

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ 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

5

2002

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **И.И. Гусев**, проф. **Р.Е. Калитеевский**, проф. **А.Н. Кириллов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **Е.Г. Мозолевская**, **В.В. Мусинский**, доц. **О. А. Невалин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **В.И. Онегин**, проф. **Г.С. Ощепков**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **В.К. Попов**, проф. **С.М. Репях**, проф. **А.Р. Родин**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Е.Д. Сабо**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.И. Санев**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

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

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 5

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

Сдан в набор 11.10.2002. Подписан в печать 26.11.2002.
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.
Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

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

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



СОДЕРЖАНИЕ

<i>Н.А. Бабич.</i> Структурные аномалии стебля древесных растений	2
<i>ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО</i>	
<i>В.Ф. Цветков.</i> О биогеоценологическом спектре сосняков черничных свежих средней подзоны тайги.....	7
<i>В.Ф. Лебков.</i> Аппроксимация образующей ствола и идентификация его формы функцией распределения	15
<i>Е.Н. Наквасина.</i> Динамика рангового распределения деревьев по высоте в потомстве климатипов сосны обыкновенной	23
<i>А.С. Ярунов, В.В. Петрик.</i> Перспективы подсочного производства и исследований в области подсочки	30
<i>Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова.</i> Изменчивость сеянцев кедра сибирского в зависимости от окраски гипокотилей	34
<i>ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ</i>	
<i>С.И. Морозов, Д.Н. Шостенко.</i> Связь между классической и контактной теориями удара	39
<i>Э.Ф. Герц, В.А. Азаренок, Н.В. Ливищ, А.В. Мехренцев.</i> Расчет ширины ленты, разрабатываемой манипуляторной полноповоротной лесозаготовительной машиной	47
<i>Г.Я. Суров.</i> Определение параметров движения сплоченной единицы после спуска на воду	52
<i>МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ</i>	
<i>Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, А.А. Банников.</i> Исследование устойчивости пилы ленточнопильного станка с отжимными контактными направляющими	59
<i>Ю.В. Науменко.</i> Определение параметров привода горизонтальных барабанных машин, частично заполненных обрабатываемым материалом	67
<i>Л.В. Алексеева.</i> К определению мощности участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка	76
<i>Т. Бротте, Е. Варфоломеева, О. Мартинсен.</i> Защитная обработка деревянных строительных изделий с учетом перспективы экспорта	81
<i>Ю.Ф. Воронцов, Л.С. Суровцева.</i> Эффективность специализации лесопильных предприятий по группам диаметров пиловочного сырья	89
<i>Ю.А. Варфоломеев, Л.А. Баданина.</i> Исследование режимов защитной пропитки древесины в автоклавах	94
<i>ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ</i>	
<i>К.Г. Боголицын, Н.С. Горбова, Д.С. Косяков, О.С. Власова, А.Е. Кошелева.</i> Характеристика кислотно-основных свойств модельных соединений лигнина в системе ДМСО – вода	99

<i>С.Г. Ермаков, Ф.Х. Хакимова.</i> Разработка технологии комплексной утилизации отходов окорки древесины (часть 1)	108
<i>Л.И. Селянина, А.Е. Коптелов.</i> Пергонка с водяным паром – эффективный способ регулирования качества таллового масла	115
<i>В.Г. Лисиенко, А.И. Бабин, В.А. Лискин, С.Г. Овчинников, Е.И. Дукки.</i> Методика полного энергетического анализа и расчет технологических топливных чисел в производстве бумаги	124
<i>МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ</i>	
<i>Я.Ф. Молнар.</i> Опыт аттестации руководителей и специалистов по заказам предприятий	133
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>Е.Ю. Филлимонкова.</i> Рост и состояние живых еловых изгородей вдоль федеральной автомобильной дороги в Архангельской области	140
<i>КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ</i>	
<i>В.В. Цыплаков, П.Н. Проездов, В.Ф. Перов, В.Н. Филатов.</i> Новый учебник по лесным культурам	144
<i>Г.И. Чижов.</i> Новая книга в области контроля качества бумаги и картона	146



CONTENTS

<i>N.A. Babich.</i> Structural Abnormalities of Wood Plant Stalk.....	2
<i>FORESTRY</i>	
<i>V.F. Tsvetkov.</i> On Biogeocenosis Spectrum of Blueberry Pine Forest of Middle Taiga Subzone.....	7
<i>V.F. Lebkov.</i> Approximation of Stem Generatrix and its Form Identification by Cumulative Distribution Curve.....	15
<i>E.N. Nakvasina.</i> Dynamics of Tree Growth Ranging in Climatype Posterity of Scots Pine.....	23
<i>A.S. Yarunov, V.V. Petrik.</i> Prospects of Tapping Production and Research Related to Tapping.....	30
<i>R.N. Matveeva, O.F. Butorova.</i> Changeability of Siberian Stone Pine Seedling depending on Hypocotyl Stain.....	34
<i>WOODEXPLOITATION</i>	
<i>S.I. Morozov, D.N. Shostenko.</i> Relation between Classical and Contact Theories of Impact.....	39
<i>E.F. Gerts, V.A. Asarenok, N.V. Livshits, A.V. Mekhrentsev.</i> Calculation of Band Width Developed by Manipulator Full-Circle Forest-harvesting Machine on Tree Reach Basis.....	47
<i>G. Ya. Surov.</i> Determination of Motion Characteristics of Rafting Unit after Launching.....	52
<i>MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE</i>	
<i>G.F. Prokofjev, I.I. Ivankin, A.A. Bannikov.</i> Investigation of Saw Stability of Band-saw Machine with Squeeze Contact Guide Bearings.....	59
<i>Yu.V. Naumenko.</i> Defining Parameters of Horizontal Drum Machine Drive for Forest and Pulp-and-Paper Industry Partially Filled with Treated Material.....	67
<i>L.V. Alekseeva.</i> On Determination of Sawing Area Capacity Based on One-saw Band-saw Machine.....	76
<i>T. Braatte, E. Varfolomeeva, O. Martinsen.</i> Protective Treatment of Wooden Building Products Taking into Account Export Perspective.....	81
<i>Yu.F. Vorontsov, L.S. Surovtseva.</i> Efficiency of Sawmill Specialization according to Diameter Groups of Sawed Raw Material.....	89
<i>Yu. A. Varfolomeev, L.A. Badanina.</i> Investigation of Protective Impregnation Modes in Digesters.....	94
<i>CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD</i>	
<i>K.G. Bogolitsyn, N. S. Gorbova, D. S. Kosyakov, O.S. Vlasova, A.E. Kosheleva.</i> Characteristic of Acid-base Properties for Lignin Model Compounds in Dimethyl Sulphoxide-water System.....	99

<i>S.G. Ermakov, F. Kh. Khakimova.</i> Technology Development of Complex Utilization of Debarking Wastes (part 1).....	108
<i>L.I. Selyanina, A. E. Koptelov.</i> Steam Distillation – Effective Method of Regulating Tall Oil Quality.....	115
<i>V.G. Lisienko, A.I. Babin, V.A. Liskin, S.G. Ovchinnikov, E.I. Dukki.</i> Technique of Complete Energy Analysis and Calculation of Technological Fuel Values in Paper Production.....	124
<i>METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING</i>	
<i>Ya.F. Molnar.</i> Experience of Evaluation of Top Managers and Specialists according to Orders of Companies.....	133
<i>SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE</i>	
<i>E.Yu. Filimonkova.</i> Role and State of Green Spruce Fence along Federal Highways of Arkhangelsk Region.....	140
<i>CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY</i>	
<i>V.V. Tsyplov, P.N. Proezdov, V.F. Perov, V.N. Philatov.</i> New Textbook on Forest Cultures.....	144
<i>G.I. Chizhov.</i> New Book on Paper and Board Quality Control.....	146



УДК 630* 182.25

В.Ф. Цветков

Цветков Василий Фролович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, социальной экологии и охраны окружающей среды на Севере.



О БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКОМ СПЕКТРЕ СОСНЯКОВ ЧЕРНИЧНЫХ СВЕЖИХ СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

Показано, что биогеоценотический спектр насаждений, объединяемых типом условий произрастания сосняк черничный, обусловлен, с одной стороны, относительным богатством экотопа, а с другой – широким набором биологических и экологических свойств древесных пород, участвующих в формировании ценозов. Тип леса объединяет несколько хозяйственно значимых типов биогеоценозов.

биогеоценоз, спектр биогеоценозов, тип биогеоценозов, тип леса, сосняк черничный свежий, динамический ряд, тип формирования.

В соответствии с представлениями типологов лесных экосистем [1, 2, 9, 10, 15 и др.] тип леса – понятие более широкое по объему, чем тип биогеоценоза (БГЦ). Обстоятельные исследования природы типа леса [2–4, 7, 8, 13, 15 и др.] убеждают, что при сегодняшней изученности лесных экосистем эти понятия, которые В.Н. Сукачев рассматривал как синонимы, в действительности все-таки существенно разнятся. Дело здесь, разумеется, не в недооценке основателем лесной биогеоценологии глубины рассматриваемых явлений, а в объективной диалектической непреложности законов познания, развития всякой научной парадигмы. За последние 50 лет в России осуществлены довольно широкие и разносторонние исследования классификаций лесных экосистем, сформировалось несколько типологических школ лесоводов, выросла целая плеяда выдающихся фито- и биогеоценологов, существенно углубились знания о природе лесного сообщества.

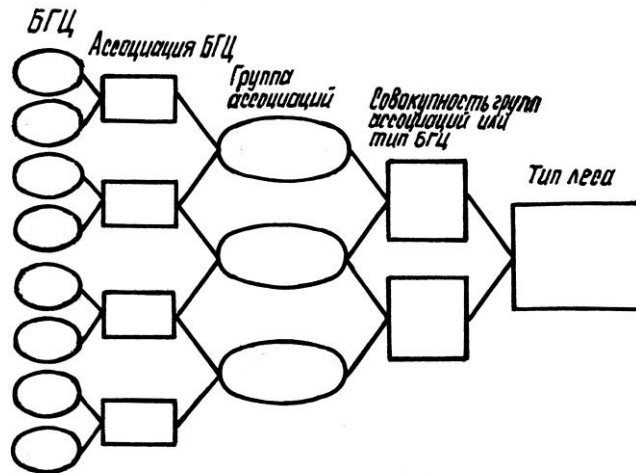


Рис. 1. Биогеоценотическая структура типа леса

Сегодня в условиях Европейского Севера иерархию биогеоценотических построений единиц ранга «тип леса» в таежных условиях схематически можно представить следующим образом (рис 1).

Совокупности однородных по всем признакам биогеоценозов образуют ассоциацию насаждений. Из ассоциаций слагается группа близких по большинству компонентов ассоциаций БГЦ. Группы близких ассоциаций БГЦ, сходные по главным параметрам биоценозов и условиям произрастания, образуют совокупность групп ассоциаций, однородных по всем оцениваемым на современном уровне практического лесоведения параметрам насаждений, в том числе участию в древесном ярусе субэдификаторов. В понимании В.Н. Сукачева такие совокупности суть тип биогеоценоза. Объединение типов биогеоценозов по сходству генезиса и лесорастительным условиям дает тип леса.

Тип леса как классификационная системная и размерная единица в практическом аспекте предстает как категория собирательная, комбинированная, синтетическая (по И.С. Мелехову). На уровне первых подсистем в нее входят близкие по природе совокупности лесных участков, отличающиеся от «типических» чистых сосняков примесью к главной породе-эдификатору субэдификаторов – ели и березы. Применительно к рассматриваемому типологическому объекту речь идет о таких типах БГЦ, как сосняк березовый черничный зеленомошный, сосняк еловый черничный зеленомошный, сосняк березово-еловый черничный зеленомошный. Присутствие той или иной примеси ели или березы в сосняках – широко распространенное явление. Оно связано, с одной стороны, с особенностями условий эко-топа, с другой – с генезисом биогеоценозов и прежде всего с конкретным их местом в онтогенетических рядах насаждений на пути к «выработавшимся» (климаксовым) образованиям.

Хотя общие природные свойства насаждений перечисленных типов остаются сходными по многим параметрам и у лесоводов не возникает вопросов о правомерности объединения подобных ценозов в один черничный свежий тип сосновых насаждений, между ними есть определенные различия. Главное из них – присутствие ели, создающее ряд специфических особенностей в микроклимате, в условиях возобновления главной породы, в формировании лесной подстилки. Безусловно, свой вклад в биогеоэценологическую сущность сообществ рассматриваемого типа вносит также береза, прежде всего почвоулучшающая функция ее опада.

Рассматривая биогеоэценологический спектр насаждений типа леса сосняк черничный, необходимо принимать во внимание широкое распространение в природе многовековых циклов онтогенеза лесных формаций сосна – ель – сосна, обусловленных комплексом эндогенных и экзогенных факторов развития экосистем. Механизмом циклической динамики служат лесные пожары и особенности экологии древесных пород. У типологов сегодня нет неопровержимых доказательств считать первой в этих рядах ель или сосну. Здесь вполне уместна параллель с известным парадоксом о курице и яйце. Высказываемое мнение о первичности ели в подобных лесорастительных условиях [7, 19] не подтверждается наличием в разных районах Европейского Севера массивов старовозрастных сосняков субклимаксового типа. С другой стороны, присутствие ели повсеместно в древостоях таких экосистем подтверждает закономерное объективное существование онтогенетических циклов лесных экосистем, где ель сменяется сосной. Таким образом, при классификации БГЦ большое значение будет иметь место конкретного насаждения на «онтогенетической петле» этого естественного цикла. Так или иначе, конкретные сосновые насаждения (т. е. находящиеся в «сосновой» фазе цикла, с той или иной примесью ели или березы) при типологической классификации лесного фонда в соответствии с принципами В.Н. Сукачева претендуют на статус отдельных типов биогеоэценозов. При необходимости (и возможностях практического лесоводства) они могут быть приняты как вполне самостоятельные типы леса – черничная свежая группа.

Каждый из рассматриваемых типов БГЦ, выделенных по субэдиктатору, и, безусловно, представляющих вариации насаждений одного типа леса, может быть образован по другой ординационной линии – из насаждений, однородных по свойствам других элементов, например по линии большей однородности почвенных условий. Известно, что биогеоэценозы одного типа могут отличаться по механическому составу почвы, выраженности подзолообразовательных, глеевых, дерновых процессов и т. п. Подобные аналоговые группы ассоциаций в пределах совокупности участков единого типа БГЦ могут быть в принципе сформированы также на основе большей однородности структуры растительности нижних ярусов, состава подлеска, густоты подроста, возрастной структуры древостоя и т. д. Если учитывать и такого рода неоднородности насаждений, дифференциация совокупностей БГЦ углубляется настолько, что теряет смысл. Уровень диффе-

ренциации должен соразмеряться с современными практическими запросами. Последние находят отражение в соответствующем разряде лесоустойчивости и в частности в размерах лесных выделов.

Совокупности ассоциаций насаждений, представляющие в лесном фонде аналоговые группы (близкие по главным параметрам местообитаний и свойств биоценозов), по предложению белорусских типологов [18] именуется группами взаимозамещаемых ассоциаций участков одного типа леса. При классификационных типологических построениях лесных биогеоценозов в современных условиях выделение таких блоков в составе типа леса вполне оправдано, хотя глубина дифференциации должна быть разумно ограниченной.

Группируя участки насаждений по степени их однородности, целесообразно ограничиться выделением комбинированных (синтетических) совокупностей участков на уровне групп ассоциаций, однородных по эдафическим и фитоценотическим признакам, т. е. совокупностей групп ассоциаций, взаимозамещаемых одновременно по породе-субэдификатору и по почвенно-гидрологическим условиям. Очевидно, что последние будут идентифицироваться однородностью растительности напочвенного покрова насаждений. Изложенный подход хорошо согласуется с принципами выделения классических ботанических ассоциаций [6, 12, 17].

Итак, в целях упрощения представлений и в отсутствие практической необходимости сегодня к одному типу БГЦ целесообразно относить совокупности группы ассоциаций насаждений, выделяемых по комплексам главных признаков. В состав условно коренных сосняков черничного свежего типа в условиях европейской средней тайги целесообразно включать биогеоценозы с преобладанием сосны чернично-зеленомошного ряда на свежих средне- и сильноподзолистых супесчаных почвах, подстилаемых двучленными наносами или неотсортированными супесчано-суглинистыми моренными отложениями (чернично-зеленомошные, бруснично-черничные зеленомошные, разнотравно-черничные зеленомошные). Эдификаторная компонента биогеоценозов может быть образована чистой сосной, сосной с примесью ели (в нижней части полога); сосной с березой, а также сосной с елью и березой.

Сосновые и березово-сосновые биогеоценозы в условиях средней тайги представлены простыми по строению полога одноярусными среднесомкнутыми полными разновозрастными древостоями; сосняки еловые – относительно разновозрастными высокополнотными ценозами с отчетливой вертикальной сомкнутостью или сомкнутыми двухъярусными разновозрастными древостоями.

Сосновые насаждения черничного типа леса существенно различаются по запасу стволовой массы. При прочих равных условиях наиболее высокие запасы отмечены не в сложных по профилю полога сосновых с елью древостоях (как отмечают некоторые исследователи), а в разновозрастных сосновых с березой (до 2 единиц состава) и в чисто сосновых ценозах. В насаждениях с явным доминированием сосны и ель, и береза по всем по-

казателям роста уступают главной породе, что можно рассматривать как еще одно доказательство правомерности наличия коренных сосняков черничных в черничном типе условий произрастания таежной зоны. Насаждения разных типов БГЦ имеют различия в структуре растительности напочвенного покрова. Наибольшим видовым разнообразием кустарничково-травянистой растительности отличаются насаждения с примесью березы, а также чистые сосняки; самый узкий спектр видов высших растений в сосняках с елью в нижнем ярусе. В частности, в сосняках с березой черничного типа на среднеподзолистых супесчаных почвах, подстилаемых карбонатной мореной, в условиях средней тайги чаще всего можно встретить представителей семейства орхидных (любка двулистная, ятрыжник пятнистый и каллипсо).

Существенно расширяется биогеоценотический спектр в производных лесах. Резко возрастает доля березовых сосняков, характеризующихся сложной структурой напочвенного покрова. В период относительной стабилизации полога (стадия жердняка) наиболее представлены биогеоценозы разнотравно-кустарничково-зеленомошного, вейниково-кустарничкового, луговиково-кустарничкового, разнотравно-кипрейно-злакового типов.

Исходные типы коренных БГЦ в порядке снижения вклада в разнообразие производных сообществ составляют ряд: сосняки березовые, чистые, березово-еловые и еловые. В условиях средней подзоны тайги примерно на 5 ... 10 % площадей вырубок исходных сосняков березовых возможно формирование чистых березняков, а на 15 ... 18 % площадей образуются березняки сосновые и сосновые с елью. Представление о дивергентно-конвергентной сущности генетических рядов (типов) формирования производных насаждений после сплошных рубок в условиях исходного сосняка черничного дает схема на рис. 2.

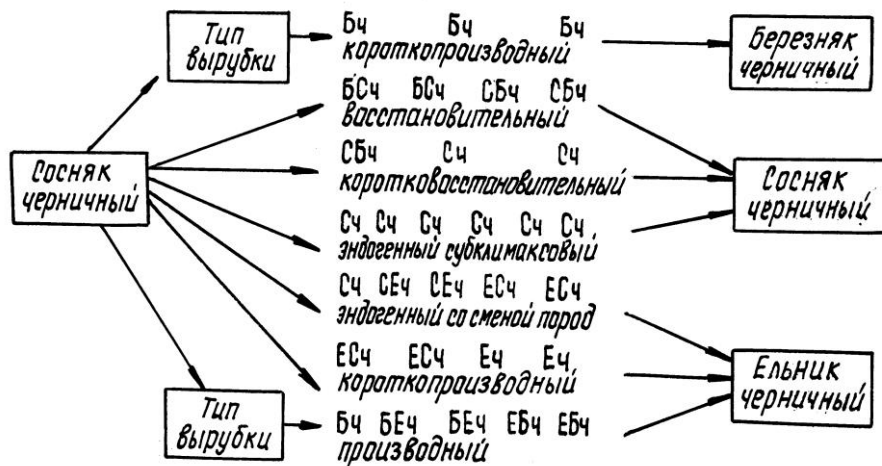


Рис. 2. Генетико-динамические ряды развития типов леса таежной зоны европейской части России. Производные типы биогеоценозов: Еч, Бч, Сч – ельник, березняк, сосняк черничные; БЕч, ЕСч – березняк елово-черничный и ельник сосново-черничный

Как следует из рис. 2, процесс восстановительно-возрастной динамики лесных экосистем рассматриваемого типа может идти по нескольким разнонаправленным «траекториям». Совокупности биогеоценозов каждой такой траектории образуют гомогенные генетические и динамические ряды (типы древостоев, естественно-генетические возрастные ряды древостоев или типы формирования насаждений) [4, 5, 11, 14, 16]. Перечисленные понятия, заявленные разными авторами, характеризуют одинаковую природную сущность объединенных единым генезисом групп насаждений, но различаются объемами охватываемых территориальных единиц.

Каждый из изображенных на рис. 2 рядов представляет развитие определенного производного типа лесного БГЦ. В соответствии с классификационными построениями Б.П. Колесникова [5], В.Н. Федорчука [14] и др. в тех случаях, когда сохраняется главная порода, производные типы сообществ относятся к БГЦ исходного типа леса; когда происходит смена пород, получают производные типы БГЦ или производные (еловые или березовые) типы леса. В лесоустроительных инструкциях на Европейском Севере все производные насаждения получают двойную номенклатуру: по типу древостоя (типу леса) и по типу условий произрастания.

