на разных уровнях руководства. Это необходимо для разработки и дальнейшего поддержания системы ведения внутреннего учета информации о протекании технологических процессов. Важны подбор или разработка методов учета, а также критериев для оценки деятельности предприятия в целом и его отдельных подразделений.

Роль контроллинга в процессе управления

Процесс управления	Роль контроллинга в управленческом процессе
Планирование	<p>Анализ сильных и слабых сторон. Координация деятельности различных подразделений и служб предприятия. Координация различных планов и разработка консолидированного плана в целом по предприятию. Разработка методики планирования. Разработка графика составления планов. Предоставление информации для составления планов</p> <p>Проверка планов, составленных подразделениями предприятия. Определение соответствия планов целям предприятия. Оценка реальности выполнения планов</p>
Организационная работа	Учет и контроль затрат и результатов по подразделениям
Стимулирование	Стимулирование выполнения планов по подразделениям
Контроль и регулирование	<p>Анализ взаимосвязи планов в целях выявления их сопоставимости. Мониторинг внешней и внутренней среды</p> <p>Анализ отклонений, интерпретация причин отклонений плана от факта и выработка предложений для уменьшения отклонений</p>
Анализ решений	<p>Консультации по выбору корректирующих мероприятий и управленческих решений</p> <p>Оценка результатов деятельности предприятия в прошлом</p> <p>Определение направлений развития предприятия</p> <p>Определение перспектив развития предприятия</p> <p>Разработка инструментария для планирования, контроля и принятия управленческих решений</p>

Процесс управления	Роль контроллинга в управленческом процессе
Информационные потоки	Участие в разработке архитектуры управленческой информационной системы (постановка задачи для программистов) Обеспечение оперативного получения информации, существенной для принятия управленческих решений Анализ и группировка информации по определенным признакам Интеграция информации разного типа Параллельная обработка внутренней и внешней информации Сбор данных для принятия управленческих решений

Система контроллинга информационно поддерживает разработку базисных планов предприятия (продаж, ликвидности, инвестиций и т.д.), координирует отдельные из них по времени и содержанию, проверяет полноту и реализуемость, позволяет составить единый оперативный (годовой) план предприятия. В рамках системы контроллинга определяется, как и когда следует планировать, а также оценивается возможность реализации намеченных действий.

Служба контроллинга не определяет того, что планировать, а советует, как и когда это делать, и оценивает возможность реализации мероприятий, ответственность за которую остается в компетенции линейных руководителей. В задачи контроллинга входит разработка структуры информационной системы, стандартизация информационных каналов и носителей, выбор методов обработки информации. Система контроллинга должна обеспечивать сбор, обработку и предоставление руководству информации, необходимой для принятия управленческих решений.

При ухудшении экономического положения на предприятии, что проявляется в снижении уровня ликвидности и рентабельности, от служб контроллинга ожидают больше услуг по координации планов, анализу причин их отклонения от факта, а также рекомендаций для обеспечения выживания на ближайшую перспективу.

В современных условиях контроллинг становится реальной работой менеджеров. В России пока известны лишь единичные случаи функционирования подразделений контроллинга. Поэтому особенно актуальной становится проблема изучения и выявления возможностей внедрения в практику основных элементов стратегического и оперативного контроллинга. В меньшей степени это относится и к предприятиям лесопромышленного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожухов, Н.И. Оценка инвестиционной привлекательности предприятий лесного сектора [Текст]: монография / Н.И. Кожухов, П.И. Шагин; под общ. ред. Н.И. Кожухова. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 154 с.

2. *Конков, В.И.* Управление затратами на основе контроллинга в целлюлозно-бумажной промышленности [Текст]: монография / В.И. Конков. – М.: ГОУ МГУЛ, 2006. – 172 с.

3. *Печатнова, Е.Д.* Роль оперативного контроллинга в управлении предприятием [Текст] / Е.Д. Печатнова // Экономический анализ: теория и практика. – 2002. – № 1. – С. 25–30.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 22.12.06

V.I. Konkov

Role of Controlling in Crisis Management

Use of controlling elements in the crisis management is investigated. Role and tasks of controlling within the managerial concept are formulated in order to provide and maintain long-term viability of enterprise.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 53.082.4

Д.Л. Нерадовский, С.И. Морозов

Нерадовский Денис Леонидович родился в 1979 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры эксплуатации автомобилей и машин лесного комплекса АГТУ. Имеет 3 печатные работы.



Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, чл.-кор. РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 180 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.

**ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ОСНОВАНИЙ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ**

Проведена оценка вибрационной устойчивости оснований и оборудования лесопильного цеха исходя из конструктивных ограничений колебаний оборудования, динамических нагрузок на станину, фундамент, а также отрицательного влияния вибраций на качество вырабатываемых пиломатериалов.

Ключевые слова: лесопильная рама, основание, вибрационная устойчивость, методика, ударная волна, амплитуда, колебания, акселерометр, фильтр.