Объединяемые единством генезиса и динамических закономерностей биогеоценозы не всегда будут характеризоваться высокой однородностью структуры и даже почвенно-гидрологических условий. Необходимо учитывать, что при изложенном (дедуктивном по сути) подходе к группировке лесных участков в одну совокупность попадут насаждения, представляющие разные этапы единых восстановительных смен или одного типа формирования. Неоднородность структуры БГЦ здесь может быть следствием микроэволюции видов, формирующих данный фитоценоз за десятки лет. Движущими механизмами микроэволюции выступают изменения в лесной среде, накапливающиеся в ценозе под влиянием изменений микроклимата, лесной подстилки, почвенной влагообеспеченности и т. п. Как указывал Б.П. Колесников [4], происходящие в подобных рядах смены обусловлены изменениями режимов средообразующих факторов, которые, однако, не выходят за пределы определенной нормы, соответствующей лесорастительным условиям данного типа леса.

Отнесение однопорядковых, связанных единым генезисом насаждений к тому или иному ряду – непростая задача. На помощь может прийти принцип экологических рядов [14, 15], основывающийся на использовании указательных (дифференциальных) групп растений напочвенного покрова. Сходство в динамике БГЦ в гомогенных рядах БГЦ должно проявляться как в ретроспективе (по истории формирования), так и в трендах последующего развития. Только в этом случае биогеоценозы могут представлять по настоящему однородную совокупность – один тип биогеоценоза. В соответствии с рис. 2 в результате развития лесообразовательного процесса в рассматриваемых условиях возможно формирование производных типов леса (длительноустойчивого ельника черничного и короткопроизводного берез-

няка черничного), т. е. подтверждается существование онтогенетических циклов ель – сосна – ель с вариациями березовых фаз.

Очень пестрая множественность производных древостоев образуется на месте исходных сосновых с елью ценозов. Почти на 30 % площади исходных сосняков еловых и березово-еловых происходит смена пород: сосна полностью уступает место ели. Среди производных насаждений сосновой формации здесь представлены сосняки еловые кустарничково- (чернично-) зеленомошные, а также сосняки березово-еловые и березово-еловые кустарничково-зеленомошные, вейниковые, кустарничково-вейниковые.

Весьма примечательно, что с развитием ценозов по этому направлению ель перехватывает у сосны позиции эдификатора еще до того, как приобретет доминирующую роль в пологе древостоя. Еще находясь в нижней части полога, она формирует свой специфический еловый микроклимат, полностью блокирующий возобновление главной породы и предопределяющий грядущее полное ее вытеснение.

Производные насаждения повсеместно характеризуются большим разнообразием строения, структуры и роста. Естественно, они очень динамичны, в особенности на этапах молодняков и средневозрастных образований. Отнесенная на соответствующий возраст продуктивность производных насаждений, сформировавшихся на концентрированных вырубках 1950–1970 гг., в целом не уступает продуктивности коренных. Примерно на четверти площадей средневозрастные чистые сосновые и березово-сосновые древостои превосходят по запасу коренные. Вместе с тем отмечено снижение продуктивности насаждений, формирующихся на рубках последних десятилетий. Связано это, с одной стороны, с закономерным ухудшением структуры и снижением продуктивности насаждений в истощающемся лесосечном фонде, с другой – с усилившимся отступлением лесозащиты от лесоводственных требований. Самой низкой продуктивностью характеризуются производные низкополнотные березовые сосняки вейникового и кустарничково-злакового типов БГЦ. Формирование их связано с образованием в первое десятилетие после рубки типично вейникового покрова (вейниковые и луговиковые типы рубок по И.С. Мелехову, Л.Н. Корконосовой, П.В. Стальской, В.Н. Нилову, В.Г. Чертовскому).

На основании изложенного можно сделать следующее заключение.

1. Биогеоценотическая структура насаждений, объединенных типом местообитания сосняк черничный свежий, довольно разнообразна. Биогеоценотическая неоднородность выделяемых на практике типов леса совершенно очевидна и поскольку имеет хозяйственную значимость, требует разукрупнения спектра типов леса, хотя бы на уровне сообществ, различающихся по примеси субэдификатора.

2. Сосняк черничный свежий – самостоятельный тип леса, имеющий климаксовые корни. Подтверждением является наличие в лесном фонде многих районов старовозрастных сосняков с более высокой продуктивностью (при прочих равных показателях) по сравнению с ельниками и даже сосняками еловыми в тех же лесорастительных условиях.

3. Отмечаемое повсеместно в условиях тайги повышение роли ели в сосновых экосистемах может быть связано с изменением характера лесных пожаров, высокой концентрацией сплошных рубок. Следует признать, что в условиях европейской тайги сохранились и имеют большую хозяйственную значимость природные онтогенетические циклы развития лесных экосистем сосна – ель – сосна. Организуя хозяйство на долговременной основе, необходимо учитывать подобные природные закономерности и возможности управления ими.

4. Во избежание ошибок при классификации производных лесов целесообразно разработать список коренных и производных биогеоценозов с характеристиками основных критериев их генетической и динамической природы. Требуется установить критерии генерализованных динамических рядов (типов формирования) производных типов БГЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дыренков С.А. Обоснование методики изучения динамики растительности в лесных резерватах // Изв. ВГО. – 1983. – Вып. 4, т.115. – С. 310–316.
2. Ипатов В.С., Герасименко Г.Г. Типы леса как система динамических рядов // Теория лесообразовательного процесса: Тез. докл. Всесоюз. конф. – Красноярск, 1991. – С. 59–61.
3. Колесников Б.П. Генетическая классификация типов леса и ее задачи на Урале // Вопросы классификации растительности. – Свердловск, 1961. – С. 47–59.
4. Колесников Б.П. Классификация форм динамики лесов и лесного покрова // Развитие лесного хозяйства Карпат. – Ужгород, 1968. – С. 7–10.
5. Колесников Б.П. Генетический этап в лесной типологии и его задачи // Лесоведение. – 1974. – № 2. – С. 3–20.
6. Лесков А.И. Принципы естественной системы ассоциаций // Ботан. журн. – 1943. – Т. 28, № 2. – С. 496–507.
7. Мелехов И.С. Динамическая типология леса // Лесн. хоз-во. – 1968. – № 4. – С. 15–20.
8. Мелехов И.С. Лесоведение и лесоводство. – М., 1970. – 148 с.
9. Рысин Л.П. Концепция биогеоценоза и современная лесная типология // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. – М., 1980. – С. 23–24.
10. Рысин Л.П. Лесная типология в СССР. – М., 1982. – 218 с.
11. Смолоногов Е.П. Лесообразовательный процесс и генетическая классификация типов леса // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1995. – Вып. 18. – С. 43–58.
12. Сукачев В.Н. Растительные сообщества. Введение в фитоценологию. – Л., 1928. – 232 с.
13. Уткин А.И. Рецензия на книгу «Мозаично-циклическая концепция экосистем» под редакцией Г. Реммерта // Лесоведение. – 1992. – № 5. – С. 74–75.
14. Федорчук В.Н. О распознавании лесотипологических единиц // Лесоведение. – 1979. – № 4. – С. 76–82.
15. Федорчук В.Н. Признаки биогеоценозов и качество типологических классификаций лесов // Современные проблемы лесной типологии. – М., 1985. – С. 65–69.

16. *Цветков В.Ф.* Динамические ряды лесовозобновления в связи со сплошными рубками на Европейском Севере России // Вопросы лесоведения и лесоводства: Науч. тр. МГУЛ. – М., 1995. – № 274. – С. 50–57.

17. *Шенников А.П.* Введение в геоботанику. – М., 1964. – 424 с.

18. *Юркевич И.Д., Гельтман В.С., Голод Д.С.* Типы лесов Полесья. – Минск, 1977. – 254 с.

19. *Khilman A.O.* Phlancnbiologishc Studien fus Russisch Lapland // Acta soc. pro. Fauna end Flora. – Helsingfors, 1890. – Т. 60, N 3.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 27.11.01

V.F. Tsvetkov

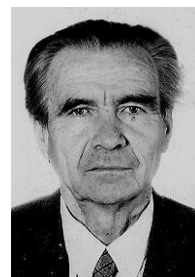
On Biogeocenosis Spectrum of Blueberry Pine Forest of Middle Taiga Subzone

Biogeocenosis spectrum of stands united by the growing condition type of blueberry pine forest is shown to be conditioned by relative ecotope richness on the one side and wide set of biological and ecological characteristics of tree species taking part in cenosis formation on the other side. The forest type combines several biogeocenosis types being economically significant.

УДК 630*524.11

В.Ф. Лебков

Лебков Виктор Федорович родился в 1929 г., окончил в 1951 г. Брянский лесохозяйственный институт, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института лесоведения РАН. Имеет 80 печатных работ по вопросам лесоведения, лесоустройства и лесной дендрометрии.



АППРОКСИМАЦИЯ ОБРАЗУЮЩЕЙ СТВОЛА И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЕГО ФОРМЫ ФУНКЦИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Предложен способ аппроксимации образующей древесного ствола и идентификации его формы функцией распределения. Приведен пример использования функции Вейбулла для аппроксимации ствола сосны. Отмечена достаточно высокая эффективность нового метода. Показаны перспективы его практического применения.

образующая древесного ствола, форма ствола, функция распределения.

Древесный ствол является одним из важнейших объектов, изучаемых лесной дендрометрией. К настоящему времени сложились два направления его лесотаксационных исследований. Первое – оценка формы ствола как физического тела, выявление связей диаметров с высотой их измерения, т. е. определение параметров сбега ствола. Второе – разработка методов исследования образующей ствола (кривой, выражающей его продольную проекцию на плоскость) в целях определения объема ствола как тела вращения образующей. Для оценки сбега ствола используется его диаметр в местах обмера, образующей – радиус, что не меняет сути.

Оба направления отражены во многих публикациях [2, 4 и др.]. В них, как правило, признаются специфичность, автономность и самостоятельность задач, с одной стороны, теоретического обоснования формы древесного ствола, с другой – наиболее адекватной аппроксимации образующей. В то же время последней отводится роль лишь вспомогательного средства характеристики формы ствола [2].

Поскольку попытки выразить форму ствола уравнениями регрессии не увенчались должным успехом, она изучается косвенными методами: видовых чисел, коэффициентов формы, анализа чисел сбега как отношения диаметров на децилях высоты ствола к диаметру на высоте груди или на одной десятой высоты дерева, оценки формы ствола по высоте точки касания [7] и др. На этом пути установлен ряд закономерностей, широко используемых в лесохозяйственной практике.

Для аппроксимации образующей ствола более века использовали: степенную, логарифмическую функции; полиномы различных степеней,

вплоть до пятнадцатой; кусочную аппроксимацию (сплайн-функцию). К обсуждению теоретических аспектов формообразования чаще всего традиционно привлекают степенную образующую, а к вычислениям – полиномиальные и другие аппроксимации [4].

Интенсивное развитие электронно-вычислительной техники в последние два-три десятилетия открыло широкие возможности для повышения оценок связей показателей формы ствола с его объемом, а также совершенствования подбора математических уравнений образующей ствола. Однако это не решило проблему построения модели, идеально аппроксимирующей образующую ствола и одновременно фиксирующей его форму.

Очевидно, нужны новые подходы к решению этой двуединой проблемы. Цель настоящей статьи – обоснование принципов ее решения.

Поисковая разработка должна начинаться с переосмысливания традиционных взглядов на характер кривой – образующей ствола. К ней можно подойти как к совокупности значений диаметров (объемов, массы) элементарных отрезков, на которые можно расчленить ствол от вершины до комля. Эту совокупность целесообразно исследовать статистическими методами, изучить ее структуру, особенности распределения диаметров (объемов, массы) отрезков, подобно тому, как это делается, например, при изучении распределения стволов по диаметру в древостое. Упорядоченное размещение элементарных отрезков ствола, возрастание диаметра от вершины к комлю не меняет существа подхода. Более того, эта упорядоченность позволяет интерпретировать образующую ствола в качестве экспериментальной (естественной, природной) кумулятивной кривой распределения, если ее нулевое значение совместить с вершиной ствола, а высоту дерева рассматривать как сумму элементарных отрезков ствола, принимая то и другое за 100 %.

Задача сводится к отысканию теоретических параметров распределения элементарных отрезков ствола по диаметру. Число таких равновеликих отрезков может быть произвольным, но обеспечивать группировку отрезков в классы (ступени) толщины для расчета статистик распределения.

Возникает вопрос, какой функцией распределения целесообразно пользоваться для аппроксимации образующей ствола. Анализ достоинств и недостатков теоретических уравнений непрерывных распределений приведен в работах [1, 3, 5, 6 и др.]. Желательно подобрать уравнение, наилучшим образом отвечающее требованиям: точности аппроксимации кривой распределения, минимизации числа параметров уравнений, гибкости и универсальности аппроксимации экспериментальных рядов распределений любой формы, возможности расчетов коэффициентов уравнений без предварительной группировки единиц наблюдения в классы. По совокупности этих признаков наиболее приемлемы уравнения распределения и плотности распределения Вейбулла [8, 9]:

$$g(y) = (c/b)((y - a)/b)^{c-1} \exp[-((y - a)/b)^c], \quad (1)$$

где $g(y)$ – теоретические численности, доли единицы;

y – изучаемый признак;

c – параметр формы;

b – параметр масштаба;

a – параметр сдвига (при несовпадении начала кривой с центром координат);

$$y = abx^{c-1}e^{-bx}, \quad (2)$$

где y – теоретические численности, доли единицы;

x – изучаемый признак;

a, b, c – параметры сдвига, масштаба и формы.

В отсутствие параметра сдвига уравнение Вейбулла имеет всего два коэффициента: масштаба и формы. Коэффициент масштаба определяется, с одной стороны, диаметром комлевой части ствола, с другой – расстоянием и разностью диаметров между точками перегиба кривой в нижней и верхней частях ствола, т. е. плотностью «заселения» центральных ступеней диаметра ствола. Коэффициент формы комплексно выражает косость (асимметрию) и крутость (экспесс) кривой плотности распределения диаметров ствола. Его по существу можно считать истинным коэффициентом формы ствола, в отличие от традиционно вкладываемого в этот термин содержания, поскольку за ним скрывается не соотношение диаметров ствола в двух точках, а характер образующей ствола на всем ее протяжении.

В качестве примера приводим результаты аппроксимации по уравнению Вейбулла для типичного модельного дерева сосны I класса роста, взятого автором на пробной площади 3-1984 (Емцовский учебно-опытный лесхоз Архангельского государственного технического университета, Архангельская область). Возраст дерева 164 года, диаметр на высоте груди (в коре) 38,4 см, высота 26,0 м, коэффициенты формы: $q_1 = 0,81$, $q_2 = 0,68$, $q_3 = 0,46$, видовое число $f = 0,464$. Расчеты на персональном компьютере выполнены Н.Ф. Каплиной.

Натурные обмеры ствола произведены на высотах 0,15 (пень); 0,5; 2; 4; 6 ... 24; 25 м (основание вершинки), а также 1,3 (высота груди), 6,5; 13,0 и 19,5 м (четверти высоты ствола), что обычно делается при определении объема ствола по секциям по сложной формуле Губера, в данном случае по двухметровым секциям, кроме первой однометровой.

В качестве рабочего принято уравнение вида

$$y = 1 - e^{-(x/b)} \quad (3)$$

с обозначениями, указанными для формул (1) и (2).

Анализ определения диаметров ствола в различных точках образующей, а также объемов секций и ствола в целом показал наличие весьма

существенных погрешностей по секциям в начале и конце кривой, особенно в вершинной части ствола. В связи с этим для повышения точности аппроксимации Н.Ф. Каплина предложила ввести в уравнение Вейбулла еще один параметр формы, обозначив первый c_1 , второй c_2 . Рабочее уравнение приняло вид

$$y = 1 - 2 / (e^{-(x/b)^{c_1}} + e^{-(x/b)^{c_2}}). \quad (4)$$

Введение дополнительного коэффициента формы существенно повысило точность аппроксимации образующей ствола и определения его объема в целом и по секциям, поэтому некоторое усложнение уравнения оправдано с точки зрения более адекватного отражения формы ствола в верхней и нижней половинах.

Результаты расчетов по обоим вариантам для опытного дерева приведены в табл. 1 и 2 и для наглядности на графике (см. рисунок).

Из табл. 1 и рисунка можно заключить, что и двух-, и трехпараметрические уравнения дают близкие результаты в центральной части образующей, но весьма различающиеся в пользу II варианта в секциях

Таблица 1

Относительная высота (относительная численность единиц наблюдения) и диаметры ствола в различных точках образующей, рассчитанные по уравнению Вейбулла с двумя (I вариант) и тремя (II вариант) параметрами

Экспериментальные данные			Расчетные данные			
Высота точки измерения h		Диаметр в коре в точке измерения, см	Высота, доли единицы		Диаметр, см	
м	доли единицы $(H-h)/H$		I вариант	II вариант	I вариант	II вариант
0,5	0,981	44,1	0,992	0,998	41,6	40,6
2	0,923	35,8	0,904	0,884	36,7	37,2
4	0,846	34,2	0,865	0,831	33,6	34,6
6	0,769	31,5	0,777	0,728	31,3	32,6
8	0,692	30,2	0,726	0,676	29,4	30,6
10	0,615	28,5	0,653	0,610	27,7	28,6
12	0,538	26,6	0,565	0,539	26,0	26,6
14	0,462	25,8	0,527	0,510	24,4	24,4
16	0,385	23,0	0,394	0,414	22,8	22,1
18	0,308	19,7	0,254	0,313	21,0	19,5
20	0,231	17,2	0,166	0,246	19,1	16,6
22	0,154	11,2	0,040	0,118	16,8	13,1
24	0,077	6,3	0,006	0,047	13,6	8,6
25	0,038	2,5	0,002	0,011	11,1	5,6
Обмеры ствола в дополнительных точках						
19	0,250	17,8	0,186	0,261	19,6	17,4
13	0,500	26,3	0,551	0,528	25,2	25,5
6,5	0,750	31,2	0,766	0,716	30,8	32,1

1,3	0,950	38,4	0,950	0,950	38,4	38,4
0,15	0,994	52,6	1,000	1,000	50,9	42,8

Примечание. H – высота дерева, м. Значения параметров уравнений:
 I вариант – $b = 28,03$ см, $c = 3,486$; II вариант – $b = 29,06$ см, $c_1 = 1,558$, $c_2 = 4,563$.

Образующая ствола модельного дерева сосны: 1 – экспериментальная кривая; 2 – кривая по двухпараметрическому уравнению Вейбулла; 3 – образующая по уравнению, содержащему три параметра

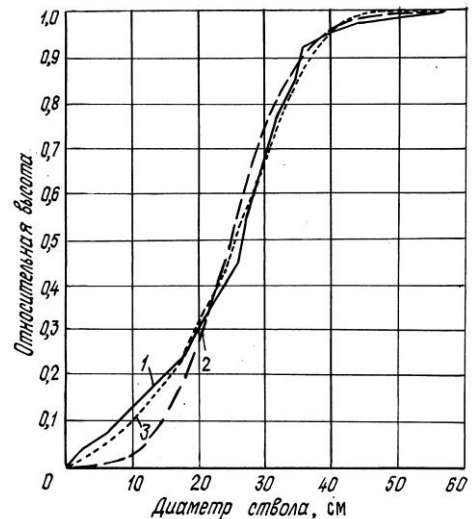


Таблица 2

2*

Отклонения расчетных объемов ствола в коре от фактического при аппроксимации образующей ствола по двух- и трехпараметрическим уравнениям распределений

Секция, м (начало – окончание)	Эмпирические данные		Расчетные данные		Отклонение от эксперимен- тальных данных, %	
	м ³	%	I вариант	II вариант	I вариант	II вариант
0–1	0,153	10,9	0,136	0,129	-11,1	-15,3
1–3	0,201	14,4	0,212	0,218	5,2	7,8
3–5	0,184	13,1	0,177	0,188	-3,7	2,6
5–7	0,156	11,2	0,154	0,167	-1,4	6,9
7–9	0,143	10,3	0,136	0,147	-5,3	2,7
9–11	0,128	9,1	0,120	0,129	-5,8	0,9
11–13	0,111	8,0	0,106	0,111	-4,2	0,1
13–15	0,105	7,5	0,094	0,094	-10,3	-10,4
15–17	0,083	5,9	0,082	0,077	-1,9	-7,8
17–19	0,061	4,4	0,070	0,060	14,1	-1,8
19–21	0,046	3,3	0,057	0,043	23,3	-6,8
21–23	0,020	1,4	0,044	0,027	124,4	37,6
23–25	0,006	0,4	0,029	0,012	365,3	87,7
25–26	0,001	0,1	0,019	0,005	1860,7	399,1
Итого	1,398	100,0	1,436	1,407	2,7	0,6

вершинной части ствола. Как это сказывается на определении объема ствола, видно из табл. 2.

При расчете объема ствола явно недопустимые ошибки для вершинки и двух примыкающих к ней секций получены как по I, так и II вариантам уравнения. Этими ошибками можно пренебречь, поскольку суммарный объем трех начальных от центра координат секций равен всего 1,9 % объема ствола. Средние ошибки определения объема секций, за вычетом вершинных, составили: по двухпараметрическому уравнению систематическая – 0,1, случайная 10,0 %, по трехпараметрическому соответственно – 1,9 и 7,0 %. Отклонение расчетного объема всего ствола от фактического значения в I варианте равно 2,7, во II всего 0,6 %.

Точность уравнений распределений можно установить, сравнивая результаты наших исследований с данными, полученными по уравнению степенной образующей [4]

$$y = 3,4418x^{0,7814}, \quad (5)$$

где y – диаметр ствола, см, на относительной высоте x от вершины дерева.

Рассчитанный с использованием уравнения (5) объем ствола оказался равным $1,534 \text{ м}^3$, ошибка в абсолютном выражении $0,136 \text{ м}^3$, или 9,7 %.

Для более полного суждения о точности определения объема ствола с применением функции Вейбулла в опытном порядке рассчитан объем ствола 22 модельных деревьев, срубленных автором на семи пробных площадях в 1967–1970 гг. в сосняках Красноярского края. Возраст модельных деревьев 49 ... 240 лет, диаметр на высоте груди 8,5 ... 58,0 см, т. е. взятый для оценки материал достаточно разнороден. Ошибки определения объема дерева даже в такой неоднородной совокупности составили (%):

	I вариант	II вариант
Систематическая	+1,0	+ 0,2
Случайная	5,3	3,0
R^2	0,97	0,99

Уровень ошибок в I варианте несколько выше, чем во II, однако в обоих случаях вполне приемлем для практических расчетов.

Можно констатировать, что реализация идеи аппроксимации образующей ствола функцией распределения достаточно надежно обеспечивает высокую точность результатов при определении объема всего ствола и удовлетворительную – для отдельных его секций. Это следует учитывать при использовании теоретической модели образующей ствола для камеральной сортировки ствола, в частности для расчета выхода сортиментов различных групп крупности применительно к действующим нормативам диаметров в верхнем отрубе и длин сортиментов. В сочетании же с натурным определением сортообразующих пороков может идти речь и о разработке сортиментно-сортных таблиц.

Оценивая преимущества трехпараметрического уравнения, содержащего два коэффициента формы, следует отметить, что изменение коэффициента c_1 более существенно отражается на характере левой вершинной ветви образующей ствола, а c_2 – правой, прикомлевой части, что легко обна-

руживается при поочередном варьировании их значений. «Чувствительность» трехпараметрического уравнения на изменение формы ствола существенно выше, чем двухпараметрического. Чем больше коэффициенты формы, тем меньше сбежистость ствола.

Число выборочных наблюдений для аппроксимации образующей может быть различным. В нашем примере оно равно 19 (см. табл. 1). При использовании меньшего числа точек (например 5: диаметра у пня, на 1,3 м и на трех четвертях высоты ствола) параметры составили: по первому варианту $c = 3,44$, $b = 27,94$, по второму $c_1 = 1,79$, $c_2 = 4,50$, $b = 28,98$. Расчетный объем ствола (по I варианту) оказался равным $1,4103 \text{ м}^3$, отклонение от фактического $+ 0,97 \%$, что еще раз подтверждает высокую эффективность применения уравнения распределения Вейбулла для аппроксимации образующей древесного ствола.

Представляет интерес использование функции распределения для теоретического выражения закономерностей формы древесного ствола различных древесных пород. В работе [2] приведены относительные значения диаметров стволов сосны, ели и березы на децилях высоты дерева. Рассчитанные по ним параметры уравнения Вейбулла оказались следующими:

	I вариант		II вариант		
	b	c	b	c_1	c_2
Береза	74,1	1,91	77,5	0,88	4,27
Сосна	79,2	2,90	80,9	1,56	5,07
Ель	82,5	2,81	85,3	1,28	6,35

За 100 % принят диаметр на $0,1H$. Коэффициент b есть относительный диаметр на $0,368H$.

Из приведенных данных видно, что в нижней половине ствола наибольшая полндревесность, характеризуемая коэффициентом c_2 , свойственна ели, далее идут сосна и береза. В верхней половине наибольшая полндревесность наблюдается у сосны, затем у ели и березы. Это объясняет близкие позиции сосны и ели по полндревесности всего ствола (коэффициент c двухпараметрического уравнения) и хорошо выраженные отличия березы от ели и сосны.

Выводы

1. В настоящее время нет универсальных способов аппроксимации ствола, одновременно идентифицирующих его форму.
2. Необходимо изменить подход к трактовке сущности образующей ствола и, как следствие, использовать для ее аппроксимации функции распределений изменения диаметра ствола от вершины к комлю.
3. Опытная проверка подтвердила эффективность принятой гипотезы. Правильно подобранная функция распределения, с одной стороны, обеспечивает достаточную точность аппроксимации образующей ствола, с дру-

гой – возможность придания коэффициентам формы уравнений распределений значений истинных коэффициентов формы ствола. Это позволяет более полно использовать ее для исследований формы ствола.

4. Изменение технологии аппроксимации образующей ствола будет способствовать совершенствованию теории формы древесного ствола и, при необходимости, реконструированию федеральных и региональных нормативных баз в виде совокупности общих и частных объемных, сортиментно-сортных и основывающихся на них товарных таблиц для главных древесных пород лесного фонда страны. Одной из перспективных областей оперативного моделирования формы ствола может стать управление ею через прогноз, контроль, мониторинг и воздействие на формообразующие факторы (густота древостоя и т. п.). Целесообразно также исследовать возможности аппроксимации образующей кроны дерева по ее диаметру, объему и массе с использованием функций распределений перечисленных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганина Н.В. Распределение деревьев по диаметру с помощью функции Вейбулла // Лесоведение. – 1984. – № 2. – С. 65–70.
2. Захаров В.К. Лесная таксация. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 405 с.
3. Каплунов В.Я., Кузьмичев В.В. Взаимосвязь рядов распределения числа стволов по толщине, сумме площадей сечений и запасу // Матер. конф. «Строение, рост и инвентаризация лесонасаждений». – Красноярск, 1965. – С. 46–52.
4. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. – Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.
5. Лебков В.Ф. Типы строения древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 12–21.
6. Лебков В.Ф. Динамика распределений деревьев сосны по морфометрическим показателям ствола и кроны // Лесоведение. – 1990. – № 5. – С. 57–69.
7. Шавнин А.Г. Определение формы древесного ствола по высоте точки касания // Лесн. хоз-во. – 1986. – № 4. – С. 53–54.
8. Bailey R.L., Dell T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function // Forest Sci. – 1973. – Vol. 19, N 2. – P. 97–104.
9. Killki P., Päivinen R. Weibull function in the estimation of the basal area dbh-distribution // Silva fenn. – 1986. – Vol. 20, N 2. – P. 149–156.

Институт лесоведения РАН

Поступила 06.06.01

V.F. Lebkov

Approximation of Stem Generatrix and its Form Identification by Cumulative Distribution Curve

The method of approximation of stem generatrix and its form identification by cumulative distribution curve is proposed. The example of using Weibull function for approximation

of pine stem is given. Sufficiently high efficiency of a new method has been registered. Prospects of its practical application are shown.

УДК 630* 231

Е.Н. Наквасина

Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ботаники и общей экологии Поморского государственного университета. Имеет более 100 печатных работ в области лесных культур и лесного семеноводства.



ДИНАМИКА РАНГОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ПО ВЫСОТЕ В ПОТОМСТВЕ КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ*

Рассмотрена дифференциация деревьев по высоте в потомстве климатипов сосны обыкновенной, произрастающих в 21-летних географических культурах Архангельской области. Показаны особенности смены ранговых мест деревьев с возрастом в зависимости от географического происхождения потомства.

сосна обыкновенная, климатипы, интенсивность роста, ранжирование.

Древостои автохтонных популяций сосны и ели неоднородны по показателям роста (высота, диаметр, объем). Деревья делятся на ранги (классы). Дифференциация деревьев по росту, имеющая место в первые годы жизни, сохраняется и в более старшем возрасте. Переход деревьев из одной категории роста в другую наблюдается редко. Стабилизация рангового положения деревьев происходит в 10...15 лет, а диагностику можно вести уже с 5...7 лет с точностью 0,8–0,9 [1–6].

Характер адаптации автохтонных популяций можно признать условно одинаковым и не оказывающим выраженного влияния на факторы индивидуального роста растений и их дифференциацию. В то же время в культурах инорайонного происхождения адаптационная устойчивость расы, закрепленная наследственно, может внести заметный вклад в рост и дифференциацию деревьев.

Формирование молодняков инорайонного происхождения и дифференциация деревьев в них изучены слабо. В доступной нам литературе име-

* Сбор материалов исследований проводили в культурах государственной географической сети, созданных в 1977–1978 гг. в Плесецком лесхозе Архангельской области (средняя подзона тайги). Куратор объектов – Северный НИИ лесного хозяйства, научное руководство при создании объекта осуществлялось Т.С. Непогодьевой. Автор благодарит Т.В. Бедрицкую и Н.В. Улисову за помощь в сборе и обработке полевого материала.

ются сведения о распределении деревьев по высоте в климатипах сосны в 13-летних культурах, созданных в Воронежской области семенами из Финляндии.

Так, за 10 лет роста 10 % деревьев не изменили свой ранг, 45 % – улучшили, 45 % - ухудшили. Есть различия и по зонам Финляндии, откуда были взяты семена: в северофинских популяциях лучших по росту деревьев не выделено, в среднефинских их доля составила 14 %, а в южнофинских – 23 % [7].

Рассматривая рост сосны Банка семи происхождений, С.Магнуссен, В. Смит и К. Йитмен [8] установили, что различия между группами быстро- и медленнорастущих деревьев с возрастом увеличивались, а в пределах групп становились менее заметны. Ранги по высоте культур 34-летнего возраста разного происхождения тесно связаны с высотой сеянцев в питомнике, в культурах 1-го года жизни и 18-летнего возраста. Между популяциями, близкими по географическому происхождению, наблюдались устойчивые различия, что говорит о возможностях отбора в пределах географической расы.

При перемещении потомства сосны в другие условия произрастания могут измениться закономерности рангового распределения деревьев в популяции. Это связано с различиями в условиях формирования генотипа и его реализации при культивировании потомства.

Дифференциацию роста сосны обыкновенной изучали в географических культурах Плесецкого лесхоза. Отбирали климатипы северо- и среднетаежного происхождения (от 60 до 68° с.ш.), сохранившие рядовое расположение культур (приживаемость близка к 50 % и выше). Замеры высот деревьев проводили на учетных рядах в 12- и 21-летних культурах.

Ранговое положение каждого дерева оценивали редуцированным числом (ранговым коэффициентом). Деревья распределяли по группам ранговых коэффициентов (табл. 1). Наибольшая представленность деревьев различных групп по высоте наблюдается в потомстве самого северного происхождения (Мурманская область). Здесь в 12- и 21-летних культурах встречаются деревья с редуцированным числом по высоте от 0,18 до 2,0 и более. В более южных климатипах (65 .. 61° с.ш.) это распределение сужено. Как правило, в 12-летних культурах преобладают деревья трех центральных групп (редуцированные числа от 0,2 до 1,5), а к 21-летнему возрасту – двух групп (редуцированные числа от 0,5 до 1,5). В этих потомствах, видимо,

Таблица 1

№ климатипа	Происхождение культур (область, республика; лесхоз; с.ш.)	Процент деревьев по ранговым группам высоты				
		0,00...0,25	0,26...0,50	0,51...1,00	1,01...1,50	1,51...2,00
1	Мурманская,	<u>1,8</u>	<u>9,1</u>	<u>38,2</u>	<u>47,3</u>	<u>3,6</u>
	Мончегорский, 67°51'	2,0	2,0	36,7	55,2	4,1
2	Мурманская,	–	<u>5,4</u>	<u>43,6</u>	<u>49,2</u>	<u>1,8</u>
	Кандалакшский, 67°00'	–	6,4	31,9	61,7	–

12	Карелия, Чупинский, 66°22'	–	<u>4,8</u>	<u>29,1</u>	<u>66,1</u>	–
			–	35,2	64,8	
3	Архангельская, Пинежский, 64°45'	–	<u>2,5</u>	<u>40,0</u>	<u>57,5</u>	–
			–	55,9	44,1	
4	Архангельская, Плесецкий, 62°54'	–	<u>4,3</u>	<u>34,8</u>	<u>60,9</u>	–
			–	48,9	51,5	
16	Карелия, Сортавальский, 61°50'	–	<u>6,5</u>	<u>39,2</u>	<u>54,3</u>	–
			–	53,3	46,7	
81	Тюменская, Сургутский, 61°25'	–	<u>14,3</u>	<u>25,0</u>	<u>60,7</u>	–
			–	37,0	63,0	
9	Вологодская, Тотемский, 60°00'	–	–	<u>48,4</u>	<u>51,6</u>	–
			–	33,3	63,4	3,3

Примечание. В числителе данные для 12-летних культур; в знаменателе – для 21-летних.

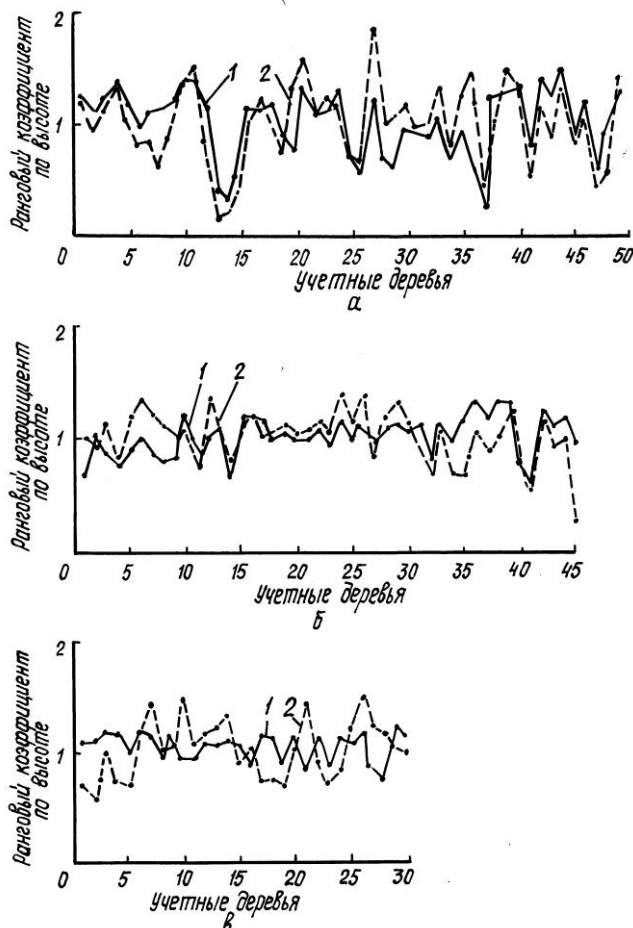
происходит некоторое выравнивание высот с возрастом, начинается интенсивный прирост по диаметру: разлет ранговых коэффициентов по диаметру в этот период выше (0,2 ... 2,0).

В самом южном из изучаемых климатипов, материнские насаждения которого произрастают на границе средней и южной тайги (Вологодская область, Тотемский лесхоз), распределение деревьев по высоте несколько иное. Здесь в 12-летних культурах высота деревьев более выравнена (ранговые коэффициенты 0,5 ... 1,5), и через 10 лет возросло число деревьев-лидеров с ранговым коэффициентом более 1,5. Это вызвано не усилением роста отдельных деревьев, а скорее снижением интенсивности роста основной части древостоя, что связано с адаптационными особенностями климата и отчасти разреженным стоянием деревьев при приживаемости культур около 50 %.

В климатипах из Мурманской области в 12-летних культурах доля крупных деревьев (выше среднего) составляла примерно половину, а спустя 10 лет увеличилась до 60 %. В климатипах из Архангельской, Тюменской областей и Карелии (61 ... 65° с.ш.) с возрастом доля таких деревьев снизилась на 2 ... 13 %, из Вологодской области возросла на 14 %.

Во втором десятилетии роста культур наблюдалось перераспределение деревьев по ранговым группам по высоте. В потомстве самых северных популяций из Мурманской области (67°51' с.ш.) за годы наблюдений ранг мелких деревьев в основном повысился на одну-две ступени, крупных – снизился. Снижение ранга у половины деревьев обусловлено началом репродукции деревьев – появлением женского и мужского «цветения». В культурах, исходные насаждения которых расположены в пределах 60 ... 65° с. ш., ранг деревьев ниже среднего значения высоты в климатипе сохранялся или увеличивался, у деревьев выше среднего значения сохранялся или снижался на одну ступень ранговой группы. Во всех климатипах северного происхождения примерно у 60 % крупных деревьев сохранялся ранг. В потомстве Вологодской области (60°00' с. ш.) количество деревьев, сохранивших свой ранг по высоте, составляет 43 %.

На рисунке показана динамика рангов деревьев трех климатипов сосны, имеющих разное географическое происхождение. Наибольшая интенсивность перераспределения ранговых мест характерна для потомства самого северного происхождения из Мурманской области, имеющего наибольшую приживаемость и густое стояние деревьев. Здесь резко выражены пики и спады кривых. Деревья-лидеры стойко удерживают свои позиции, сохраняя или усиливая их с возрастом. В местном климатипе изменения рангового положения менее значительны, хотя ход кривой распределения высот в 12- и 21-летних культурах однотипен. В культурах, созданных из вологодских семян, значительно снижается интенсивность роста деревьев, особенно деревьев-лидеров. Кривая роста 21-летних культур располагается ниже, чем кривая распределения высот в 12-летнем возрасте. Здесь проявляются индивидуальные особенности роста южной сосны, продолжается



Динамика рангов по высоте деревьев в потомстве климатипов сосны в географических культурах Архангельской области: а – Мурманская область, 67°51' с. ш.; б – Архангельская область, 62°54' с. ш.;

6 – Вологодская область, 60°00' с. ш.; 1 – 21-летние;
2 – 12-летние культуры

адаптация к более суровым условиям произрастания, отражающаяся в значительном снижении прироста по высоте и усилении по диаметру большинства деревьев в климатипе.

Между исходными размерами деревьев 12-летних культур и размерами их к моменту повторного обследования в климатипах из Мурманской, Архангельской, Тюменской областей наблюдается значительная и высокая корреляционная связь (табл. 2).

Умеренная связь установлена в климатипах из Карелии ($r = 0,44$). В потомстве из Вологодской области она очень слабая, отрицательная

Таблица 2

№ климатипа	Приживаемость 21-летних культур, %	Коэффициент корреляции		
		r	$\pm m$	t
1	75,6	0,692	0,049	16,73
2	68,3	0,794	0,054	14,72
12	65,9	0,435	0,110	3,94
3	73,0	0,792	0,064	12,41
4	61,3	0,554	0,103	5,35
16	59,5	0,435	0,121	3,60
81	51,6	0,649	0,111	5,83
9	47,7	-0,101	0,181	5,62

Примечание. $t_{5\%} = 2,1$; $t_{1\%} = 2,7$.

($r = -0,10$), что, видимо, связано со снижением интенсивности роста потомства в высоту.

Выводы

Применение метода рангового распределения при оценке культур сосны различного географического происхождения позволяет проследить особенности формирования их древостоев и тенденции в росте отдельных деревьев.

Географическое происхождение потомства сказывается на особенностях рангового распределения деревьев и связано с характером их адаптации в условиях конкретного места произрастания. Потомства сосны обыкновенной, материнские насаждения которых произрастают севернее 65° с. ш., при культивировании в средней подзоне тайги отличаются затянутым периодом интенсивного роста в высоту и слабым перераспределением деревьев по ранговым группам по сравнению с более южными потомствами. В фазе смыкания крон продолжается интенсивное перераспределение деревьев, как правило, в сторону высших ранговых групп. Деревья-лидеры выделяются в первое десятилетие роста культур и сохраняют свои позиции с

возрастом. Это позволяет вести их отбор в фазе индивидуального роста с точностью до 90 %.

У климатипов, родина которых расположена южнее 65° с. ш. (северо- и среднетаежные популяции), ранговое положение деревьев относительно стабилизируется к концу первого класса возраста.

У более южных по сравнению с местом испытания потомств (60° с. ш.) к 20-летнему возрасту культур наблюдается снижение интенсивности роста деревьев в высоту и переход деревьев-лидеров в низшие ступени ранжирования. Ранний отбор деревьев может привести к значительным ошибкам в оценке их роста и продуктивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А.Н., Маслаков Е.Л., Шестакова Т.А. Формирование древостоя и динамика социальных структур в культурах сосны // Тр. СПбНИИЛХ. – СПб.: НИИЛХ, 1999. – Вып. 1. – С. 52–57.
2. Ларин В.Б., Паутов Ю.А. Формирование хвойных молодняков на вырубках. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. – 142 с.
3. Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 162 с.
4. Маслаков Е.Л. Ранняя диагностика быстрорастущих деревьев сосны и ели в питомнике и культурах // Интенсификация выращивания лесопосадочного материала: Тез. докл. Всерос. науч.- практ. конф. (11-13 сент. 1996 г., Йошкар-Ола). – Йошкар-Ола, 1996. – С. 83–84.
5. Цинкович Л.К. Рост и дифференциация деревьев в культурах сосны и ели // Восстановление и мелиорация лесов Карелии: Сб. науч. тр. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1983. – С. 72–83.
6. Шутков И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А. Лесоводственные методы и технологии создания высокопродуктивных культур ели и сосны промышленными методами на Северо-Западе РСФСР // Матер. Междунар. симп. «Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие» (Архангельск, 16-26 июля 1990 г.). – М., 1990. – Ч. 4. – С. 38–48.
7. Шутяев А.М. Испытание потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной из Финляндии // Лесн. хоз-во. – 1994. – № 1. – С. 1–3.
8. Magnussen S., Smith V.G., Yeatman C.W. Tree size, biomass and volume growth of twelve 34-year old Ontario jack pine provenances // Canad. Journ. of Forest Research. – 1985. – Vol. 15, N 6. – P. 1129–1136.