Лесопильные рамы являются основным видом оборудования в производстве пиломатериалов. Их широкое применение, наряду с более совершенными по динамике лесопильными машинами (ленточнопильные и круглопильные станки), объясняется возможностью одновременной распиловки древесины поставом пил, что значительно увеличивает производительность. Существенный конструктивный недостаток лесопильных рам – неуравновешенные силы инерции подвижных масс кривошипно-шатунного механизма, вызывающие колебания оборудования и фундамента, что снижает надежность и ухудшает качество вырабатываемых пиломатериалов. Эти колебания передаются конструкциям зданий цеха и близлежащих сооружений, приводят к неравномерной осадке фундаментов другого оборудо-

дования, снижают усталостную прочность конструкций вплоть до их разрушения.

Для снижения колебаний лесопильных рам особое внимание необходимо уделять обоснованию параметров фундаментов. Колебания фундаментов лесопильных рам существенно зависят от динамических характеристик оснований. Для обеспечения вибростойкости лесопильные рамы предприятий, расположенных в прибрежных зонах на водонасыщенных слабых грунтах, монтируют на свайные фундаменты. При этом руководствуются практическим опытом, СНиП, но не учитывают полностью особенностей динамики рам. В процессе работы лесопильных рам возможно образование дефектов в сваях, что сказывается на несущей способности и вибростойкости их фундаментов. Особенно подвержены этому железобетонные сваи ввиду их чувствительности к знакопеременным нагрузкам.

В наших исследованиях была поставлена актуальная задача по определению вибрационной устойчивости оснований лесопильных рам. Важная роль в вибростойкости фундамента отведена параметрам свай (длина, наличие дефектов). Для решения этой задачи применяли волновую теорию удара, математические методы анализа и обработки дискретных сигналов, методы Фурье и цифровой фильтрации сигналов.

При определении длины и дефектов свай, заглубленных в грунт, использовали эхо-метод. Измеряли время между излучением упругой продольной волны в свае и приходом отраженных продольных волн. Упругую продольную волну возбуждали ударником, ее скорость в свае (в зависимости от материала) считали известной.

Отраженная продольная волна возникает в местах изменения механического импеданса, который пропорционален скорости продольной волны в свае и площади ее поперечного сечения. Таким образом, если свая однородна (скорость постоянна), то там, где изменяется профиль сваи, происходит отражение волны. Чем резче это изменение, тем больше коэффициент отражения волны и тем заметней отклик на мониторе регистрирующего прибора. Волна, отражаясь от конца сваи, возвращается к сейсмоприемнику. Измеритель регистрирует сигнал, по которому осуществляют замер времени между начальным воздействием и отраженной волной.

Применение эхо-метода в данном случае затруднено, так как зарегистрированный сигнал является суммой множественных отражений возбужденной волны от ребер сваи, различных включений и т.п. При этом возникает эхо достаточно широкого спектра, что требует фильтрации сигнала, т.е. срезания его высокочастотной составляющей. Эту процедуру можно выполнить средствами программы «Matlab».

В процессе исследований разработана инструкция по проведению измерений, включающая в себя вопросы настройки аппаратуры, способы крепления датчиков, методы возбуждения ударной волны и модуль обработки результатов измерений в удобной для оператора форме; предложены новые способы применения программы «Matlab».

Установлено, что в целях определения качества древесины, в том числе использовавшейся ранее, для устройства фундаментов предлагаемая методика применима.

Таким образом, данный способ неразрушающего контроля актуален не только для определения несущей способности свайных фундаментов лесопильных рам, но и может быть предложен в качестве ресурсосберегающей технологии.

Применение разработанной методики позволит в производственных условиях без пробного разрушения определить качество фундамента, что повысит надежность вибрационной устойчивости оснований лесопильного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санников, А.А. Вибрации зданий и фундаментов лесопильных рам [Текст] / А.А. Санников. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 146 с.
2. Санников, А.А. Пути снижения колебаний лесопильного оборудования [Текст] / А.А. Санников. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 160 с.
3. Филькевич, В.Я. Динамика лесопильных рам [Текст] / В.Я. Филькевич. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. – 244 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 14.03.08

D.A. Neradovsky

Vibration Stability Assessment of Saw Frame Base

The vibration stability of bases and equipment in sawmill workshop is assessed based on the design constraints of vibrations of the equipment, dynamic load on the stand, foundation as well as the negative effect of vibrations on the quality of sawn timber produced.

УДК 621.181:662.612

В.К. Любов

Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики. Архангельского государственного технического университета. Имеет более 160 публикаций в области совершенствования энергохозяйства промышленных предприятий.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ГОРЕНИЯ ЧАСТИЦ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Проанализированы результаты экспериментальных исследований процесса воспламенения и горения частиц древесины, бурых и каменных углей; установлены закономерности и предложены обобщающие зависимости для расчета отдельных стадий горения и их взаимного наложения во времени.

Ключевые слова: твердое топливо, уголь, древесина, топочная камера, котельная установка, эмиссия вредных веществ, воспламенение и горение топлива, сушка и выход летучих веществ, горение летучих веществ и коксового остатка.

Важным направлением в решении проблем охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов является повышение экологических показателей энергетического оборудования на базе использования новых методов сжигания и прогрессивных конструктивных решений.