Поморский государственный университет

Поступила 13.06.01

E.N. Nakvasina

Dynamics of Tree Growth Ranging in Climatype Posterity of Scots Pine

The tree growth differentiation in posterity climatype of scots pine growing in 21-age geographical cultures in the Arkhangelsk region is analyzed. Peculiarities of tree rank changes according to age are shown to depend on geographical origin of posterity.

УДК 630*284.2

А.С. Ярунов, В.В. Петрик

Ярунов Александр Степанович родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экономики отраслей Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области прижизненного лесопользования.



Петрик Виталий Васильевич родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области прижизненного лесопользования.



ПЕРСПЕКТИВЫ ПОДСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПОДСОЧКИ

Доказана целесообразность восстановления промышленной подсочки в России. Приведены перспективные направления научных исследований в этой области.

прижизненное лесопользование, подсочка, живица, проблемы, программа.

С начала 90-х годов объем добычи живицы в России сократился более чем в 15 раз. Химлесхозы оказались совершенно не приспособленными к рыночным условиям, резко уменьшили добычу живицы, многие просто обанкротились. Значительно снизилось финансирование научных исследований по подсочке. Сложилось даже мнение, что промышленная подсочка в лесах Российской Федерации бесперспективна, так как не может быть рентабельной, а потребности России в продукции лесохимии можно покрыть за счет талловых продуктов и импорта. По нашему мнению, эти взгляды неправомерны.

Мировое производство канифоли составляет примерно 1,0 ... 1,2 млн т в год, из них около 60 % живичной. Эта пропорция сохраняется в течение длительного времени, так как имеется ряд производств, где продукты переработки живицы до сих пор незаменимы.

Внутренний ежегодный спрос в России на лесохимические продукты, в том числе живичные, оценивается в настоящее время приблизительно в 40 ... 50 тыс. т с ростом в ближайшие 5 ... 10 лет по канифоли до 100 тыс. т, причем не менее половины – живичной.

Заводы, перерабатывающие живицу, согласны уже сейчас принять и переработать ее значительные объемы, так как реализация продукции не вызывает особых осложнений, но проблема, как правило, заключается в том, что переработчики не всегда имеют средства для оплаты поставок, особенно на условиях предоплаты.

В конце 80-х гг. производство талловой канифоли составляло около 30 ... 35 тыс. т в год. Предполагалось, что в 1992–2005 гг. оно достигнет 50 ... 60 тыс. т, но эти планы не были выполнены по понятным причинам. В настоящее время производство талловых продуктов также уменьшилось в соответствии с сокращением объемов производства сульфатной целлюлозы. На 1 т сульфатной целлюлозы, полученной из сосновой древесины, вырабатывается 10 ... 20 кг талловой канифоли. При использовании древесины других пород выход талловых продуктов значительно меньше. Практически весь объем получаемой талловой канифоли использовался на ЦБК для собственных нужд.

Резкое наращивание в России объемов производства талловых лесохимических продуктов в ЦБП в ближайшие годы представляется весьма сомнительным. Для этого требуется: увеличить объемы производства целлюлозы сульфатным способом из дефицитной сосновой древесины, так как весь объем производимого таллового масла в настоящее время перерабатывается; наращивать мощности по переработке таллового масла на канифоль, что связано со строительством и монтажом новых установок.

Иными словами, удовлетворить внутренние потребности промышленного производства России в лесохимических продуктах за счет талловых в ближайшие 10 ... 15 лет невозможно. Кроме того, их себестоимость приближается к стоимости живичных из-за больших тепло- и электроемкости, а цены на энергоносители имеют устойчивую тенденцию к росту.

Мировые цены на живицу составляют 400 ... 500 долларов США за 1 т, на канифоль в 1,5–2,0 раза выше. Увеличение спроса на канифоль для импорта в Россию вызовет дополнительное повышение мировых цен.

Падение спроса на внутреннем рынке в 90-е гг. привело к резкому уменьшению объемов заготовки живицы. Российские заводы, перерабатывающие живицу, закупают ее внутри страны по 12 ... 13 тыс. р. за 1 т (данные 2001 г.). Таким образом, цены практически достигли мировых, и заготовка живицы в лесах Российской Федерации может быть вполне рентабельным видом лесопользования при условии структурной перестройки в организации ее добычи.

Распад существовавшей ранее системы промышленной подсочки вызван ее нежизнеспособностью в новых условиях, так как специализированные подсочные организации – химлесхозы – имели значительные дополнительные затраты на социальную сферу, сельское хозяйство, административный аппарат. Например, в 80-е гг. себестоимость 1 т живицы, добытой химлесхозами (Минлеспром СССР), составляла 1,5 ... 2,0 тыс. р.; предприятиями бывшего Минлесхоза РСФСР – всего 700 ... 900 р. за 1 т при довольно значительных объемах заготовки. Так, только Владимирское

ЛХТПО добывало до 4,5 тыс. т живицы в год. Это указывает на возможность организации добычи живицы в лесах России с достаточно низкой себестоимостью.

Сказанное подтверждает наличие потребности в живице и продуктах ее переработки, целесообразность развития промышленной подсочки в стране. По нашему мнению, объем заготовки живицы в ближайшие годы начнет возрастать и достигнет 50 ... 60 тыс. т в год. Промышленная подсочка сосредоточится в районах, прилежащих к местам переработки и потребления, в основном в Европейско-Уральском регионе и некоторых районах Сибири. В отдаленных районах она нерентабельна из-за высоких транспортных расходов.

Для того чтобы промышленная заготовка живицы в России нормально развивалась, необходимо повысить заинтересованность лесовладельцев и лесопользователей, нормализовать взаимоотношения между сторонами. Нужно разработать научно обоснованную систему оплаты за насаждения, передаваемые в подсочку, с учетом ущерба, наносимого лесовладельцу при заготовке живицы, определить другие составляющие. В целях увеличения заинтересованности лесовладельцев большая часть этой оплаты должна поступать лесному хозяйству.

Требуется нормализовать вопросы передачи сосняков для целей подсочки, учитывая нежелание арендаторов - лесозаготовителей при долгосрочной аренде передавать насаждения для заготовки живицы; аукционные торги и т. д. Право на лесопользование в целях подсочки, в том числе при краткосрочной аренде до 10 лет, должны получить как юридические, так и физические лица.

Необходимо пересмотреть систему контроля над заготовкой живицы, в частности действующие показатели, определяемые при освидетельствовании; разработать нормативы для контроля за жизнедеятельностью подсоченных насаждений. Одним из показателей может служить размер ущерба, выраженный через прямые и косвенные показатели. При этом нормативный ущерб учитывается при расчете оплаты за подсочку, а сверхнормативный – в соответствии с законодательством в виде штрафа или неустойки. В этом случае нарушение технологии можно оценить через объективный показатель, поддающийся стоимостной оценке, в отличие от применяющихся при освидетельствовании в настоящее время.

В системе заготовки живицы нужна структурная перестройка, так как химвлесхозы не были приспособлены для работы в условиях рыночной экономики (громоздкая структура, большие накладные расходы и т. д.). Добыча живицы, как правило, должна базироваться на договорной основе предприятия с каждым рабочим. Оговариваются цена за 1 т добытой живицы и прочие условия, в том числе неустойки за нарушение условий договора.

Подсочное производство зависит от кредитов, так как первая товарная продукция появляется только через 2 ... 3 мес после начала подготови-

тельных работ. Поэтому нужны особые условия кредитования предприятий, занимающихся заготовкой живицы.

Необходимо иметь возможность предварительно оценить продуктивность насаждений по выходу живицы, дать технико-экономическое обоснование подсочки (бизнес-план), определить целесообразность вовлечения насаждений в подсочку и т. д.

Решить многие поставленные вопросы (экономические, организационные, технологические), сохранить и повысить достигнутый уровень технологии, инструментов и оборудования для подсочки можно только на основе научных исследований по следующей программе.

1. Усилить экономические методы управления данным видом лесопользования в соответствии с требованиями рынка, а именно:

разработать нормативы продуктивности сосновых древостоев по выходу живицы;

внести предложения по изменению системы оплаты за пользование лесами в целях добычи живицы и методику расчета оплаты;

пересмотреть систему показателей и их нормативы, позволяющие определять стоимость ущерба при контроле за заготовкой живицы;

дать технико-экономическое обоснование вовлечения сосновых насаждений в подсочку;

изучить экономические аспекты заготовки живицы в условиях рыночных отношений (себестоимость, рентабельность и т. д.).

2. Выявить возможности (методы и способы) ускоренного формирования сосновых древостоев повышенной смолопродуктивности для целей подсочки, разработать рекомендации и начать работы по их созданию.

3. Совершенствовать технологию, инструменты и оборудование, применяемые при добыче живицы:

углубить разработку теоретических вопросов стимуляции выхода живицы, необходимых для обоснования принципов подбора стимуляторов и новых методов стимулирования;

провести поиск и испытание новых стимуляторов и методов стимулирования выхода живицы с разработкой на их основе более совершенных технологий заготовки живицы, обеспечивающих ее конкурентоспособность;

разработать технологию подсочки осушенных сосняков и сосновых древостоев повышенной смолопродуктивности, сформированных рубками ухода.

4. Изучить влияние прижизненного лесопользования (подсочки) на жизнедеятельность насаждений и окружающую среду.

Из предлагаемой программы исследований первоочередными являются наименее изученные экономико-организационные вопросы промышленной заготовки живицы.

Россия имеет все условия для возобновления промышленной подсочки: спрос на продукцию как для внутреннего, так и для внешнего рынка; сырьевую базу; опытные кадры, владеющие современными технологиями; инструменты и оборудование; научный потенциал. Было бы

непростительно растерять все это. Воссоздание утраченного всегда обходится значительно дороже.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 21.11.01

A.S. Yarunov, V.V. Petrik

Prospects of Tapping Production and Research Related to Tapping

The expediency of commercial tapping recovery in Russia is proved. The perspective directions of scientific research in this area are provided.

УДК 630*165.61

Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова

Матвеева Римма Никитична родилась в 1942 г., окончила в 1965 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой селекции, лесных культур и озеленения Сибирского государственного технологического университета, академик РАЕН, заслуженный лесовод Российской Федерации. Имеет 235 печатных работ в области лесной селекции, лесовыращивания и пчеловодства.



Буторова Ольга Федоровна родилась в 1944 г., окончила в 1967 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции, лесных культур и озеленения Сибирского государственного технологического университета, академик РАЕН. Имеет 190 печатных работ в области лесовыращивания, пчеловодства, лесной селекции.



**ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕЯНЦЕВ КЕДРА СИБИРСКОГО
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОКРАСКИ ГИПОКОТИЛЕЙ**

Приведены результаты изучения изменчивости сеянцев кедра сибирского в зависимости от окраски гипокотыля всходов. Установлен лучший рост растений, имеющих при появлении всходов красную окраску гипокотыля.

кедр сибирский, сеянцы, изменчивость, гипокотиль, окраска.

Согласно данным Е.Г. Орленко [2], сеянцы сосны обыкновенной с сильной антоциановой окраской гипокотылей, а также длиннохвойные саженцы, имеющие более пяти верхушечных почек с ранним периодом их разверзания, поздними сроками заложения и длинными боковыми побегами, оказались более быстрорастущими.

Семенное потомство кедра сибирского характеризуется проявлением изменчивости на первых стадиях онтогенеза по ряду признаков: интенсивности прорастания семян; фенологии развития всходов, числу, форме, размерам семядолей, первичной, пучковой хвои, почек; высоте и диаметру стволиков; способности образовывать пучковую хвою и прирост побега в первый период вегетации и вторичные приросты в последующие годы; срокам распускания почек и др. Высокая гетерогенность сеянцев указывает на необходимость отбора на ранних этапах онтогенеза [1].

С 1975 г. в географических посевах кедра сибирского в учебно-опытном лесхозе СибГТУ была установлена изменчивость всходов по окраске гипокотылей (зеленые, красные). Отмечено, что в разных партиях семян

содержание всходов, имеющих красную окраску гипокотилей, варьировало от 1 до 12 %. Определено влияние окраски на рост сеянцев, саженцев и семеношение в плантационных культурах.

Для опытов были использованы семена, собранные в насаждениях Бирикчуйского лесхоза Хакасии. В посевах, проведенных в теплице без заделки семян, были отобраны всходы по окраске гипокотилей в фазе их появления (10–15 июня) с последующей пикировкой в гряды. В школьное отделение питомника растения были пересажены в мае 1978 г., на постоянное место – в августе 1984 г.

Установлено, что уже в однолетнем возрасте начинает проявляться изменчивость сеянцев, выросших из всходов с разной окраской гипокотилей. У растений с красной окраской биомасса больше, чем с зеленой (табл. 1).

Наибольшие различия массы наблюдались при сравнении первичной хвои, наименьшие – семядолей. При этом масса семядолей и гипокотилей составляет 35,3 ... 49,9 % от общей массы надземной части сеянцев, на долю почек приходится 7,2 ... 7,4, первичной хвои и эпикотилей – 2,8 ... 5,8 %. Первичная хвоя у растений в вариантах с красным гипокотилем имела

Таблица 1

Показатели	Масса 100 однолетних сеянцев в абс. сухом состоянии, г		
	Общая	Надземная часть	Корни
Окраска гипокотилей:			
красная	21,14	11,99	9,15
зеленая	18,70	10,74	7,96
Разница, %	13,00	11,60	14,90

3*

Таблица 2

Характеристика первичной хвои	Окраска гипокотилей				t_{ϕ} при $t_{0,5} = 2,0$
	красная		зеленая		
	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %	
Длина, мм	$9,7 \pm 0,25$	12,9	$8,8 \pm 0,31$	17,6	2,2
Ширина, мм	$2,0 \pm 0,06$	15,0	$1,7 \pm 0,05$	14,7	3,8
Число, шт.	$8,8 \pm 0,31$	17,6	$7,9 \pm 0,32$	20,2	2,0
Фотосинтетическая поверхность, см ²	$1,7 \pm 0,08$	23,5	$1,2 \pm 0,05$	20,8	5,6

Таблица 3

Характеристика стволика	Окраска гипокотилей				t_{ϕ}
	красная		зеленая		
	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %	
Высота, см	$4,2 \pm 0,20$	23,8	$4,1 \pm 0,16$	19,5	0,4
Диаметр, мм	$2,2 \pm 0,11$	25,0	$1,9 \pm 0,09$	23,7	2,1

Длина эпикотила, мм	$5,8 \pm 0,22$	19,0	$5,5 \pm 0,23$	20,9	0,9
Длина почек, мм	$7,1 \pm 0,30$	21,1	$7,2 \pm 0,34$	23,6	0,2

большую ширину (на 17,6 %) и фотосинтетическую поверхность (на 41,7 %), чем с зеленым (табл. 2). Коэффициент варьирования данных признаков составляет 12,9 ... 23,5 %.

Прослеживается достоверное различие между вариантами опыта по диаметру стволика (табл. 3).

Корневая система однолетних сеянцев с красным гипокотилем при равной длине (в пределах ошибки) имела больше боковых корней первого порядка, чем растения с зеленым гипокотилем (табл. 4).

Таблица 4

Характеристика корневой системы	Окраска гипокотила				t_{Φ}
	красная		зеленая		
	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %	
Длина, см	$19,7 \pm 0,86$	23,0	$17,2 \pm 0,70$	20,3	1,4
Число корней первого порядка, шт.	$11,8 \pm 0,38$	16,1	$5,6 \pm 0,25$	22,3	13,8

Двухлетние сеянцы, выросшие из всходов с красной окраской гипокотила, имели массу надземной части на 11,6, корней – на 14,9 % больше, чем сеянцы из всходов с зеленым гипокотилем. Они имели текущий прирост 1,3 ... 1,6 см, причем растения с красным гипокотилем – на 23,1 % больше, чем с зеленым. Достоверное различие наблюдалось по числу пучков хвои (15,5 %) и фотосинтетической поверхности. У сеянцев, имевших в период появления всходов красный гипокотиль, фотосинтетическая поверхность хвои была на 35,4 % больше, чем у всходов с зеленым гипокотилем.

Таблица 5

Характеристика трехлетних сеянцев	Окраска гипокотила				t_{Φ}
	красная		зеленая		
	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %	
Высота, см	$10,1 \pm 0,47$	23,3	$8,7 \pm 0,30$	17,2	2,5
Диаметр, мм	$2,7 \pm 0,07$	13,0	$2,3 \pm 0,04$	8,7	6,2
Текущий прирост, см	$3,6 \pm 0,15$	20,8	$3,1 \pm 0,15$	24,1	2,4
Длина почек, см	$0,8 \pm 0,04$	25,0	$0,6 \pm 0,03$	25,0	2,0
Длина хвои, см	$7,5 \pm 0,24$	16,0	$6,9 \pm 0,24$	17,4	1,8
Периметр хвои, мм	$2,5 \pm 0,10$	20,0	$2,5 \pm 0,07$	14,0	0
Фотосинтетическая поверхность хвои на текущем приросте, см ²	$72,4 \pm 3,4$	23,5	$56,3 \pm 2,28$	20,2	3,9
Общая фотосинтетическая поверхность, см ²	$105,3 \pm 5,2$	24,7	$80,6 \pm 3,40$	17,0	4,0
Длина корней, см	$21,8 \pm 0,75$	17,2	$18,6 \pm 0,77$	20,7	3,0

Трехлетние сеянцы с красным гипокотилем имели большие диаметр стволика, фотосинтетическую поверхность, длину корней (табл. 5).

Приживаемость саженцев была наибольшей в вариантах, где в качестве посадочного материала использовали трехлетние сеянцы, имевшие в период появления всходов красный гипокотиль (98 % против 84 % в вариантах с зеленым гипокотилем).

В последующие годы красная окраска не исчезла, а проявилась у большинства саженцев в фазе обособления хвои в чехликах: последние имеют красную окраску, и на растущем побеге образуется красный налет.

У растений, имевших красную окраску гипокотилей, а затем чехликов, образовались шишки фиолетовой окраски с красноватым оттенком, с широкими чешуйками, плоским апофизом. Среди растений с зеленой окраской гипокотилей были экземпляры с шишками светло-коричневой (серой) окраски.

Химический анализ семян, собранных с растений, имеющих шишки разной окраски, приведен в табл. 6 (анализ сделан Красноярской краевой проектно-изыскательской станцией химизации сельского хозяйства).

Таблица 6

Окраска шишек	Элемент семени	Содержание, %				Различие, %	
		Азот (абс. сухой)	Жир (сырой)	Зола (сырая)	Кальций	Зола	Кальций
Фиолетовая	Эндосперм + зародыш	2,88	63,20	4,32	0,61	190,3	381,3
	Кожура	0,54	–	2,95	0,09	102,5	150,0
Серая	Эндосперм + зародыш	2,95	63,02	2,27	0,16	100,0	150,0
	Кожура	0,49	–	2,88	0,06	100,0	100,0

Из приведенных данных видно, что семена в шишках фиолетовой (с красным оттенком) и светло-коричневой окрасок содержат почти одинаковое количество жира (63,0 ... 63,2 %). Отмечено повышенное содержание зольных элементов (190,3 %) и кальция (381,3 %) у семян из шишек фиолетовой окраски, несмотря на то, что растения произрастают в идентичных условиях (в пригородных плантационных культурах г. Красноярск).

Следовательно, антоциановая окраска гипокотилей, чехликов, опушения на молодых побегах (в период обособления хвои в чехликах) и шишек является одним из диагностических признаков при отборе быстрорастущих особей с повышенным содержанием кальция в семенах кедра сибирского.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Генетика, селекция, семеноводство кедра сибирского. – Красноярск: СибГТУ, 2000. – 243 с.

2. Орленко Е.Г. Ранняя диагностика наследственных свойств плюсовых хвойных деревьев // Докл. ученых-участников Междунар. симпозиума по селекции, генетике и лесному семеноводству хвойных пород. – Пушкино, 1972. – С. 71–78.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 17.05.01

R.N. Matveeva, O.F. Butorova

**Changeability of Siberian Stone Pine Seedlings Depending
on Hypocotyl Stain**

The study results of changeability of Siberian stone pine seedlings depending on sprout hypocotyl stain are given. Better growth of plants having red hypocotyl stain at sprout emergence is stated.



УДК 539.3:630*31

С.И. Морозов, Д.Н. Шостенко

Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 160 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.



Шостенко Денис Николаевич родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретической механики АГТУ. Имеет 1 печатную работу в области теории удара.



СВЯЗЬ МЕЖДУ КЛАССИЧЕСКОЙ И КОНТАКТНОЙ ТЕОРИЯМИ УДАРА

Дан вывод дифференциальных уравнений для решения задач удара с помощью контактной теории при соударении плоских свободных тел. Показана связь этих уравнений с расчетными зависимостями классической теории.

удар, силовая функция, сила удара, импульс ударной силы.

Как отмечено ранее [3], явление удара широко встречается в технике для различных производственных процессов. Оно требует дальнейшего как экспериментального, так и теоретического развития. В работе [4] рассмотрен способ обработки опытных данных при определении параметров силовых функций, а в работе [7] – получена теоретическая зависимость между коэффициентом восстановления ϵ и параметрами силовой функции.

В данной статье приведены материалы теоретических исследований по определению связи между расчетными зависимостями в контактной и классической теориях удара.

1. Формулировка задачи.

На рис.1 показана схема соударения двух плоских свободных тел. Тело 1 – ударяющее. Оно имеет массу m_1 и движется до удара со скоростями

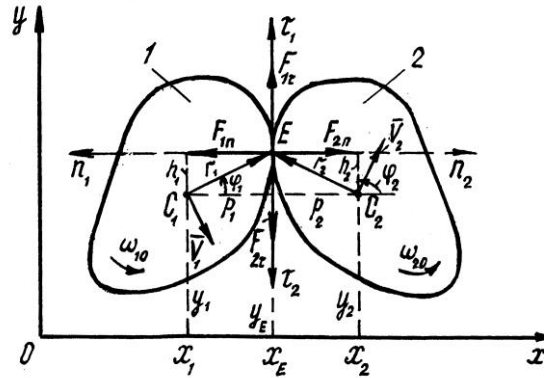


Рис. 1.

v_1 и ω_{10} . Тело 2 – ударяемое, его масса m_2 , скорости v_2 и ω_{20} . Оба тела считаем абсолютно твердыми, а упругая (деформирующаяся) связь существует в точке соударения E .

Систему координат xOy будем называть общей. В ней рассматриваем движение тел до и после удара. Положение центров масс тел (точки C_1 и C_2) определяем координатами x_1, y_1 и x_2, y_2 .

Положение точки E для первого тела определяется координатами x_{1E}, y_{1E} , для второго x_{2E}, y_{2E} . На рис. 1 обе точки обозначены одной буквой E , но на самом деле они отличаются друг от друга на величину α по оси x и на величину β – по оси y (вследствие деформаций тел).

Системы координат $\tau_1 E n_1$ и $\tau_2 E n_2$ будем называть частными. Начало их совпадает с точкой E . Оси n_1 и n_2 направляем по нормали к поверхности тел в точке соударения параллельно оси x , оси τ_1 и τ_2 направлены по касательной параллельно оси y .

Обе эти частные системы координат являются правосторонними. Положение точек C_1 и C_2 будем обозначать координатами p_1, h_1 для первого тела, p_2, h_2 – для второго. На рис. 1 изображены радиусы-векторы точки E , которые проведены из точек C_1 и C_2 . Наклон их к оси x обозначим углами φ_1 и φ_2 , которые откладываем от линий, параллельных оси x , против часовой стрелки.

Из рис. 1 находим

$$\begin{aligned} p_1 &= r_1 \cos\varphi_1; h_1 = r_1 \sin\varphi_1; \\ p_2 &= r_2 \cos\varphi_2; h_2 = r_2 \sin\varphi_2. \end{aligned} \tag{1}$$

Деформируемую связь в точке E можно выразить двумя способами. В классической теории ее характеризуют, по предложению И. Ньютона, кинематически с помощью уравнения

$$\bar{u}_{1E} \bar{n}_1 + \bar{u}_{2E} \bar{n}_2 = -\varepsilon(\bar{v}_{1E} \bar{n}_1 + \bar{v}_{2E} \bar{n}_2), \tag{2}$$

где v_{1E}, v_{2E} – скорости движения точки E для первого и второго тел до удара; u_{1E}, u_{2E} – то же после удара;

ε – коэффициент восстановления;
 \bar{n}_1, \bar{n}_2 – орты осей n_1, n_2 .

В контактной теории, по предложению Г. Герца, эту связь характеризуют с помощью силовой функции. В общем случае при соударении упругопластичных тел она имеет вид [1, 2]

$$F_n = B\alpha^n, \quad (3)$$

где F_n – нормальная сила удара;

α – деформация тел в точке E по нормальным осям n_1 и n_2 ;

B – коэффициент пластичности;

n – коэффициент нелинейности.

2. Расчетные уравнения для классической теории удара.

Они приведены в работах [3, 5] и имеют вид

$$S_n G + S_\tau H + (1 + \varepsilon)A_1 = 0; \quad (4a)$$

$$S_n H + S_\tau G_1 + A_2 = 0, \quad (4б)$$

где S_n, S_τ – импульсы нормальных и касательных сил удара;

G, G_1, H – инерциальные коэффициенты,

$$G = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{h_1^2}{J_1} + \frac{h_2^2}{J_2};$$

$$G_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{p_1^2}{J_1} + \frac{p_2^2}{J_2}; \quad (5)$$

$$H = \frac{p_1 h_1}{J_1} + \frac{p_2 h_2}{J_2},$$

где J_1, J_2 – моменты инерции тел относительно их центров масс;

A_1, A_2 – скоростные коэффициенты,

$$A_1 = \bar{v}_1 \bar{n}_1 + \bar{v}_2 \bar{n}_2 + \omega_1 h_1 + \omega_2 h_2;$$

$$A_2 = \bar{v}_1 \bar{\tau}_1 + \bar{v}_2 \bar{\tau}_2 + \omega_1 p_1 + \omega_2 p_2. \quad (6)$$

Основным недостатком классической теории является то, что она не позволяет найти максимальные значения ударных сил F_n и F_τ , время соударения t и максимальные деформации тел α и β в точке соударения тел.

3. Расчетные уравнения для контактной теории удара.

Решение этой задачи разобьем на несколько этапов:

а) Найдем геометрические и кинематические соотношения.

Запишем уравнения, связывающие координаты точек C_1, C_2 и E :

$$\begin{aligned} x_{1E} &= x_1 + r_1 \cos \varphi_1; & y_{1E} &= y_1 + r_1 \sin \varphi_1; \\ x_{2E} &= x_2 + r_2 \cos \varphi_2; & y_{2E} &= y_2 + r_2 \sin \varphi_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Продифференцируем уравнения (7) по времени и получим уравнения, связывающие скорости этих же точек:

$$\begin{aligned}\dot{x}_{1E} &= \dot{x}_1 - r_1 \omega_1 \sin \varphi_1; \quad \dot{y}_{1E} = \dot{y}_1 + r_1 \omega_1 \cos \varphi_1; \\ \dot{x}_{2E} &= \dot{x}_2 - r_2 \omega_2 \sin \varphi_2; \quad \dot{y}_{2E} = \dot{y}_2 + r_2 \omega_2 \cos \varphi_2.\end{aligned}\quad (8)$$

Еще раз дифференцируем уравнения (8) по времени и получим уравнения для ускорений:

$$\begin{aligned}\ddot{x}_{1E} &= \ddot{x}_1 - r_1 \varepsilon_1 \sin \varphi_1 - r_1 \omega_1^2 \cos \varphi_1; \\ \ddot{x}_{2E} &= \ddot{x}_2 - r_2 \varepsilon_2 \sin \varphi_2 - r_2 \omega_2^2 \cos \varphi_2; \\ \ddot{y}_{1E} &= \ddot{y}_1 + r_1 \varepsilon_1 \cos \varphi_1 - r_1 \omega_1^2 \sin \varphi_1; \\ \ddot{y}_{2E} &= \ddot{y}_2 + r_2 \varepsilon_2 \cos \varphi_2 - r_2 \omega_2^2 \sin \varphi_2.\end{aligned}\quad (9)$$

Дальнейшее преобразование выполним с помощью системы уравнений (1). Получим следующие выражения: для скоростей

$$\begin{aligned}\dot{x}_{1E} &= \dot{x}_1 - \omega_1 h_1; \quad \dot{y}_{1E} = \dot{y}_1 + \omega_1 p_1; \\ \dot{x}_{2E} &= \dot{x}_2 - \omega_2 h_2; \quad \dot{y}_{2E} = \dot{y}_2 + \omega_2 p_2;\end{aligned}\quad (10)$$

для ускорений

$$\ddot{x}_{1E} = \ddot{x}_1 - \varepsilon_1 h_1 - \omega_1^2 p_1; \quad (11a)$$

$$\ddot{x}_{2E} = \ddot{x}_2 - \varepsilon_2 h_2 - \omega_2^2 p_2; \quad (11б)$$

$$\ddot{y}_{1E} = \ddot{y}_1 + \varepsilon_1 p_1 - \omega_1^2 h_1; \quad (11в)$$

$$\ddot{y}_{2E} = \ddot{y}_2 + \varepsilon_2 p_2 - \omega_2^2 h_2. \quad (11г)$$

Вычитаем из (11a) уравнение (11б), а из (11в) уравнение (11г):

$$\ddot{x}_{1E} - \ddot{x}_{2E} = \ddot{x}_1 - \varepsilon_1 h_1 - \omega_1^2 p_1 - \ddot{x}_2 + \varepsilon_2 h_2 + \omega_2^2 p_2;$$

$$\ddot{y}_{1E} - \ddot{y}_{2E} = \ddot{y}_1 + \varepsilon_1 p_1 - \omega_1^2 h_1 - \ddot{y}_2 - \varepsilon_2 p_2 + \omega_2^2 h_2. \quad (12)$$

Обозначим [5]

$$\ddot{x}_{1E} - \ddot{x}_{2E} = \ddot{\alpha};$$

$$\ddot{y}_{1E} - \ddot{y}_{2E} = \ddot{\beta}, \quad (13)$$

где α – деформация тел в точке E по осям n , $\alpha = x_{1E} - x_{2E}$;

β – деформация тел в точке E по осям τ , $\beta = y_{1E} - y_{2E}$.

Значит, выражения (12) принимают вид

$$\ddot{\alpha} = \ddot{x}_1 - \ddot{x}_2 - \varepsilon_1 h_1 + \varepsilon_2 h_2 - \omega_1^2 p_1 + \omega_2^2 p_2; \quad (14a)$$

$$\ddot{\beta} = \ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 + \varepsilon_1 p_1 - \varepsilon_2 p_2 - \omega_1^2 h_1 + \omega_2^2 h_2. \quad (14б)$$

б) Силовые и кинематические соотношения можно выразить двумя способами:

с помощью дифференциальных уравнений движения центров масс:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -F_n; & m_1 \ddot{y}_1 &= F_\tau; \\ m_2 \ddot{x}_2 &= F_n; & m_2 \ddot{y}_2 &= -F_\tau, \end{aligned}$$

отсюда

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 &= -\frac{1}{m_1} F_n; & \ddot{y}_1 &= \frac{1}{m_1} F_\tau; \\ \ddot{x}_2 &= \frac{1}{m_2} F_n; & \ddot{y}_2 &= -\frac{1}{m_2} F_\tau, \end{aligned} \quad (15)$$

с помощью дифференциальных уравнений вращательного движения тела:

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\phi}_1 &= F_n h_1 + F_\tau p_1; \\ J_2 \ddot{\phi}_2 &= F_n h_2 + F_\tau p_2. \end{aligned} \quad (16)$$

Так как $\ddot{\phi}_1 = \varepsilon_1$ и $\ddot{\phi}_2 = \varepsilon_2$, то из уравнений (16) получим

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{F_n h_1}{J_1} + \frac{F_\tau p_1}{J_1}; \\ \varepsilon_2 &= \frac{F_n h_2}{J_2} + \frac{F_\tau p_2}{J_2}. \end{aligned} \quad (17)$$

Знаки моментов $F_n h$ и $F_\tau p$ определяем в соответствии с расчетной схемой: плюс – при вращении тел вокруг точек C против часовой стрелки, минус – по часовой стрелке.

в) Составим дифференциальные уравнения для соударяющихся тел.

Подставим выражение (17) в уравнения (14а) и (14б):

$$\begin{aligned} \ddot{\alpha} &= -\frac{1}{m_1} F_n - \frac{1}{m_2} F_n - h_1 \left(\frac{F_n h_1}{J_1} + \frac{F_\tau p_1}{J_1} \right) - h_2 \left(\frac{F_n h_2}{J_2} + \frac{F_\tau p_2}{J_2} \right) - \omega_1^2 p_1 + \omega_2^2 p_2; \\ \ddot{\beta} &= \frac{1}{m_1} F_\tau - \frac{1}{m_2} F_\tau - p_1 \left(\frac{F_n h_1}{J_1} + \frac{F_\tau p_1}{J_1} \right) - p_2 \left(\frac{F_n h_2}{J_2} + \frac{F_\tau p_2}{J_2} \right) - \omega_1^2 h_1 + \omega_2^2 h_2. \end{aligned}$$

Выполним преобразования, вынося общие множители за скобки:

$$\begin{aligned} \ddot{\alpha} &= -F_n \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{h_1^2}{J_1} + \frac{h_2^2}{J_2} \right) - F_\tau \left(\frac{p_1 h_1}{J_1} + \frac{p_2 h_2}{J_2} \right) - \omega_1^2 p_1 + \omega_2^2 p_2; \\ \ddot{\beta} &= F_\tau \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{p_1^2}{J_1} + \frac{p_2^2}{J_2} \right) + F_n \left(\frac{p_1 h_1}{J_1} + \frac{p_2 h_2}{J_2} \right) - \omega_1^2 h_1 + \omega_2^2 h_2. \end{aligned} \quad (18)$$

Множители, записанные в скобках, встречаются и в классической теории удара (уравнение (5)). Там их называют инерциальными коэффициентами:

$$G = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{h_1^2}{J_1} + \frac{h_2^2}{J_2};$$

$$G_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{p_1^2}{J_1} + \frac{p_2^2}{J_2};$$

$$H = \frac{p_1 h_1}{J_1} + \frac{p_2 h_2}{J_2}.$$

Значит, уравнениям (18) можно придать вид

$$\ddot{\alpha} = -F_n G - F_\tau H - \omega_1^2 p_1 + \omega_2^2 p_2; \quad (19a)$$

$$\ddot{\beta} = F_\tau H + F_n G_1 - \omega_1^2 h_1 + \omega_2^2 h_2. \quad (19б)$$

С учетом специфических особенностей между классической и контактной теориями удара уравнения (19а) и (19б) частично совпадают с уравнениями (4а) и (4б), во всяком случае множители для ударных сил и их импульсов.

4. Связь между классической и контактной теориями удара.

Покажем теперь, что такая связь является полной. Рассмотрим, например, уравнение (19а). Умножим его обе части на dt и проинтегрируем:

$$\int \ddot{\alpha} dt = G \int F_n dt + H \int F_\tau dt - \int \omega_1^2 p_1 dt + \int \omega_2^2 p_2 dt + C, \quad (20a)$$

где C_1 – постоянная интегрирования.

Здесь имеем

$$\int \ddot{\alpha} dt = \dot{\alpha}; \quad \int F_n dt = S_n; \quad \int F_\tau dt = S_\tau.$$

Дифференцируя уравнение системы (1) по времени и преобразовывая, получаем

$$\dot{p}_1 = -\omega_1 h_1; \quad \dot{p}_2 = -\omega_2 h_2;$$

$$\dot{h}_1 = \omega_1 p_1; \quad \dot{h}_2 = \omega_2 p_2,$$

отсюда

$$p_1 = -\frac{1}{\omega_1} \dot{h}_1; \quad p_2 = \frac{1}{\omega_2} \dot{h}_2.$$

Определим с их помощью интегралы:

$$\int \omega_1^2 p_1 dt = \int \omega_1^2 \frac{1}{\omega_1} \dot{h}_1 dt = \omega_1 h_1;$$

$$\int \omega_2^2 p_2 dt = \int \omega_2^2 \frac{1}{\omega_2} \dot{h}_2 dt = \omega_2 h_2.$$

В результате уравнение (19а) принимает вид

$$\dot{\alpha} = S_n G + S_\tau H + \omega_1 h_1 - \omega_2 h_2 + C_1. \quad (20б)$$

Найдем теперь значения C_1 из нулевых начальных условий: $t = 0$; $\dot{\alpha} = \dot{\alpha}_0$; $\omega_1 = \omega_{10}$; $\omega_2 = \omega_{20}$, откуда

$$C_1 = \dot{\alpha}_0 + \omega_{10}h_1 + \omega_{20}h_2.$$

Следовательно,

$$\dot{\alpha} = S_n G + S_\tau H + \omega_1 h_1 + \omega_2 h_2 + \dot{\alpha}_0 + \omega_{10}h_1 + \omega_{20}h_2. \quad (20в)$$

Перепишем выражение (20в) в векторной форме:

$$S_n G + S_\tau H = \bar{u}_{1E} \bar{n}_1 + \bar{u}_{2E} \bar{n}_2 + \bar{\omega}_1 \bar{h}_1 + \bar{\omega}_2 \bar{h}_2 - \bar{v}_{1E} \bar{n}_1 - \bar{v}_{2E} \bar{n}_2 + \bar{\omega}_{10} \bar{h}_1 + \bar{\omega}_{20} \bar{h}_2.$$

Преобразуем его, используя уравнение (2):

$$\bar{u}_{1E} \bar{n}_1 + \bar{u}_{2E} \bar{n}_2 = -\varepsilon(\bar{v}_{1E} \bar{n}_1 + \bar{v}_{2E} \bar{n}_2),$$

и окончательно получим

$$S_n G + S_\tau G + (1 + \varepsilon)(\bar{v}_{1E} \bar{n}_1 - \bar{v}_{2E} \bar{n}_2 + \bar{\omega}_{10} \bar{h}_1 + \bar{\omega}_{20} \bar{h}_2) = 0.$$

Последнее выражение в скобках равно A_1 , т. е.

$$S_n G + S_\tau H + (1 + \varepsilon)A_1 = 0.$$

Таким образом, преобразовывая уравнение (19а), получаем уравнение (4а). Аналогично из уравнения (19б) можно получить (4б).

Итак, материал статьи доказывает, что классическая и контактная теории удара взаимно связаны [7], что можно использовать при решении задач удара.

4. Проиллюстрируем этот вывод на примере. Расчетная схема приведена на рис. 2. Здесь имеем случай соударения двух тел. Сферическое тело 1 – ударяющее. Оно имеет массу m_1 и радиус R . Центр масс этого тела отстоит от оси симметрии ударяемого тела 2 на расстоянии l . Если $l = 0$, то имеем случай прямого центрального удара; если $l \neq 0$ – случай внецентренного удара. Тело 2 массой m_2 – поддерживается пружиной 3. Размеры тела 2 (длина L и толщина B) показаны на рис. 2. Центр масс его лежит на вертикальной оси симметрии.

Примем: $v_1 \neq 0$, $v_2 = 0$, $\omega_{10} = 0$, $\omega_{20} = 0$. Координаты точек C_1 и C_2 равны: $h_1 = 0$, $p_1 = R$, $h_2 = l$, $p_2 = B/2$.

Вычисляем инерциальные коэффициенты:

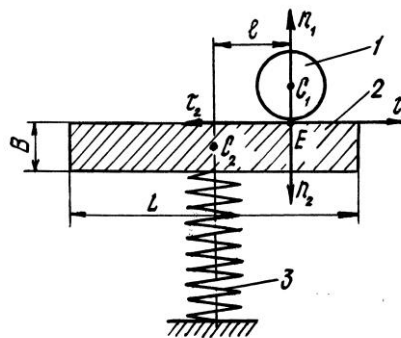


Рис. 2.

$$G = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{h_1^2}{J_1} + \frac{h_2^2}{J_2} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{l^2}{J_2};$$

$$G_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{p_1^2}{J_1} + \frac{p_2^2}{J_2} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{R^2}{J_1} + \frac{B^2}{4J_2};$$

$$H = \frac{p_1 h_1}{J_1} + \frac{p_2 h_2}{J_2} = \frac{p_1 \cdot 0}{J_1} + \frac{B/2l}{J_2} = \frac{Bl}{2J_2}.$$

Случай 1. Прямой центральный удар, т. е. $l = 0$:

$$G = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2};$$

$$G_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{R^2}{J_1} + \frac{B^2}{4J_2};$$

$$H = 0.$$

Значит, дифференциальное уравнение (19а) при $F_\tau = 0$ принимает вид

$$\ddot{\alpha} = -F_n G, \quad (21a)$$

решение которого известно. Оно приведено в работе [6].

Случай 2. Внецентренный удар. Пусть $l = L/2$. Здесь

$$G = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{l^2}{J_1};$$

$$G_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{R^2}{J_1} + \frac{B^2}{4J_2};$$

$$H = \frac{Bl}{2J_2}.$$

Дифференциальные уравнения имеют вид

$$\ddot{\alpha} = -F_n \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{l^2}{J_2} \right) - F_\tau \frac{Bl}{2J_2};$$

$$\ddot{\beta} = F_n \frac{Bl}{2J_2} + F_\tau \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{R^2}{J_1} + \frac{B^2}{4J_2} \right). \quad (21b)$$

Таким образом, дифференциальные уравнения (21а) и (21б) существенно различаются. Отличие еще больше, если одно или оба тела вращаются до удара, т. е. $\omega_1 \neq 0$ и $\omega_2 \neq 0$.

Анализ связи между классической и контактной теориями удара должен быть продолжен. В частности, требует пояснения величины β , характеризующая касательные перемещения тел по отношению друг к другу. Этот вопрос будет рассмотрен отдельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давиденков Н.И. Проблемы удара в машиностроении. – М.: ОНТИ, 1993. – 115 с.
2. Динник А.Н. Удар и сжатие твердых тел // Избр. тр. Т.1. – Киев: АН СССР, 1952. – С. 13–144.
3. Морозов С.И. Соударение тел. Классическая теория удара. Ч. 1. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2001. – 252 с.
4. Морозов С.И. Экспериментальное определение параметров силовой функции // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 57–63. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Морозов С.И., Морозов В.С. Классическая теория удара: Конспект лекций по соударению плоских тел. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 45 с.
6. Морозов С.И., Попов М.В. Контактная теория удара: Конспект лекций по элементарной теории. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 42 с.
7. Морозов С.И., Шостенко Д.Н. Уравнение связи для решения задач удара // Лесн. журн. – 2002. – № 1. – С. 56 – (Изв. высших учеб. заведений).