В топливном балансе Архангельской области доля каменных углей составляет около 32 % (с учетом их фактической теплотворной способности). При этом угли Печорского бассейна играют доминирующую роль (90 ... 95 %). Сжигание данных углей (особенно интинского) в топках котлов, работающих по схеме прямоточного факела, сопровождается интенсивным шлакованием поверхностей нагрева, что приводит к недовыработке станциями тепловой и электрической энергии [6, 11]. Кроме этого, для котлоагрегатов, работающих по схеме прямоточного факела, характерна повышенная эмиссия вредных веществ в высокотемпературной зоне горения и взрывоопасность систем пылеприготовления. Поэтому повышение эффективности сжигания углей Печорского бассейна и сильношлакующих углей ряда других месторождений, а также отходов переработки древесины имеет большое хозяйственное значение [7, 12]. В качестве альтернативных направлений, позволяющих решить отмеченные проблемы, можно рекомендовать следующие низкотемпературные схемы сжигания твердого топлива: в топках с низкотемпературным вихрем (НТВ) и в топках с кипящим и циркулирующим кипящим слоем. Данные технологии сжигания предполагают использование топлив угрубленного гранулометрического состава, вплоть до немолотых [6, 7, 11].

Анализ эксплуатации НТВ-котлов при сжигании немолотых топлив показал [6, 7, 11, 12], что данная технология является перспективной, так как исключает условия для хлопков и взрывов, обеспечивает возможность ступенчатого сжигания топлив и снижения эмиссии вредных веществ. Исследования выявили ряд существенных особенностей топочных процессов в НТВ-котлах по сравнению со схемой прямоточного факела. Для создания экономичного и надежного топочного устройства, обеспечивающего сжигание широкой гаммы немолотых твердых топлив (включая торф и отходы

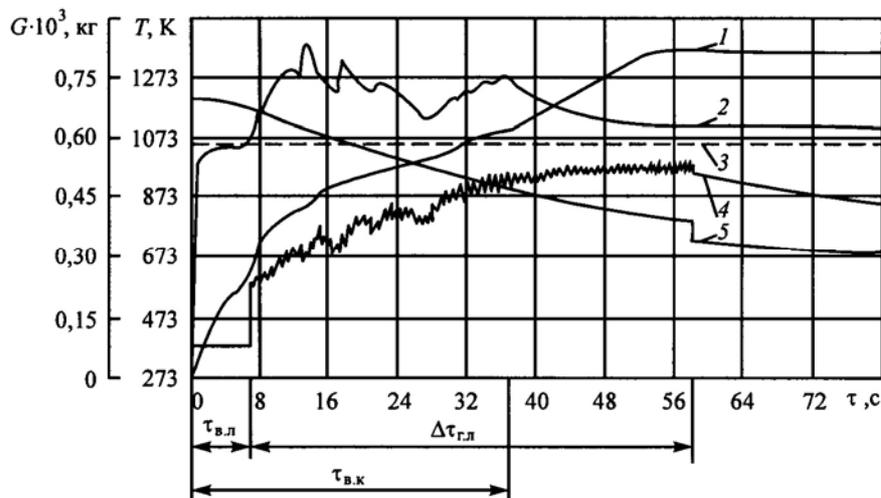


Рис. 1. Характер горения частицы воркутинского угля: $G_0 = 0,7$ г; $d_0 = 10,07$ мм; 1 — температура частицы $r/r_0 = 0,86$; 2 — температура на расстоянии 2,5 мм от частицы; 3 — $T_n = 1053$ К; $W_n = 2,35$ м/с; 4 — сигнал фоторезистора; 5 — изменение массы

переработки древесины) необходимо изучить процессы, протекающие при нагреве, воспламенении и горении крупных частиц топлива на промышленных и стендовых установках.

Для этого была разработана и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая проводить комплексное исследование процессов тепло- и массообмена для одиночных частиц в условиях, близких к условиям реальной топочной камеры [9]. Конструкция установки (рис. 1) позволяет непрерывно фиксировать изменение массы образца во времени, яркость топливной частицы и температуру внутри частицы и около нее при различных температурных и гидродинамических условиях ($T_r = 400 \dots 1400$ К, $W_n = 0 \dots 5$ м/с). Исследования выполняли для сферических частиц (диаметр $d_0 = 5 \dots 30$ мм), изготовленных из древесины хвойных пород и из кусков азейского бурого, черемховского, интинского, воркутинского и кузнецкого (марки Д, Г, 2СС) каменных углей.

В реакционной камере процесс прогрева сопровождается сушкой и выходом летучих, которые в стехиометрической смеси (летучие — окисли-

тель) воспламеняются. Обработка опытных данных с учетом продолжительности прогрева практически сухих (влажность рабочей массы $W^r \leq 8\%$; для частиц из древесины хвойных пород $W^r \leq 10\%$) топливных частиц ($T_r = 1123 \dots 1373$ К, $W_{\Pi} = 0,1 \dots 3$ м/с) до воспламенения летучих показала, что результаты могут быть обобщены выражением:

$$\tau_{в.л} = k_{в.л} T_r^{n_{в.л}} d_{ч}^{m_{в.л}} (1 + W_{\Pi}^{c_{в.л}}), \quad (1)$$

Коэффициенты, характеризующие влияние различных параметров на продолжительность процесса горения древесины и углей