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 12.04.02

S.I. Morozov, D.N. Shostenko

Relation between Classical and Contact Theories of Impact

The derivation of differential equations is presented for solving problems of impact at collision of flat free bodies based on the contact theory. The relation of these equations with estimated dependencies of the classical theory is shown.



УДК 630*31.001.57

Э.Ф. Герц, В.А. Азаренок, Н.В. Лившиц, А.В. Мехренцев

Герц Эдуард Федорович родился в 1953 г., окончил в 1981 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 30 печатных работ по технологии лесосечных работ.



Азаренок Василий Андреевич родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Хабаровский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор, проректор по учебной работе Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 100 печатных работ в области разработки оборудования и технологических процессов лесозаготовок.



Лившиц Никодим Владимирович родился в 1927 г., окончил в 1948 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 150 печатных трудов в области разработки оборудования и технологических процессов лесозаготовок и деревообработки.



Мехренцев Андрей Вениаминович родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 50 печатных трудов в области разработки оборудования и технологических процессов лесозаготовок.



**РАСЧЕТ ШИРИНЫ ЛЕНТЫ,
РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ МАНИПУЛЯТОРНОЙ
ПОЛНОПОВОРОТНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ**

Рассмотрены две стратегии расчета ширины ленты, разрабатываемой полноповоротной ЛЗМ. Рассчитаны возможные параметры ленты леса с учетом вероятности оставления невырубленными деревьев, назначенных в рубку.

ширина ленты, сочетание стоянок, ширины ленты и расстояния переезда, досягаемость деревьев.

Параметры технологического процесса заготовки лесоматериалов полноповоротными лесозаготовительными машинами (ЛЗМ) оказывают значительное влияние на его эффективность и сохранность подроста, подлеска, напочвенного покрова и др. Пакетирующая ЛЗМ на каждой технологической стоянке формирует пакет лесоматериалов, объем которого определяется параметрами машины, таксационной характеристикой насаждения, некоторыми технологическими параметрами, от которых зависит площадь рабочей зоны, образованной максимальным и минимальным вылетом манипулятора. При работе ЛЗМ происходит перекрытие рабочих зон, расположенных последовательно на ленте, а также на смежных лентах. Величина перекрытия зон на ленте определяется расстоянием между стоянками (L), на смежных лентах – расстоянием между осями лент (B), которое, в свою очередь, зависит от максимального вылета манипулятора и взаимного расположения стоянок на смежных лентах. Из множества взаимных сочетаний расположения стоянок на смежных лентах можно выделить два наиболее характерных. Первое, наименее благоприятное, предполагает, что стоянки находятся на одной прямой, перпендикулярной лентам; при этом досягаемость всех деревьев возможна при расстоянии между осями лент

$$B \leq 2\sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}}, \quad (1)$$

где R – максимальный вылет манипулятора.

Второе сочетание стоянок наиболее благоприятно, так как позволяет увеличить расстояние между осями лент при условии досягаемости всех деревьев манипулятором ЛЗМ на границе смежных лент:

$$B \leq R + \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}}. \quad (2)$$

Из приведенных уравнений очевидно, что в интервале $0 < L < 2R$ площади перекрытия рабочих зон (S_1) со смежных лент возрастают, а площади перекрытия рабочих зон (S_2), последовательно расположенных на ленте, убывают. Максимум площадей рабочих зон ЛЗМ на стоянке достигается при сочетании оптимальных расстояний между стоянками (L_{opt}) и между осями лент (B_{opt}).

Для первого сочетания стоянок на смежных лентах

$$\begin{cases} L_{\text{opt}} = R\sqrt{2}; \\ B_{\text{opt}} = R\sqrt{2}. \end{cases}$$

Для второго сочетания [1]

$$\begin{cases} L_{\text{opt}} = R\sqrt{3}; \\ B_{\text{opt}} = \frac{3}{2}R. \end{cases}$$

Вместе с тем возможность переезда лесозаготовительной машины в насаждении при отсутствии разрубленного волока определяется ее параметрами и особенностями насаждения. В общем случае

$$L = R + r + l_d, \quad (3)$$

где r – минимальный вылет манипулятора, м;

l_d – дополнительное расстояние переезда за счет пустот (промежутков) между деревьями.

Размеры промежутков между деревьями определяются не только густотой насаждения, но и типом их размещения. В пространственной геоботанике принято выделять три типа: групповой, случайный и регулярный [2]. Возможность ЛЗМ по дополнительному увеличению расстояния переезда за счет использования этих пустот определяется в первую очередь ее шириной и густотой насаждения. Вероятность дополнительного переезда ЛЗМ при случайном типе размещения деревьев, наиболее характерном для спелых насаждений естественного происхождения, составит:

$$P(l_d) = e^{-l_d b n},$$

где e – основание натурального логарифма;

b – ширина ЛЗМ, м;

n – густота насаждения, дер./м².

Рассчитанные вероятности дополнительного расстояния переезда и экспериментальная частота, полученная на имитационной модели, для работы ЛЗМ в насаждении с густотой 500 дер./га представлены в табл. 1.

Анализ уравнения (3) и табл. 1 показывает, что работа полноповоротной ЛЗМ в оптимальном режиме, с формированием пачек максимального объема, практически невозможна. Причина этого – малая вероятность выполнения переезда между стоянками на необходимое расстояние, которое для ЛП-19 составит 6,8 м при первом и 9,5 м при втором сочетании стоянок. В этих условиях максимум площади лесосеки, обрабатываемой с одной стоянки, достигается при расстоянии между осями лент, рассчитанном по уравнению (1) или (2), с условием переезда на возможное расстояние с заданной вероятностью. Однако работа ЛЗМ при расчете расстояния между осями лент из условия второго сочетания стоянок по уравнению (2) может привести к наличию участков, недоступных для манипулятора ЛЗМ в результате недоезда до расчетной точки стоянки, а значит, и к оставлению деревьев, подлежащих рубке. Вероятность оставления дерева невырубленным ($P(D_n)$) определится вероятностью его недостижимости, т. е. наличием недостижимой площадки ($P(S_n)$), и вероятностью наличия на этой площадке дерева, подлежащего вырубке ($P(D_1)$). Поскольку эти события взаимно независимы, то

вероятность совместного их наступления равна произведению их безусловных вероятностей.

Наличие и величина недосягаемой площади определяются, в свою очередь, расстоянием недоезда до расчетной точки стоянки (L_n). При

Таблица 1

Ширина ЛЗМ, м	Вероятность (числитель) и частота (знаменатель) дополнительного расстояния переезда l_d , м						
	1	2	3	4	5	6	7
2	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065	0,5488	0,5966
3	0,8607	0,7408	0,6376	0,5488	0,4724	0,4066	0,3499
	0,8904	0,8026	0,7193	0,6272	0,5702	0,5482	0,4781
4	0,8187	0,6703	0,5488	0,4493	0,3679	0,3012	0,2466

Таблица 2

Расстояние переезда, м		Ширина пасаки B , м	Вероятность оставления дерева невырубленным $P(D_n)$
расчетное L	дополнительное l_d		
13	1	28,5	0,0214
14	2	28,3	0,0457
15	3	29,0	0,0849

$L_n \leq \sqrt{4R^2 - B^2} - \frac{L}{2}$ возможно появление недосягаемых для манипулятора

площадок величиной $S_n \leq R^2 \arcsin\left(\frac{L}{2R}\right) - R \frac{L}{2}$, а вероятность отсутствия на

них хотя бы одного дерева $P_0(S_n) = e^{-\frac{S_n}{S_d}}$ [3].

Такие события, как недоезд до расчетной точки стоянки и переезд на расчетное расстояние, отсутствие и наличие на площади хотя бы одного дерева, попарно противоположны. С учетом выше изложенного вероятность оставления дерева невырубленным

$$P(D_n) = 1 - e^{-l_d b n} - e^{-\frac{S_n}{S_d}} + e^{-l_d b n} e^{-\frac{S_n}{S_d}}.$$

Тогда для ЛЗМ шириной 3 м, с максимальным и минимальным вылетом манипулятора 15 и 3 м соответственно, вероятность оставления дерева невырубленным для различных сочетаний расстояния переезда ЛЗМ и расстояния между осями лент в насаждении с густотой 500 дер./га может быть охарактеризована данными табл. 2.

Несмотря на незначительную вероятность (менее 9 %), на смежных лентах, в указанном диапазоне дополнительных расстояний переезда, их реализация ограничивается вероятностью этих переездов, которая уменьшается в значительной степени (см. табл. 1). Таким образом, расчет ширины

пасеки по завышенному (маловероятному) расстоянию переезда приведет к систематическому невыполнению его расчетного значения и уменьшению площади, обрабатываемой с одной стоянки ЛЗМ.

Выводы

1. Заготовка пакетов лесоматериалов максимальных размеров полноповоротной ЛЗМ при сочетании оптимальных расстояния переезда и ширины ленты практически невозможна, так как нельзя реализовать расчетное расстояние переезда.

2. Работа полноповоротной ЛЗМ может быть рекомендована по второму варианту сочетания стоянок на смежных лентах, так как при дополнительных расстояниях переезда до 3 м это не ведет к вероятности оставления более 9 % невырубленных деревьев на смежных лентах.

3. Расстояние между осями лент (ширина лент) может быть определено из уравнения (2) с учетом возможного, с достаточной вероятностью для заданных условий работы, расстояния переезда.

4*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов Г.В., Сабов В.В., Солоницын Л.В. Об оптимальном режиме разработки лесосек валочно-пакетирующими машинами манипуляторного типа // Лесн. журн. – 1982. – № 3. – С. 57–60. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Кавалюнене Д.К. Типы размещения деревьев в свете закономерностей роста и производительности древостоев // Тез. науч. конф. – Каунас, 1985. – С. 40–41.

3. Капустин В.А. Число деревьев, срезаемых с одной стоянки валочно-пакетирующей машиной // Лесн. журн. – 1985. – № 2. – С. 32–36. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Уральский государственный
лесотехнический университет

Поступила 08.10.01

E.F. Gerts, V.A. Azarenok, N.V. Livshits, A.V. Mekhrentsev

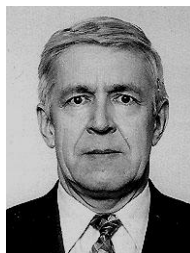
Calculation of Band Width Developed by Manipulator Full-Circle Forest-harvesting Machine on Tree Reach Basis

Two strategies are considered for calculation of band width developed by full-circle forest-harvesting machine. Possible parameters of forest band are calculated considering the possibility of leaving the trees designated for felling uncut.

УДК 630* 378.5

Г.Я. Суров

Суров Геннадий Яковлевич родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 80 научных трудов в области водного транспорта леса.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СПЛОТОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ ПОСЛЕ СПУСКА НА ВОДУ*

Приводятся решения, позволяющие определить координаты сплottedной единицы после спуска на воду и скорость ее движения в зависимости от текущего времени.

сплottedная единица, берег, поток, движение, формировочный причал.

В связи с запрещением молевого сплава возникла проблема с организацией водного транспорта лесоматериалов по малым и средним рекам. Специально для рек с ограниченными габаритами по ширине и глубине разработаны конструкции транспортных единиц [1–4]. Предлагаемые сплottedные единицы и плоты при малой осадке и большом объеме обладают повышенной прочностью. Вид плота, состоящего из плоских сплottedных единиц, представлен на рис. 1.

* Работа выполнена по гранту ТОО-11.2–2300 Минобразования России.



Рис. 1

При береговой сплотке в навигационный период сплоточные единицы сплавивают на берегу, а затем спускают на воду при помощи тележек, сплотно-транспортных агрегатов, а также сталкивают по направляющим гравитационного спуска лесоштабелерами и тракторами с толкателем [6]. На рис. 2 представлена расчетная схема перемещения сплоточной единицы после спуска на воду. Напротив берегового спуска 1 для сплоточных единиц в русле реки 2 установлено направляющее сооружение 3, а ниже по течению – причал 4 для формирования транспортных единиц, например линеек 5.

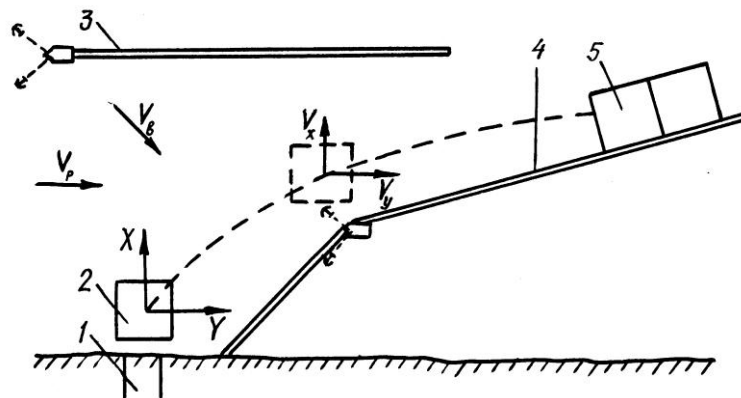


Рис. 2

Для обоснования оптимального расположения наплавных сооружений необходимо определить параметры движения сплочной единицы после спуска на воду.

Цель статьи – определение координат положения и скорости подхода сплочной единицы к наплавному сооружению после спуска на воду.

В системе неподвижных координат движение сплочной единицы при направлении ветра со стороны реки может быть описано системой уравнений

$$M_x \frac{dV_x}{dt} = -R_{i\sigma} - R_{\hat{a}\hat{o}}; \quad (1)$$

$$M_y \frac{dV_y}{dt} = R_{iy} \pm R_{\hat{a}y} + R_i, \quad (2)$$

где M_x, M_y – действующая масса сплочной единицы с учетом массы воды в пустотах сплочной единицы и присоединенной массы [5], соответственно при движении по осям X и Y ;

$\frac{dV_x}{dt}, \frac{dV_y}{dt}$ – составляющие ускорения движения сплочной единицы;

$R_{i\sigma}, R_{i\phi}$ – составляющие силы сопротивления потока воды движению сплочной единицы;

$R_{\text{вх}}, R_{\text{вы}}$ – составляющие силы влечения сплочной единицы ветром (знак плюс перед величиной $R_{\text{вы}}$ при совпадении с направлением оси Y , минус – при противоположном направлении);

R_i – сила влечения сплочной единицы от уклона поверхности воды.

При решении уравнений (1) и (2) считаем, что

$$V_{\hat{a}\hat{o}} \gg V_{\hat{o}};$$

$$V_{\hat{a}\phi} \gg V_{\phi},$$

где $V_{\hat{a}\hat{o}}, V_{\hat{a}\phi}$ – составляющие скорости ветра $V_{\hat{a}}$;

V_x, V_y – составляющие скорости движения сплочной единицы.

При квадратичном законе сопротивления

$$R_{i\sigma} = r_x V_x^2; \quad (3)$$

$$R_{i\phi} = r_y (V_p - V_y)^2, \quad (4)$$

где r_x, r_y – приведенные сопротивления движению сплочной единицы соответственно по осям X и Y ;

V_p – скорость течения воды в реке.

Разделив переменные в уравнении (1), получим выражение для определения времени движения сплочной единицы t :

$$t = -\int_{\hat{o}}^{\hat{a}} \frac{dV_x}{R_{i\sigma} + R_{\hat{a}\hat{o}}}. \quad (5)$$

Решение выражения (5) в общем виде с учетом зависимости (3):

$$t = -\frac{\dot{I}_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{r_x R_{\bar{\sigma}}}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_{\bar{\sigma}}}{R_{\bar{\sigma}}}} V_x + \tilde{n}_1, \quad (6)$$

где c_1 – постоянная интегрирования.

Так как движение сплочной единицы начинается при скорости V_0 , то начальные условия: $t = 0$, $V_x = V_0$, где V_0 – скорость движения сплочной единицы в момент прекращения воздействия тракторного толкателя.

Тогда постоянная

$$\tilde{n}_1 = \frac{\dot{I}_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{r_x R_{\bar{\sigma}}}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_{\bar{\sigma}}}{R_{\bar{\sigma}}}} V_0 \quad (7)$$

и выражение (6) принимает вид

$$t = \frac{\dot{I}_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{r_x R_{\bar{\sigma}}}} \left(\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_{\bar{\sigma}}}{R_{\bar{\sigma}}}} V_0 - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_x}{R_{\bar{\sigma}}}} V_x \right). \quad (8)$$

Решая полученное выражение относительно V_x , получаем

$$V_x = \sqrt{\frac{R_{\bar{\sigma}}}{r_x}} \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_{\bar{\sigma}}}{R_{\bar{\sigma}}}} V_0 - \frac{\sqrt{r_x R_{\bar{\sigma}}}}{\dot{I}_{\bar{\sigma}}} t \right). \quad (9)$$

Тогда, интегрируя уравнение (9), находим перемещение сплочной единицы в направлении оси X :

$$\bar{\sigma} = \int \sqrt{\frac{R_{\bar{\sigma}}}{r_x}} \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_{\bar{\sigma}}}{R_{\bar{\sigma}}}} V_0 - \frac{\sqrt{r_x R_{\bar{\sigma}}}}{\dot{I}_{\bar{\sigma}}} t \right) dt. \quad (10)$$

Решение (10) в общем виде

$$\bar{\sigma} = \frac{\dot{I}_{\bar{\sigma}}}{r_x} \ln \cos \left(\operatorname{arctg} V_0 \sqrt{\frac{r_{\bar{\sigma}}}{R_{\bar{\sigma}}}} - \frac{\sqrt{r_x R_{\bar{\sigma}}}}{\dot{I}_{\bar{\sigma}}} t \right) + \tilde{n}_2. \quad (11)$$

При начальных условиях $t = 0$ и $x = 0$ находим выражение для постоянной интегрирования c_2 и зависимость $x = f(t)$:

$$\tilde{n}_2 = -\frac{\dot{I}_{\bar{\sigma}}}{r_x} \ln \cos \operatorname{arctg} V_0 \sqrt{\frac{r_{\bar{\sigma}}}{R_{\bar{\sigma}}}}; \quad (12)$$

$$x = \frac{M_x}{r_x} \ln \frac{\cos \left(\operatorname{arctg} V_0 \sqrt{\frac{r_x}{R_{\bar{\sigma}}}} - \frac{\sqrt{r_x R_{\bar{\sigma}}}}{\dot{I}_{\bar{\sigma}}} t \right)}{\cos \operatorname{arctg} V_0 \sqrt{\frac{r_x}{R_{\bar{\sigma}}}}}. \quad (13)$$

Предельное перемещение сплочной единицы по оси X можно определить при условии $V_x = 0$. Тогда из выражения (8) имеем

$$t_1 = \frac{\dot{I}_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{r_x R_{\bar{\sigma}}}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r_{\bar{\sigma}}}{R_{\bar{\sigma}}}} V_0, \quad (14)$$

где t_1 – время перемещения до достижения $V_x = 0$,

а из выражения (13) соответствующее перемещение

$$\tilde{\delta}_i = \frac{M_x}{r_x} \ln(\cos \operatorname{arctg} V_0 \sqrt{\frac{r_x}{R_x}})^{-1}. \quad (15)$$

Рассмотрим теперь уравнение (2). Разделив переменные, получим

$$t = M_y \int \frac{dV_y}{R_{i\delta} \pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i} \quad (16)$$

или с учетом зависимости (4)

$$t = M_y \int \frac{dV_y}{r_y (V_p - V_y)^2 \pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i}. \quad (17)$$

Знаменатель правой части последнего выражения представим как

$$r_y (V_p - V_y)^2 \pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i = aV_y^2 + bV_y + c, \quad (18)$$

где $a = r_y$;

$$b = -2r_y V_p;$$

$$c = r_y V_p^2 \pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i.$$

Для решения уравнения (17) определим дискриминант квадратного полинома (18):

$$4ac - b^2 = 4r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i),$$

откуда следует, что $4ac - b^2 > 0$ при любом значении составляющей $R_{\dot{\alpha}\delta}$, если направление ее совпадает с направлением оси Y ; если составляющая направлена в противоположную сторону, то $4ac - b^2 > 0$ при условии $R_{\dot{\alpha}\delta} < R_i$.