Коэффициент	Древесина (ель, сосна)	Азейский Б	Черемховский Д	Интинский Д	Кузнецкий			Воркутинский Ж
					Д	2СС	Г	
$k_{в.л}$	$5,70 \cdot 10^{13}$	$5,42 \cdot 10^{13}$	$5,81 \cdot 10^{13}$	$3,55 \cdot 10^{13}$	$2,55 \cdot 10^{13}$	$3,93 \cdot 10^{13}$	$2,31 \cdot 10^{13}$	$2,76 \cdot 10^{13}$
$n_{в.л}$	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
$m_{в.л}$	0,47	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
$c_{в.л}(W_{\Pi} \leq 1 \text{ м/с})$	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,09	-0,17	-0,11	-0,13
$c_{в.л}(W_{\Pi} > 1 \text{ м/с})$	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16	-0,17	-0,28	-0,19	-0,22
$k_{г.л}$	$2,12 \cdot 10^8$	$4,31 \cdot 10^8$	$4,55 \cdot 10^8$	$8,76 \cdot 10^8$	$8,32 \cdot 10^8$	$13,19 \cdot 10^8$	$8,45 \cdot 10^8$	$10,52 \cdot 10^8$
$n_{г.л}$	-1,20	-1,16	-1,16	-1,26	-1,28	-1,35	-1,3	-1,32
$m_{г.л}$	1,57	1,90	1,90	1,87	1,83	1,79	1,79	1,78
$c_{г.л}(W_{\Pi} \leq 1 \text{ м/с})$	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	-0,14	-0,17	-0,16	-0,17
$c_{г.л}(W_{\Pi} > 1 \text{ м/с})$	-0,44	-0,44	-0,45	-0,46	-0,49	-0,57	-0,55	-0,56
$k_{в.к}$	$8,95 \cdot 10^8$	$2,09 \cdot 10^8$	$2,45 \cdot 10^8$	$6,96 \cdot 10^8$	$9,76 \cdot 10^8$	$31,98 \cdot 10^8$	$23,38 \cdot 10^8$	$31,59 \cdot 10^8$
$n_{в.к}$	-1,58	-1,41	-1,42	-1,60	-1,64	-1,73	-1,70	-1,72
$m_{в.к}$	1,23	1,31	1,33	1,34	1,36	1,46	1,45	1,47
$c_{в.к}(W_{\Pi} \leq 1 \text{ м/с})$	-0,16	-0,16	-0,16	-0,17	-0,18	-0,20	-0,19	-0,20
$c_{в.к}(W_{\Pi} > 1 \text{ м/с})$	-0,85	-0,85	-0,86	-0,88	-0,90	-0,99	-0,96	-0,98
$k_{г.к}$	$7,59 \cdot 10^7$	$1,05 \cdot 10^8$	$2,19 \cdot 10^8$	$3,53 \cdot 10^8$	$3,59 \cdot 10^8$	-	$10,39 \cdot 10^8$	$15,98 \cdot 10^8$
$n_{г.к}$	-0,8	-0,81	-0,84	-0,89	-0,87	-	-0,91	-0,93
$m_{г.к}$	1,7	1,54	1,56	1,60	1,63	-	1,80	1,83
$c_{г.к}(W_{\Pi} \leq 1 \text{ м/с})$	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17	-	-0,18	-0,18
$c_{г.к}(W_{\Pi} > 1 \text{ м/с})$	-0,32	-0,33	-0,35	-0,39	-0,38	-	-0,42	-0,44

где $k_{в.л}$, $n_{в.л}$, $m_{в.л}$, $c_{в.л}$ – коэффициенты, рассчитанные по методу наименьших квадратов (МНК) [10] (для частиц древесины – по методу Брандона [1]), значения которых для исследованных топлив приведены в таблице;

$d_{ч}$ – диаметр частицы, м;

T_r, W_{Π} – температура и скорость газового потока, К; м/с.

Исследования показали, что на данной стадии частицы прогреваются главным образом за счет лучистого теплообмена, при конвективном теплообмене продолжительность прогрева частицы до воспламенения летучих была бы пропорциональна $d_{ч}^2$ и T_r^{-1} . Об этом же свидетельствует и незначи-

тельное влияние скорости обдувающего потока на $\tau_{в.л}$ [4, 6]. Прослойка продуктов разложения органической массы топлива, образующаяся у поверхности частицы при ее прогреве, по-видимому, препятствует конвективному подводу теплоты. При увеличении скорости газового потока ($W_{г} > 1$ м/с) его влияние на процесс прогрева усиливается (см. таблицу), особенно для топлив со спекающимся коксовым остатком. Вывод об определяющей роли лучистого теплообмена для крупных топливных частиц подтвержден расчетами [5, 6]. Для прогрева мелких фракций топлива были получены похожие результаты [2, 4]. Однако на продолжительность прогрева крупных частиц топлива до воспламенения летучих размер частицы оказывает меньшее влияние, чем мелких. Частицы азейского бурого и черемховского каменного углей имеют наибольшую продолжительность данной стадии; у древесных частиц она еще больше (рис. 2). Очевидно, это объясняется большей влажностью частиц топлив и в некоторой степени меньшими значениями коэффициентов температуропроводности (для азейского и черемховского углей) [6].

Повышение зольности A^d топливных частиц увеличивает продолжительность прогрева до воспламенения летучих. Так, для интинского каменного угля рост зольности на сухую массу от 7 до 52 % увеличивает продолжительность первой стадии в 2,2 раза. Сравнение расчетных данных по продолжительности прогрева до воспламенения летучих, полученных по уравнению (1) для частиц $d_{ч} = 1 \dots 5$ мм, с экспериментальными данными других

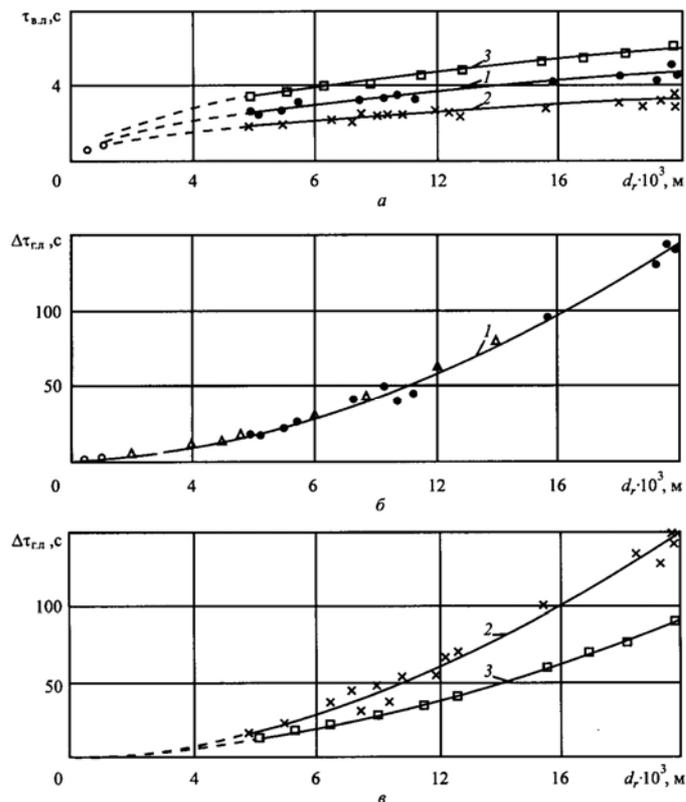


Рис. 2. Влияние размера d_q частиц угля на продолжительность прогрева (а) и горения летучих (б, в): 1 – ● – кузнецкий 2СС ($T_r = 1223$ К; $W_{п} = 1,6$ м/с); 2 – × – воркутинский жирный ($T_r = 1223$ К; $W_{п} = 1,6$ м/с); Δ – СС (шах. № 13, Кузбасс); $W^a = 2,5$ %; $A^d = 8,8$ %; $V^{daf} = 32,2$ %; $\rho_k = 1063$ кг/м³; $T_r = 1223$ К; $W_{п} = 0,1$ м/с) [3]; ○ – кузнецкий СС ($W^a = 2,6$ %; $A^d = 3,6$ %; $V^{daf} = 19$ %; $T_r = 1223$ К) [2]; 3 – □ – древесина хвойная ($T_r = 1223$ К)

авторов показало, что по эмпирической зависимости, предложенной в [2], для частиц кузнецкого угля марок Д и Г ($d_q = 1$ мм, $T_r = 1223$ К) $\tau_{в,л}$ соответственно равно 0,76 и 0,71 с, а по зависимости (1) при $W_{п} = 0,1$ м/с – соответственно 0,80 и 0,75 с, т. е. расхождение составляет –5,3 и –5,6 %. Ввиду недостаточного количества надежной информации по $\tau_{в,л}$ для топливных частиц $1 < d_q < 5$ мм зависимость (1), по-видимому, можно применять в диапазоне $d_q = 1 \dots 30$ мм.

Характер процессов, происходящих в период видимого горения летучих, для исследованных топлив был проанализирован ранее [8]. Обработка полученных результатов позволила обобщить их следующим эмпириче-

ским выражением (погрешность $\pm 16\%$, большие значения относятся к топливам со спекающимся коксовым остатком):

$$\Delta\tau_{г.л} = k_{г.л} T_{г.л}^{n_{г.л}} d_{ч}^{m_{г.л}} (1 + W_{п}^{c_{г.л}}). \quad (2)$$

На продолжительность видимого горения летучих ($\Delta\tau_{г.л}$) определяющее влияние оказывает размер топливной частицы (рис. 2). Температура реакционной камеры значительно меньше влияет на продолжительность данной стадии, чем на $\tau_{в.л}$ (см. таблицу). Это объясняется тем, что теплота к частице поступает в основном от факела горящих летучих. Температурный фактор оказывает более сильное действие на $\Delta\tau_{г.л}$ для углей со спекающимся коксовым остатком, что можно объяснить струйным характером выхода и горения летучих (сплошное облако горящих летучих при этом может отсутствовать [8]), менее сильное – для топлив с порошкообразным коксовым остатком, горение летучих у которых происходит в виде сплошного облака, окутывающего частицу. Этим же обстоятельством можно объяснить и более сильное влияние скорости набегающего потока на $\Delta\tau_{г.л}$ для топливных частиц со спекающимся коксовым остатком.