Проинтегрировав выражение (17) с учетом $4ac - b^2 > 0$, получим

$$t = \frac{M_y}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}} \operatorname{arctg} \frac{r_y (V_y - V_p)}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}} + c_3. \quad (19)$$

При $t = 0$ $V_y = 0$, тогда

$$c_3 = \frac{M_y}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}} \operatorname{arctg} \frac{r_y V_p}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}} \quad (20)$$

и, следовательно,

$$t = \frac{M_y}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}} \left(\operatorname{arctg} \frac{r_y V_p}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}} + \operatorname{arctg} \frac{r_y (V_y - V_p)}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}} \right). \quad (21)$$

Из последнего уравнения выразим переменную V_y :

$$V_y = V_p + \sqrt{\frac{\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i}{r_y}} \operatorname{tg} \left(\frac{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}}{M_y} t - \operatorname{arctg} \frac{r_y V_p}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{\alpha}\delta} + R_i)}} \right). \quad (22)$$

Обозначим постоянную величину в выражении (22) через

$$A = \operatorname{arctg} \frac{r_y V_p}{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{a}\delta} + R_i)}}. \quad (23)$$

Тогда перемещение сплottedной единицы в направлении оси Y

$$y = V_p t + \sqrt{\frac{\pm R_{\dot{a}\delta} + R_i}{r_{\delta}}} \int \operatorname{tg} \left(\frac{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{a}\delta} + R_i)}}{M_y} t - A \right) dt. \quad (24)$$

После интегрирования

$$y = V_p t - \frac{\dot{I}_{\delta}}{r_y} \ln \left| \cos \left(\frac{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{a}\delta} + R_i)}}{M_y} t - A \right) \right| + c_4. \quad (25)$$

При $t = 0$ $y = 0$ и, следовательно,

$$c_4 = \frac{M_y}{r_y} \ln \cos A. \quad (26)$$

Уравнение (25) с учетом выражения (26) примет вид

$$y = V_p t + \frac{M_y}{r_y} \ln \frac{\cos A}{\left| \cos \left(\frac{\sqrt{r_y (\pm R_{\dot{a}\delta} + R_i)}}{M_y} t - A \right) \right|}. \quad (27)$$

По формулам (13) и (27) можно установить координаты положения сплottedной единицы X и Y , а по формулам (9) и (22) – составляющие скорости подхода V_x и V_y к наплавным сооружениям в зависимости от параметра текущего времени t . Зная V_x и V_y , можно определить угол β между направлением течения и вектором переменной скорости V , где V – результирующая скорость движения сплottedной единицы:

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{V_x}{V_y}. \quad (28)$$

Все это позволяет найти угол подхода сплottedной единицы к наплавным сооружениям и оптимальное расположение сооружений в русле реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1643385 СССР, МКИ⁵ В 65 G 69/20. Сплottedная единица / Г.Я. Су-ров, В.А. Барабанов // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 15. – С. 66.
2. Пат. 2013338 РФ, МКИ⁵ В 65 G 69/20. Плот / Г.Я. Су-ров, В.А. Барабанов // Изобретения. – 1994. – № 10. – С. 60.
3. Пат. 2043255 РФ, МКИ⁶ В 65 G 35/62. Сплottedная единица / А.А. Митрофанов, Г.Я. Су-ров, М.Н. Фоминцев // Изобретения. – 1995. – № 25. – С. 137.
4. Пат. 2177436 РФ, МКИ⁷ В 65 G 35/62. Сплottedная единица / А.А. Митрофанов, Г.Я. Су-ров, Н.С. Главатских // Изобретения. – 2001. – № 36. – С. 151.

5. Суров Г.Я. Присоединенные массы плавающего пучка бревен при его ударе о сооружение // Лесн. журн. – 1977. – № 2. – С. 69–73. – (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Суров Г.Я. Водный транспорт леса: Береговые склады: Учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 154 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 20. 03.02

G. Ya. Surov

**Determination of Motion Characteristics of Rafting Unit
after Launching**

The solutions are provided allowing to determine coordinates of a rafting unit after launching and its travelling speed depending on the current time.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.935

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

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



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



Банников Анатолий Анатольевич родился в 1971 г., окончил в 1996 г. Архангельский лесотехнический институт, аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.



ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПИЛЫ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНОГО СТАНКА С ОТЖИМНЫМИ КОНТАКТНЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

Полученные формулы для расчета критической силы ленточной пилы и определения оптимального эксцентриситета линии ее натяжения могут быть использованы для расчета режимов пиления древесины на ленточнопильных станках и определения эффективности путей дальнейшего совершенствования их конструкции.

пила, критическая сила, энергетический метод, устойчивость, эксцентриситет, сила натяжения.

Одним из основных недостатков ленточнопильных станков является низкая точность пиления при больших скоростях подачи распиливаемого материала. При использовании отжимных направляющих, установленных над и под распиливаемым материалом, жесткость и устойчивость пилы, а следовательно, и точность пиления возрастают. Для уменьшения трения пилы о направляющие последние целесообразно выполнять в виде аэростатических опор [2, 3].

Ранее [4] проведены теоретические исследования устойчивости рамных и ленточных пил в направляющих. Нагрузка, действующая на полотно пилы в плоскости наибольшей жесткости, принята равномерно распределенной между направляющими. Исследования показали, что, принимая в расчетах сосредоточенную нагрузку вместо распределенной, получаем значения критической силы с большой погрешностью.

При выводе формулы критической силы [4] протяженность равномерно распределенной нагрузки (высота пропила h) принята равной расстоянию между направляющими. Это частный, крайний, случай.

Ленточная пила с отжимными направляющими, растянутая силой N , приложенной с эксцентриситетом e , имеет свободную длину в плоскости наибольшей жесткости L (расстояние между осями пильных шкивов) и свободную длину в плоскости наименьшей жесткости l (расстояние между направляющими) и нагружена распределенной нагрузкой протяженностью, равной высоте пропила h .

Цель данной работы – рассмотреть более общий, чем в работе [4], случай, соответствующий реальным условиям пиления, т.е. $h \leq l$.

Схема ленточной пилы приведена на рис. 1.

Она может быть заменена эквивалентной расчетной схемой (рис. 2).

Критическую силу пилы определяли энергетическим методом, который при своей простоте обладает достаточной для практики точностью.

Для устойчивости пилы справедливо равенство

$$U = W, \quad (1)$$

где U – потенциальная энергия деформации изгиба и кручения пилы;

W – работа, совершаемая силами в срединной плоскости.

Работа сил в срединной плоскости определяется по формуле Брайана [5]. О возможности применения этой формулы при исследовании устойчивости полосы указано в работе [1]. Для рассматриваемого случая формула Брайана принимает вид

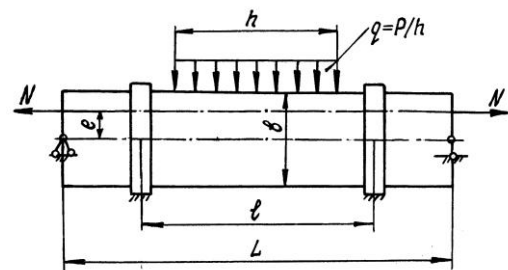


Рис. 1. Схема ленточной пилы

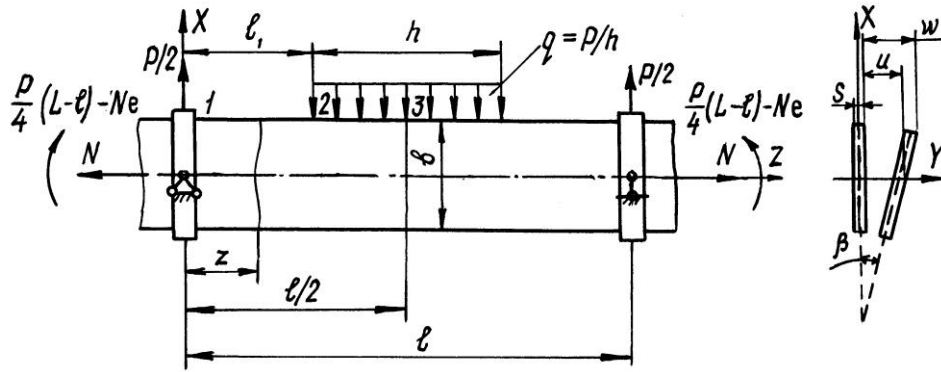


Рис. 2. Расчетная схема ленточной пилы

$$W = -\frac{1}{2} \int_{-b/2}^{b/2} \int_0^l \left[N_z \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + 2 N_{xz} \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial z} \right] dx dz, \quad (2)$$

где b – ширина полотна пилы;

N_z – нормальные усилия, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы и действующие по оси Z ;

N_{xz} – касательные усилия, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы;

w – прогиб полотна пилы в плоскости наименьшей жесткости.

Нормальные усилия на участке 1–2 (рис. 2)

$$N_z = \frac{N}{b} + \left[-N e + \frac{P}{4} (L-l) + \frac{P z}{2} \right] \frac{x s}{J_z}, \quad (3)$$

где s – толщина пилы, мм;

$J_z = \frac{s b^3}{12}$ – момент инерции сечения пилы в плоскости наибольшей жесткости, мм⁴.

Касательные усилия на участке 1–2 (рис. 2)

$$N_{xz} = \frac{3 P}{4 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right). \quad (4)$$

Нормальные усилия на участке 2–3 (рис. 2)

$$N_z = \frac{N}{b} + \left[-N e + \frac{P}{4} (L-l) + \frac{P z}{2} - \frac{P (z^2 - 2 z l_1 + l_1^2)}{2 h} \right] \frac{x s}{J_z}. \quad (5)$$

Касательные усилия на участке 2–3 (рис. 2)

$$N_{xz} = \frac{3 P}{4 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right) - \frac{3 P}{2 h b} \left(l_1 - l_1 \right) \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right). \quad (6)$$

Деформацию полотна пилы при потере устойчивости представим в следующем виде:

для прогиба оси пилы

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} u_n \sin \frac{n\pi z}{l};$$

для угла закручивания

$$\beta = \sum_{n=1}^{n=\infty} \bar{\beta}_n \sin \frac{n\pi z}{l}.$$

Прогиб любой точки полотна пилы

$$w = u + \beta x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left(u_n \sin \frac{n\pi z}{l} + \bar{\beta}_n x \sin \frac{n\pi z}{l} \right). \quad (7)$$

Анализ показывает, что, принимая только первый член ряда (7), имеем ошибку при расчете критической силы не более 5 ... 6 %. Это приемлемо для практических расчетов [1].

Уравнение прогибов, выраженное в виде

$$w = \bar{u} + \bar{\beta} x \sin \frac{\pi z}{l}, \quad (8)$$

дифференцируем по z и x :

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\pi}{l} (\bar{u} + \bar{\beta} x) \cos \frac{\pi z}{l}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \bar{\beta} \sin \frac{\pi z}{l}. \quad (10)$$

После подстановки в формулу (2) выражений (3) – (10) получаем

$$\begin{aligned} W = & \int_{-b/2}^{b/2} \int_0^{l_1} \left\{ \frac{N}{b} + \left[-N e + \frac{P}{4} (L-l) + \frac{P z}{2} \right] \frac{x s}{J_z} \right\} \frac{\pi^2}{l^2} (\bar{u} + \bar{\beta} x)^2 \cos^2 \frac{\pi z}{l} dx dz + \\ & + \int_{-b/2}^{b/2} \int_{l_1}^{l/2} \left\{ \frac{N}{b} + \left[-N e + \frac{P}{4} (L-l) + \frac{P z}{2} - \frac{P (z^2 - 2 z l_1 + l_1^2)}{2 h} \right] \frac{x s}{J_z} \right\} \times \\ & \times \frac{\pi^2}{l^2} (\bar{u}^2 + 2 \bar{u} \bar{\beta} x + \bar{\beta}^2 x^2) \cos^2 \frac{\pi z}{l} dx dz + \\ & + 2 \int_{-b/2}^{b/2} \int_0^{l_1} \frac{3 P}{4 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right) \frac{\pi}{l} \bar{\beta} (\bar{u} + \bar{\beta} x) \sin \frac{\pi z}{l} \cos \frac{\pi z}{l} dx dz + \\ & + 2 \int_{-b/2}^{b/2} \int_{l_1}^{l/2} \frac{3 P}{4 b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right) - \frac{3 P (z - l_1)}{2 h b} \left(1 - \frac{4 x^2}{b^2} \right) \frac{\pi}{l} \bar{\beta} (\bar{u} + \bar{\beta} x) \sin \frac{\pi z}{l} \cos \frac{\pi z}{l} dx dz. \end{aligned} \quad (11)$$

Интегрируя и выполняя соответствующие преобразования, имеем

$$W = P \bar{u} \bar{\beta} \left(\frac{\pi^2}{16} + \frac{1}{4} + \frac{\pi^2(L-l)}{8l} \right) - \frac{P}{h} \bar{u} \bar{\beta} \left(\frac{\pi^2 l}{48} - \frac{\pi^2 l_1^3}{6l^2} - \frac{l}{8\pi} \sin \frac{2\pi l_1}{l} + \frac{l}{8} - \frac{\pi^2 l_1}{8} - \frac{3l_1}{4} + \frac{\pi^2 l_1^2}{4l} + \frac{l_1}{2} \cos \frac{2\pi l_1}{l} + l_1 \sin^2 \frac{\pi l_1}{l} \right) - \frac{\pi^2 N}{4l} \left(\bar{u}^{-2} + \bar{\beta}^2 \frac{b^2}{12} + 2\bar{u} \bar{\beta} e \right). \quad (12)$$

Величина критической силы $P_{кр}$ зависит от расположения точки ее приложения. В полученном уравнении для работы внутренних сил не учтено, что нагрузка приложена к режущей кромке пилы, а не в центре поперечного сечения. Необходимо определить дополнительную работу, учитывающую понижение нагрузки при потере пилой устойчивости.

Возьмем элемент dz , расположенный на расстоянии z от левой опоры. Угол поворота сечения пилы у этого элемента $\beta = \bar{\beta} \sin \frac{\pi z}{l}$. Величина понижения нагрузки при повороте пилы на угол β

$$a = \frac{b}{2}(1 - \cos \beta) \approx \frac{b}{4} \beta^2 = \frac{b}{4} \bar{\beta}^2 \sin^2 \frac{\pi z}{l}.$$

Нагрузка, действующая на элемент пилы длиной dz , равна $\frac{P}{h} dz$.

Дополнительная работа за счет понижения нагрузки

$$W = 2 \int_0^{l/2} \frac{P}{h} \frac{b}{4} \bar{\beta}^2 \sin^2 \frac{\pi z}{l} dz = \frac{P b l}{2 \pi h} \bar{\beta}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\pi l_1}{2l} + \frac{l}{4} \sin \frac{2\pi l_1}{l} \right). \quad (13)$$

Полная работа внутренних сил в срединной плоскости

$$W = \frac{P}{h} \bar{u} \bar{\beta} \left(\frac{\pi^2}{16} + \frac{1}{4} + \frac{\pi^2(L-l)}{8l} - \frac{\pi^2 l}{48h} + \frac{\pi^2 l_1^3}{6hl^2} + \frac{l}{8\pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l} - \frac{l}{8h} + \frac{\pi^2 l_1}{8h} + \frac{3l_1}{4h} - \frac{\pi^2 l_1^2}{4lh} - \frac{l_1}{2h} \cos \frac{2\pi l_1}{l} - \frac{l_1}{h} \sin^2 \frac{\pi l_1}{l} \right) + P \bar{\beta}^2 \left(\frac{bl}{8h} - \frac{bl_1}{4h} + \frac{bl}{8\pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l} \right) - \frac{\pi^2 N}{4l} \left(\bar{u}^{-2} + \bar{\beta}^2 \frac{b^2}{12} + 2\bar{u} \bar{\beta} e \right). \quad (14)$$

Энергию изгиба и кручения пилы определяем по формуле [4]

$$U = \frac{\pi^4}{4l^3} B \bar{u}^{-2} + \frac{\pi^2}{4l} C \bar{\beta}^2, \quad (15)$$

где $B = EJ_x$ – изгибная жесткость пилы, Н·мм²;
 E – модуль упругости материала пилы, $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н·мм²;
 $J_x = \frac{b s^3}{12}$ – момент инерции сечения пилы при изгибе, мм⁴;
 $C = J_k$ – крутильная жесткость пилы, Н·мм²;
 G – модуль сдвига материала пилы, $G = 8,1 \cdot 10^4$ Н·мм²;
 $J_{\epsilon} \approx \frac{b s^3}{3}$ – момент инерции сечения пилы при кручении, мм⁴.

Приравняем $U = W$ и выразим P :

$$P = \frac{\frac{\pi^2}{4l} \left[\left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) \frac{\bar{u}}{\bar{\beta}} + \left(\frac{N b^2}{12} + C \right) \frac{\bar{\beta}}{u} + 2 N e \right]}{A + \frac{\bar{\beta}}{u} \dot{A}}, \quad (16)$$

$$\text{где } \dot{A} = \frac{\pi^2}{16} + \frac{1}{4} + \frac{\pi^2(L-l)}{8l} - \frac{\pi^2 l}{48h} + \frac{\pi^2 l_1^3}{6hl^2} + \frac{l}{8\pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l} - \frac{l}{8h} + \frac{\pi^2 l_1}{8h} +$$

$$+ \frac{3l_1}{4h} - \frac{\pi^2 l_1^2}{4hl} - \frac{l_1}{2h} \cos \frac{2\pi l_1}{l} - \frac{l_1}{h} \sin^2 \frac{\pi l_1}{l}; \quad (17)$$

$$\dot{A} = \frac{bl}{8h} - \frac{bl_1}{4h} + \frac{bl}{8\pi h} \sin \frac{2\pi l_1}{l}. \quad (18)$$

Введем обозначение $\frac{\bar{u}}{\bar{\beta}} = y$. Тогда

$$P = \frac{\frac{\pi^2}{4l} \left[\left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) y^2 + \left(\frac{N b^2}{12} + C \right) + 2 N e y \right]}{A y + \dot{A}}. \quad (19)$$

Величину критической силы определим из условия $\frac{dP}{dy} = 0$:

$$\frac{dP}{dy} = \frac{\frac{\pi^2}{4l} \left\{ \left[2y \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) + 2 N e \right] (A y + \dot{A}) - A \left[y^2 \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) + \left(\frac{N b^2}{12} + C \right) + 2 N e y \right] \right\}}{(A y + \dot{A})^2}.$$

Откуда

$$y = \sqrt{\frac{\dot{A}^2}{\dot{A}^2} - \frac{2 \dot{A} N e}{A \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)} + \frac{\left(\frac{N b^2}{12} + C \right)}{\left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)}} - \frac{\dot{A}}{\dot{A}}. \quad (20)$$

Подставив (20) в уравнение (19) и сделав соответствующие преобразования, получим формулу критической силы ленточной пилы:

$$P_{\text{крит}} = (q h)_{\text{крит}} = \frac{\pi^2 \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right) \dot{A}}{2 l A^2} \left(\sqrt{1 - \frac{2 A N e}{A \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)} + \frac{A^2 \left(\frac{N b^2}{12} + C \right)}{\dot{A}^2 \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)} - 1} + \frac{A N e}{\dot{A} \left(N + \frac{\pi^2}{l^2} B \right)} \right). \quad (21)$$

Анализ формулы (21) показал, что при увеличении эксцентриситета до определенной (оптимальной) величины устойчивость пилы растет, дальнейшее его повышение приводит к снижению устойчивости. Оптимальный эксцентриситет определяется из условия $\frac{dP}{dy} = 0$.

$$e_{\text{ит}} = \frac{A}{2 \dot{A} N} \left(N \frac{b^2}{12} + C \right). \quad (22)$$

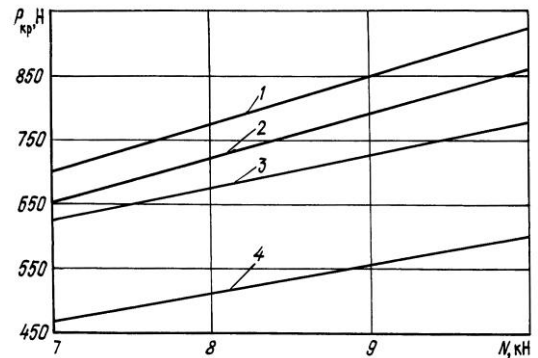
Иногда удобнее использовать относительный эксцентриситет линии натяжения $e = e/b$. В этом случае

$$e_{\text{ит}} = \frac{A}{2 \dot{A} N b} \left(N \frac{b^2}{12} + C \right). \quad (22)$$

Проведем расчеты для ленточной пилы, имеющей следующие параметры: $s = 1,2$ мм; $b = 110$ мм; $h = 300$ мм; $L = 1800$ мм; $E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа; $G = 8,1 \cdot 10^4$ МПа. В таблице приведены результаты расчетов критической силы этой пилы в зависимости от силы натяжения N при изменении свободной длины в плоскости наименьшей жесткости l и эксцентриситета линии натяжения e .

Сила натяжения, кН	Критическая сила ленточной пилы, Н, при свободной длине в плоскости наименьшей жесткости, мм, и эксцентриситете линии натяжения			
	300	500	1800	
	$e = 0$			$e = e_{\text{ит}}$
7	699,4	651,1	467,1	621,7
8	774,6	721,0	511,1	673,1
9	849,4	790,5	554,8	724,5
10	923,9	859,6	598,3	775,9

Рис. 3. Зависимость критической силы ленточной пилы от силы натяжения при различных значениях l и e : 1 – $l = 300$ мм, $e = 0$; 2 – 500; 0; 3 – 1800; $e = e_{\text{опт}}$; 4 – 1800; 0



Графики рис. 3, построенные по данным таблицы, отражают связь между N , l и e .

Выполненные расчеты показали, что уменьшение свободной длины ленточной пилы в плоскости наименьшей жесткости с 1800 до 500 мм позволяет повысить устойчивость на 39 ... 44 %. Если учесть, что при этом возрастает жесткость пилы, то можно сделать вывод об эффективности модернизации ленточнопильных станков с применением отжимных направляющих.

Большим резервом повышения устойчивости ленточных пил является натяжение их с оптимальным эксцентриситетом. При использовании ленточных пил без контактных направляющих ($L = l$) натяжение с оптимальным эксцентриситетом позволяет повысить их устойчивость примерно на 30 %. Если применять отжимные контактные направляющие, то эффективность натяжения пил с эксцентриситетом еще более возрастает.