Расчет продолжительности видимого горения летучих по зависимости (2) для частиц кузнецкого угля марок Д и Г ($d_{ч} = 1$ мм, $T_{г} = 1223$ К, $W_{п} = 0,1$ м/с) дает соответственно 0,72 и 0,85 с, а по зависимости [2, 4] – соответственно 0,80 и 0,78 с. Расхождение составляет 10 и -9% . Сравнение расчетных данных для частиц бурого угля ($d_{ч} = 4,65; 8,77$ мм; $T_{г} = 1273$ К; $W_{п} = 0,1$ м/с) по зависимости (2) ($\Delta\tau_{г.л}^{расч} = 9,37; 31,3$ с) с опытными [3] ($\Delta\tau_{г.л}^{опыт} = 9,0; 25,2$ с; учитывая, что автор [3] использовал прессованные частицы, кажущаяся плотность которых была меньше, чем частиц натурального топлива, и зависела от диаметра частиц; после ввода поправки на плотность получим $\Delta\tau_{г.л} = 9,0; 27,5$ с) показало, что расхождение составляет $-4,1$ и $-13,8\%$. При снижении влажности топливных частиц продолжительность периода видимого горения летучих уменьшается. Так, для частиц черемховского угля при уменьшении влажности от 18,0 до 4,6 % ($d_{ч} = 10 \dots 17$ мм, $T_{г} = 1173 \dots 1223$ К, $W_{п} = 2,0 \dots 2,7$ м/с) продолжительность видимого горения летучих снижается на 22,9 %. Повышение зольности топлива приводит к снижению $\Delta\tau_{г.л}$. Так, для частиц интинского угля при повышении зольности от 5,5 (выход летучих на горючую массу $V^{daf} = 39\%$) до 52,0 % ($V^{daf} = 37,2\%$) продолжительность видимого горения летучих уменьшилась примерно на 30 %. Характер влияния данных факторов на продолжительность видимого горения летучих, по-видимому, определяется их воздействием на скорость прогрева топливных частиц [6, 8]. Вместе с этим при повышении зольности количество горючей массы топлива уменьшается, что также вызывает снижение $\Delta\tau_{г.л}$. Анализ полученных результатов и сравнение их с опытными данными других исследователей (рис. 2) позволили сделать вывод о возможности применения зависимости (2) в диапазоне $d_{ч} = 1 \dots 30$ мм не только для исследованных топлив, но и для близких к ним по теплотехническим свойствам.

Термическое разложение органической массы топлива начинается сразу же после ввода частицы в реакционную камеру. За период времени от момента ввода частицы в реактор до окончания видимого горения летучих ($\tau_{о.л}$) из нее выделяется основная масса летучих веществ. Продолжительность данного периода можно определить по формуле

$$\tau_{о.л} = \tau_{в.л} + \Delta\tau_{г.л}. \quad (3)$$

В начальный период видимого горения летучих топливная частица имеет темный цвет и в реакции горения не участвует [8], однако в процессе прогрева интенсивность выхода летучих уменьшается и кислород получает частичный доступ к ее поверхности. Параллельно с горением летучих начинается горение углеродного материала с поверхности частицы. Момент воспламенения углеродного материала характеризуется повышением скорости прогрева частицы, что зафиксировано термопарой, фоторезистором и визуально [8, 9]. Экспериментальные данные (рис. 3), отражающие длительность прогрева частицы до воспламенения углеродного материала ($\tau_{в.к}$), удовлетворительно описываются следующим уравнением:

$$\tau_{в.к} = k_{в.к} T_{г}^{n_{в.к}} d_{ч}^{m_{в.к}} (1 + W_{п}^{c_{в.к}}). \quad (4)$$

Продолжительность совместного горения летучих и кокса ($\Delta\tau_{совм}$) зависит от многих факторов [8], определяющее влияние при этом оказывают размер частицы, степень метаморфизма топлива и скорость газового потока. Для определения продолжительности этого процесса следует использовать зависимость

$$\Delta\tau_{совм} = \tau_{о.л} - \tau_{в.к}. \quad (5)$$

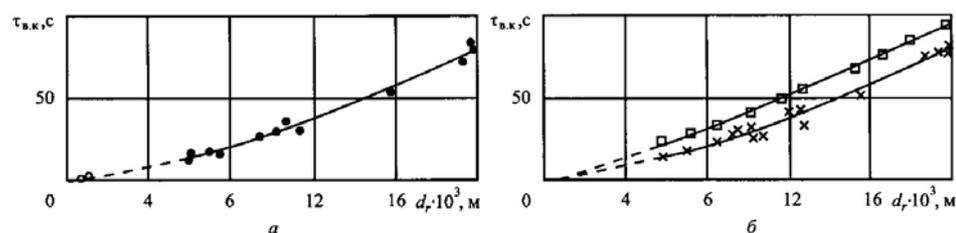


Рис. 3. Влияние размера частиц на продолжительность прогрева до воспламенения кокса ($T_{г} = 1223$ К; $W_{п} = 1,6$ м/с); • – кузнецкий 2СС; × – воркутинский жирный; ○ – кузнецкий СС ($W^a = 2,6$ %; $A^d = 3,6$ %; $V^{daf} = 19$ %; $T_{г} = 1223$ К) [2]; □ – древесина хвойная ($T_{г} = 1223$ К; $W_{п} < 1,0$ м/с)

Горение кокса является основной стадией процесса горения углей как по продолжительности (84 ... 92 %), так и по тепловыделению. При обработке опытных данных по продолжительности данной стадии возникли значительные трудности, вызванные частичным или «полным» разрушением [8] угольных частиц при горении (данное обстоятельство и недостаточное количество экспериментальных данных не позволили получить обобщающую зависимость $\Delta\tau_{г.к} = f(T_{г}, d_{ч}, W_{п})$ для кузнецкого угля марки 2СС). Для частиц из древесины ели и сосны разрушение происходило реже, чем для угольных. При отсутствии разрушения частиц экспериментальные данные по определению продолжительности стадии горения кокса $\Delta\tau_{г.к}$ для ис-

следованных топлив удовлетворительно описываются следующим эмпирическим уравнением:

$$\Delta\tau_{г.к} = k_{г.к} T_{г}^{n_{г.к}} d_{ч}^{m_{г.к}} (1 + W_{п}^{c_{г.к}}) (21/O_2)^{\ell}, \quad (6)$$

где O_2 – концентрация кислорода, %.

Зависимость продолжительности горения кокса от размера частиц $\sim d^{1,7}$ (см. таблицу) и обратно пропорциональна температуре реакционной камеры (показатель степени ~ -1). Это указывает на то, что режим горения коксовых частиц в условиях опытов близок к промежуточному. С ростом скорости обтекания частицы газовым потоком диффузионное торможение гетерогенной реакции горения углеродного материала уменьшается (особенно при $W_{п} > 1$ м/с), что приводит к снижению $\Delta\tau_{г.к}$. Для расчета продолжительности полного сгорания частицы при отсутствии ее разрушения можно использовать уравнение

$$\tau_{с.ч} = \tau_{в.к} + \Delta\tau_{г.к}. \quad (7)$$

Процесс горения крупных частиц натурального топлива часто сопровождается их разрушением до более мелких частиц, что может значительно уменьшить продолжительность полного сгорания частицы по сравнению с расчетной (7). Исходя из экспериментальных данных, можно сделать вывод, что горение крупных топливных частиц сопровождается образованием мелких фракций как за счет их разрушения, так и вследствие выноса углеродных частиц потоком летучих веществ [8]. Данное обстоятельство следует учитывать при проектировании топочных камер, работающих на топливе грубого фракционного состава и немолотом. Выгорание сильно забалластированных кусков топлива идет очень медленно (при повышении зольности от 5,8 до 52,0 % для частиц интинского каменного угля $\Delta\tau_{г.к}$ увеличивается \sim в 2 раза), а их прочностные характеристики снижаются незначительно [8]. В связи с этим для НТВ-топок, сжигающих немолотое топливо, необходимо разрабатывать мероприятия, позволяющие уменьшить возможность попадания сильно забалластированных кусков топлива в топочную камеру, а также организовывать их вывод из топки.

Продолжительность полного выгорания древесных частиц значительно меньше, чем угольных частиц того же размера, что объясняется меньшей плотностью древесины и значительно большим содержанием летучих веществ.

Увеличение влажности топлива сказывается на продолжительности стадии прогрева до воспламенения летучих. Результаты экспериментальных исследований, выполненных для широкой гаммы топлив в диапазоне изменения влажности $W^r = 3 \dots 40$ %, могут быть обобщены уравнением [6, 11]:

$$\tau_{в.л} = 49 k_{в.л} d_{ч}^{0,5} \exp(0,05W^r) / \left\{ (T_{г} / 1000)^4 \left[1 + 0,125W_{п}^{0,4} / (T_{г} / 1000)^3 \right] \right\}, \quad (8)$$

где $k_{в.л}$ – эмпирический коэффициент, рассчитанный по МНК, имеющий следующие значения для каменных углей: черемховский – 1,02; кузнецкий Г и Д – 0,98; воркутинский – 1,00; интинский – 1,13; кузнецкий 2СС – 1,426; для бурых углей: азейский – 0,86; березовский – 1,12; ирша-бородинский – 1,30; для древесины (ель, сосна) – 1,764.

Таким образом, на основании экспериментальных исследований процесса горения частиц древесины, бурых и каменных углей установлены закономерности и предложены обобщающие зависимости для расчета продолжительности стадий прогрева и сушки до воспламенения летучих, видимого горения летучих и коксового остатка, а также их взаимного наложения во времени. Анализ полученных результатов и сравнение их с экспериментальными данными других авторов (рис. 2–4) позволили сделать предположение о возможности применения полученных зависимостей для частиц $d_{\text{ч}} = 1 \dots 30$ мм, $T_{\text{г}} = 600 \dots 1600$ К и скоростей потока $W_{\text{п}} = 0 \dots 5$ м/с не только для исследованных топлив, но и для близких к ним по теплотехническим свойствам и кинетическим характеристикам.

Результаты экспериментальных исследований показали, что при расчете горения летучих для частиц немолотого топлива следует использовать схему «двойного горящего» пограничного слоя [6, 11], применяя для летучих аналог критерия Семенова. При этом выгорание углерода происходит по восстановительным реакциям при взаимодействии с водяным паром и углекислым газом. В конце стадии видимого горения летучих окислитель получает доступ к углеродной основе топлива, выгорание которой происходит по окислительно-восстановительным гетерогенным реакциям с кислородом, водяным паром и углекислым газом по схеме «негорящего» пограничного слоя.

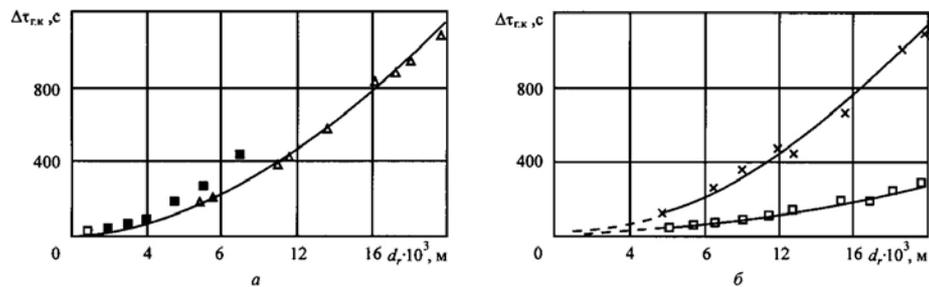


Рис. 4. Влияние размера частиц на продолжительность горения кокса: Δ – кузнецкий уголь Г ($T_{\text{г}} = 1223$ К; $W_{\text{п}} = 1,6$ м/с); \times – воркутинский жирный ($T_{\text{г}} = 1223$ К; $W_{\text{п}} = 1,6$ м/с); \square – кузнецкий ($W^{\text{л}} = 6,6$ %; $A^{\text{д}} = 7,5$ %; $V^{\text{daf}} = 35,8$ %; $T_{\text{г}} = 1223$ К) [2]; \blacksquare – газовый уголь ($W^{\text{л}} = 2,5$ %; $T_{\text{г}} = 1223$ К) (данные А.Н. Кочережко); \square – древесина хвойная ($T_{\text{г}} = 1223$ К)

Процесс термического разрушения крупных частиц натурального твердого топлива на более мелкие, сопровождающий горение, может значительно уменьшить продолжительность их выгорания.

Результаты выполненных исследований были использованы при разработке рекомендаций по повышению эффективности работы НТВ-котлов и обосновании слое-вихревых и факельно-вихревой схем сжигания древесных отходов, а также при разработке методики расчета высокотемпературной сушки топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахназарова, С.Л.* Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии [Текст]: учеб. пособие для химико-технологических вузов / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высш. шк., 1978. – 319 с.
2. *Бабий, В.И.* О длительности горения частиц пыли кузнецких углей марок Д, Г, ГЖ, СС [Текст] / В.И. Бабий, И.П. Иванова // Теплоэнергетика. – 1977. – № 1. – С. 13–15.
3. *Евсеева, С.А.* Исследование процесса горения угольных частиц [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Евсеева С.А. – М., 1974. – 165 с.
4. *Иванова, И.П.* Изучение механизма выгорания частиц назаровского угля [Текст] / И.П. Иванова, В.И. Бабий // Горение твердого топлива: материалы II Всесоюз. конф. – Новосибирск: Наука, 1969. – С. 140–149.
5. *Любов, В.К.* Исследование тепло- и массообмена при прогреве и горении крупных частиц натурального твердого топлива [Текст] / Любов В.К. // Основные этапы и направления развития энергетики Архангельской области. – Архангельск, 1982. – С. 31–32.
6. *Любов, В.К.* Некоторые результаты исследования процесса горения натурального твердого топлива [Текст] / В.К. Любов / Арханг. лесотехн. ин-т. – Архангельск, 1985. – Деп. в ИНФОРМЭНЕРГО №1732 эн-Д85. – 31 с.
7. *Любов, В.К.* Опыт сжигания высоковлажных отходов промышленности в топке безмельничного котлоагрегата [Текст]: тр. 1-й Рос. нац. конф. по теплообмену. Т. 3. Тепло-массообмен при хим. превращениях / В.К. Любов, В.А. Дьячков, Ф.З. Финкер, И.Б. Кубышкин. – М.: Изд-во МЭИ, 1994. – С. 163–168.
8. *Любов, В.К.* Характер поведения крупных частиц натурального твердого топлива при различных условиях теплообмена и исследование прогрева угольных частиц [Текст] / В.К. Любов, С.М. Шестаков / ЛПИ. – Л., 1982. – Деп. в ИНФОРМЭНЕРГО. – 40 с.
9. *Любов, В.К.* Экспериментальная установка для исследования тепло- и массообмена при прогреве и горении частиц твердого топлива [Текст] / В.К. Любов, А.И. Сосенский, С.М. Шестаков. – Л., 1981. – Деп. в ИНФОРМЭНЕРГО. – 14 с.
10. *Шенк, Х.* Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 381 с.
11. *Шестаков, С.М.* Низкотемпературная вихревая технология сжигания дробленого топлива в котлах как метод защиты окружающей среды [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.14.16 / Шестаков С.М. – СПб., 1999. – 39 с.
12. *Шестаков, С.М.* Особенности низкотемпературного вихревого сжигания немолотых бурых и каменных углей [Текст] / С.М. Шестаков, В.К. Любов, А.М. Павлов, Б.В. Усик // Горение органического топлива: материалы V Всесоюз. конф. ИТФ СО АН СССР. – Новосибирск: СО АН СССР, 1985. – Ч. 2. – С. 225–234.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 24.06.05

V.K. Lyubov

Experimental Research of Ignition and Burning of Solid Fuel Particles

The results of experimental research of burning process for wood particles, brown and hard coal are analyzed, regularities are set and generalized dependencies for calculating separate stages of burning volatile substances and their mutual imposition in time are offered.