Полученные результаты могут быть использованы для расчета режимов пиления древесины на ленточнопильных станках и определения эффективности дальнейшего совершенствования их конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернштейн М.С. Теорема о работе внешних сил на конечных перемещениях и ее применение к задачам об устойчивости упругого равновесия // Расчет пространственных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1962. – Вып. 7. – С. 281–292.
2. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
3. Прокофьев Г.Ф. Модернизация ленточнопильных станков для повышения точности пиления // Резервы использования материальных и трудовых ресурсов: Науч. тр. / ЦНИИМОД. – Архангельск, 1987. – С. 62–65.
4. Прокофьев Г.Ф. Устойчивость рамных и ленточных пил в направляющих // Совершенствование конструкций и методов подготовки и эксплуатации режущего инструмента и лесопильно-деревообрабатывающего оборудования: Науч. тр. / ЦНИИМОД. – Архангельск, 1977. – С. 43–48.

5. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. – Изд. 2-е. – М.: Гостехиздат, 1955. – 567 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 28.05.01

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

**Investigation of Saw Stability of Band-saw Machine with Squeeze
Contact Guide Bearings**

The formulae obtained for calculation of band saw critical load and determination of optimum eccentricity of its tension line could be used for estimating the sawing mode of wood on band-saw machines and determining efficient ways of further improvement of their structures.

УДК 62-252

Ю.В. Науменко

Науменко Юрий Васильевич родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Украинский институт инженеров водного хозяйства, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных, дорожных, мелиоративных машин и оборудования Ровенского государственного технического университета. Имеет около 50 печатных трудов в области исследования динамики роторных систем с переменными инерционными параметрами.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ БАРАБАННЫХ МАШИН, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННЫХ ОБРАБАТЫВАЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ

На основе полученных экспериментальных данных с учетом принятых критериев подобия движения построены универсальные графические зависимости, которые могут быть использованы для расчета скоростных и силовых параметров привода горизонтальных барабанных машин, частично заполненных жидким и сыпучим обрабатываемым материалом.

привод, барабанные машины, горизонтальные вращающиеся цилиндры, режимы движения.

В лесной, целлюлозно-бумажной и других отраслях промышленности достаточно широко применяют горизонтальные барабанные машины, включающие весьма габаритные и энергоемкие системы. Рабочим органом таких машин является горизонтальный вращающийся цилиндр, частично заполненный легкодеформируемым обрабатываемым материалом. Установившееся движение материала в полости барабана при низких скоростях вращения характеризуют циркуляционным режимом, при высоких скоростях – режимом в виде квазиколецевого пристенного слоя. На основе анализа рабочих процессов этих машин все виды деформируемого обрабатываемого материала могут быть сведены к двум наиболее характерным – ньютоновской жидкости и сыпучему телу. Высокая производительность, простота конструкции, надежность и универсальность обусловили широкое использование таких машин.

Цель статьи – получить графические зависимости границ перехода режимов движения легкодеформируемого материала в барабане и рассчитать момент сопротивления его вращению при использовании для прогнозирования параметров привода горизонтальных барабанных машин.

В таблице приведена классификация рассматриваемых машин в порядке возрастания соотношения скоростей вращения ω/ω_p .

В настоящее время для расчета скорости вращения барабана с жидкостью используют «коэффициент гравитации», который показывает во сколько раз центробежная сила инерции превышает силу тяжести [7], для

Горизонтальные барабанные машины

Тип машины	Технологический процесс	Вид материала	R , м	k	ω , 1/с	$\frac{\omega}{\omega_p}$
Сушилки	Сушка	Сыпучий	0,25...2,50	0,04...0,30	0,1...1,0	0,04...0,15
Смесители	Смешивание	Сыпучий и жидкий	0,25...1,50	0,30...0,80	1,0...2,5	0,20...0,35
Окорочные машины	Окашивание древесины	Сыпучий	1,50...3,00	0,50...0,70	0,5...1,5	0,15...0,45
Цилиндрические триеры	Очистка и классификация зерна	Сыпучий	0,15...0,40	0...0,10	2,0...6,0	0,30...0,65
Сушильные паровые цилиндры	Сбор и удаление конденсата	Жидкий	0,50...3,00	0...0,10	2,0...25,0	0,50...1,50
Разделительные центрифуги	Осаждение и фильтрация	Жидкий	0,10...1,25	0...1,00	40,0...600,0	3,00...15,00

Примечание. R – радиус полости барабана, k – степень заполнения полости материалом, ω – рабочая скорость вращения барабана, ω_p – скорость стационарного вращения, при которой циркуляционный режим движения материала переходит в режим пристенного слоя при разгоне.

расчета технологических режимов барабанных машин с сыпучим материалом – «критическую» скорость, соответствующую равенству силы инерции и силы тяжести на свободной поверхности пристенного слоя [6]. Однако используемые зависимости не учитывают процессов взаимодействия деформируемого обрабатываемого материала с цилиндрической полостью вращающегося барабана, вследствие значительного числа ограничений и допущений не удовлетворяют требованиям корректности и универсальности, а расчеты на их основе не обеспечивают необходимой точности. Поэтому такие машины часто работают в неоптимальных технологических и энергетических режимах.

Экспериментальный анализ режимов движения жидкости при малой степени заполнения полости барабана применительно к сушильным паровым цилиндрам бумагоделательных машин приведен в [16–18]. Экспериментальные и аналитические исследования положения свободной поверхности при циркуляционной форме движения жидкости с высокой вязкостью представлены в [9], для большой степени заполнения – в [12]. Задача определения скоростных режимов движения пристенного слоя идеальной жидкости аналитически рассмотрена в [15]. Численный расчет параметров движения пристенного слоя вязкой жидкости с малой, по сравнению с радиусом

полости, толщиной представлен в [10]. Характерные режимы движения жидкости в барабане освещены в [11], там же предпринята попытка обобщения результатов в виде двухпараметрической диаграммы.

В [6] представлены методы определения параметров движения сыпучего материала в горизонтальном вращающемся барабане, основанные на упрощенной механической модели. Однако ее теоретические предпосылки входят в противоречие с экспериментальными данными.

Экспериментальные результаты показывают, что циркуляционное течение сыпучего материала в горизонтальном вращающемся барабане в виде гравитационных потоков относится к режиму быстрых движений [1, 13], его поведение при этом похоже на поведение вязкой жидкости в аналогичных условиях. Поэтому для описания движения материала могут быть приняты три критерия подобия установившегося течения жидкости – числа Рейнольдса Re и Фруда Fr на радиальной поверхности полости, а также степень ее заполнения материалом k :

$$Re = \omega R^2/\nu; Fr = \omega^2 R/g; k = V/(\pi R^2 L),$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости;

g – ускорение силы тяжести;

V – объем материала в полости;

L – длина полости.

Первый критерий характеризует силы трения, второй – силы инерции, третий – геометрические параметры движения.

При циркуляционном движении образуются характерные зоны течения жидкости (рис. 1, *а*) и сыпучего тела (рис. 1, *б*), комбинации которых определяют режимы движения деформируемого материала. Для сыпучего

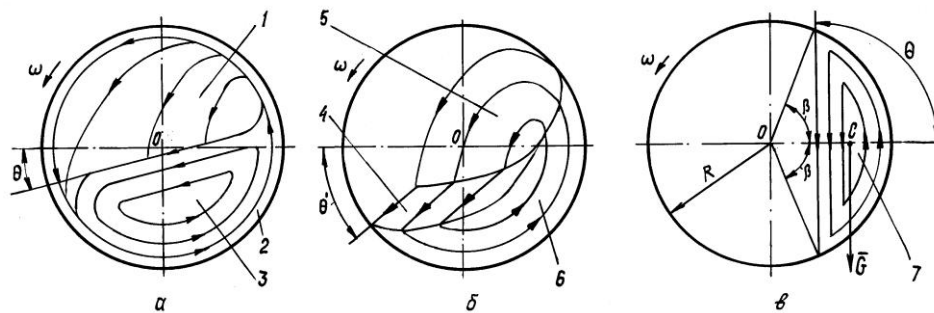


Рис. 1. Схема циркуляционного режима движения деформируемого материала в горизонтальном барабане: *а* – характерные зоны течения жидкости, *б* – зоны движения сыпучего материала, *в* – возникновение условного максимального момента сопротивления вращению; 1 – зона отделения с падением, 2 – пристенный слой, 3 – зона циркуляции, 4 – зона осыпания, 5 – зона подбрасывания с падением, 6 – твердотельная зона, 7 – идеальный сегмент; θ – угол наклона свободной поверхности к горизонтали, θ' – угол естественного откоса в движении

материала можно выделить следующие характерные (в порядке возрастания скорости вращения) режимы, связанные с реализацией технологических процессов [6]: режим без подбрасывания – включает только зоны твердотельную и осыпания; режим с частичным подбрасыванием – возникают все три зоны; режим с полным подбрасыванием – осыпание отсутствует; режим неполного центрифугирования – на поверхности полости возникает твердотельный слой из части материала с подбрасыванием остальной части; режим пристенного слоя – весь материал образует равномерный твердотельный кольцевой слой.

Для определения режимов движения деформируемого материала в горизонтальном вращающемся цилиндре была выполнена серия экспериментов [4, 5]. Данные, полученные для жидкости при $k = 0,1$, близки результатам [9, 10]. Поскольку все сыпучие материалы в рассматриваемом движении соответствуют жидкостям с достаточно близкими значениями вязкости, для простоты и удобства расчета применительно к сыпучему материалу было принято $\nu \approx 1 \text{ м}^2/\text{с}$, что, как показал эксперимент, близко значению ν для жидкости с подобным поведением в аналогичных условиях.

На рис. 2 представлены диаграммы границ перехода циркуляционного режима и режима пристенного слоя движения жидкости в барабане, построенные на основании полученных экспериментальных данных в логарифмических осях Re и Fg для различных значений k . Зона выше границы соответствует режиму пристенного слоя. При больших значениях Re возникает явление режимного гистерезиса – превышение скорости вращения при образовании пристенного слоя жидкости во время разгона барабана над скоростью разрушения слоя в процессе его замедления [10, 16–18]. При малых значениях Re скорости образования и разрушения слоя одинаковы, что обусловлено возникновением вторичных течений [10].

На рис. 3 показаны диаграммы границ перехода характерных режимов движения сыпучего материала. Явления гистерезиса в этом случае не

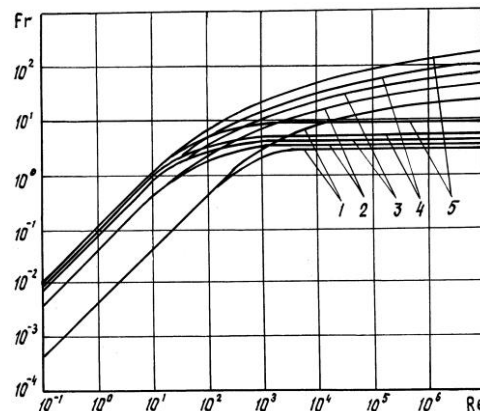


Рис. 2. Универсальные диаграммы границ перехода режимов движения жидкости в барабане: 1 – $k = 0,1$; 2 – $0,3$; 3 – $0,5$; 4 – $0,7$; 5 – $0,9$

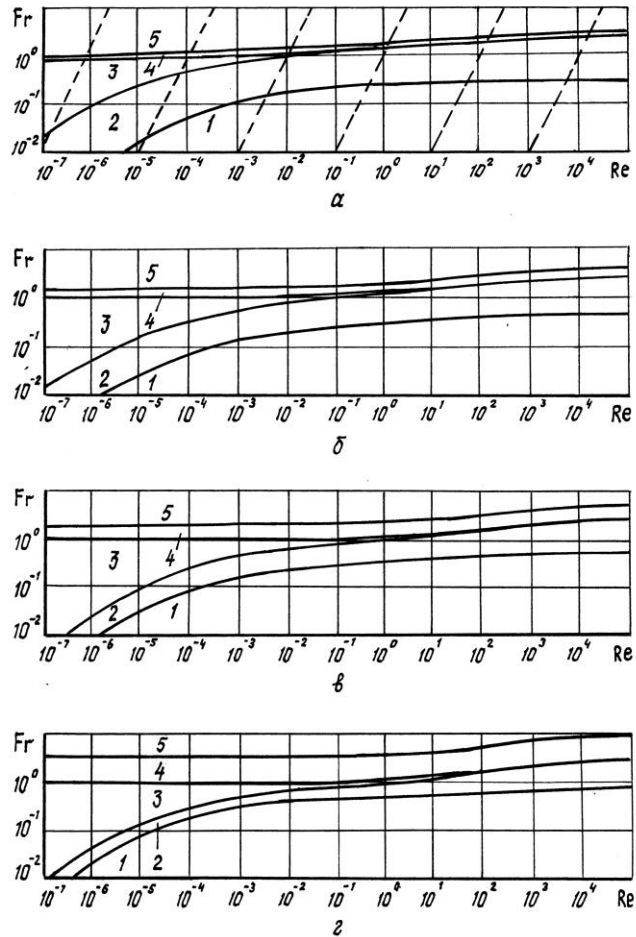


Рис. 3. Универсальные диаграммы границ перехода режимов движения сыпучего материала в барабане: 1 – режим без подбрасывания, 2 – с частичным подбрасыванием, 3 – с полным подбрасыванием, 4 – неполного центрифугирования, 5 – пристенного слоя; $a - k = 0,3$; $б - 0,5$; $в - 0,7$; $г - 0,9$

возникало. Каждая наклонная штриховая линия (рис. 3, а) соответствует барабану определенного радиуса.

Существенный прикладной интерес представляет также задача определения момента сопротивления вращению горизонтальных барабанных машин. Величина момента определяет мощность приводного двигателя. Квазистатическая зависимость момента сопротивления от скорости вращения барабана обуславливает требования к жесткости механической характеристики двигателя, при которой совместное установившееся вращение системы будет устойчивым. Кроме того, с помощью момента можно характеризовать вид и интенсивность циркуляционного движения

материала и определять эффективность реализации технологического процесса.

Анализ некоторых полученных экспериментально количественных и качественных зависимостей мощности привода от скорости вращения барабана с жидкостью представлен в [10, 18]. Системный анализ значительного числа экспериментальных данных с попытками получения обобщенных зависимостей мощности привода барабана с сыпучим материалом от ряда параметров приведен в [8, 14].

Для учета момента сопротивления в относительных величинах можно использовать относительный момент вращения барабана

$$\psi = M/M_{\max},$$

где M – действительный момент;

M_{\max} – условный максимальный момент, который отвечает распределению материала в поперечном сечении в виде идеального твердого сегмента, повернутого вместе с барабаном относительно начального положения на прямой угол Θ , момент равен произведению веса материала G на расстояние от центра тяжести сегмента C до оси барабана O (см. рис. 1, *в*):

$$M_{\max} = (2/3)R^3(\sin^3\beta)L\rho g.$$

Здесь ρ – объемная плотность материала;

β – половина центрального угла идеального сегмента в сечении,

$$2\beta - \sin(2\beta) = 2\pi k.$$

Для определения момента сопротивления материала вращению горизонтального цилиндра была выполнена серия экспериментальных исследований [2, 3]. Полученные данные были близки результатам [6, 16, 18]. На рис. 4, 5 представлены графические зависимости момента ψ в координатах Re и Fr для жидкого и сыпучего материала. Линии на горизонтальных координатных плоскостях графиков соответствуют границам перехода режимов движения материала.

Анализ рис. 4, 5 демонстрирует близкое подобие движения сыпучего материала и жидкости с высокой вязкостью. Отличительной особенностью

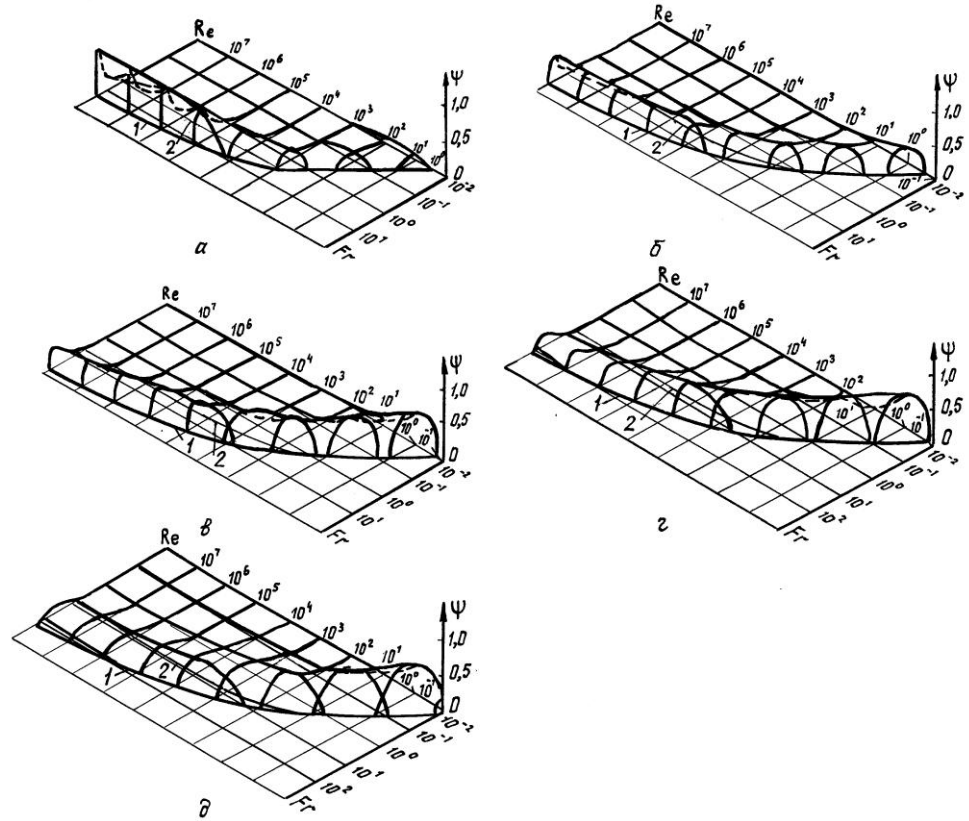


Рис. 4. Универсальные трехпараметрические зависимости относительного момента сопротивления вращению ψ барабана с жидкостью: $a - k = 0,1$, $б - 0,3$, $в - 0,5$, $г - 0,7$, $д - 0,9$; 1 – граница перехода циркуляционного режима движения жидкости в режим пристенного слоя при разгоне барабана, 2 – граница обратного перехода режимов при замедлении

течения жидкости является ее прилипание к стенкам, слипание слоев и наличие режимного гистерезиса. Для сыпучего материала характерны твердотельное движение вблизи стенки и откосообразование при осыпании, когда при низкой скорости ω момент $\psi \rightarrow 0,5$, что соответствует углу $\Theta \approx 30^\circ$. Момент ψ достигает заметных значений при циркуляционном режиме движения материала, а его величина зависит от характера движения. Для жидкости наибольшее значение ψ с ростом ω возникает при увеличении Θ , интенсивное снижение отмечено вследствие возрастания зоны отделения с падением за счет зоны циркуляции. Для сыпучего материала в режиме без подбрасывания с увеличением ω момент ψ плавно возрастает от начального значения 0,5; с частичным подбрасыванием – принимает максимальное значение; с полным подбрасыванием – интенсивно снижается; при неполном центрифугировании – плавно снижается до нуля.

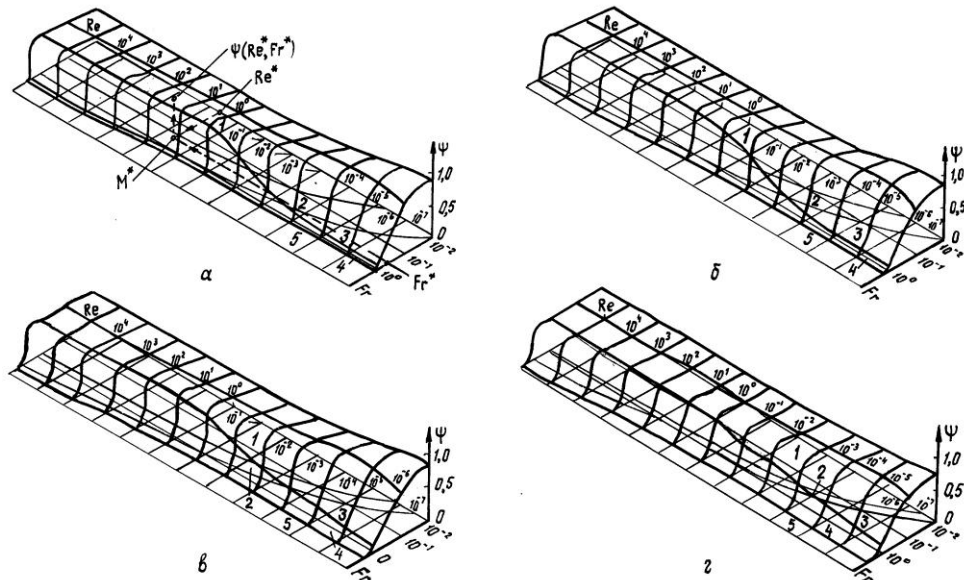


Рис. 5. Универсальные трехпараметрические зависимости относительного момента сопротивления вращению ψ барабана с сыпучим материалом: $a - k = 0,3$, $б - 0,5$, $в - 0,7$, $г - 0,9$ (обозначения режимов движения см. на рис. 3)

Таким образом, полученные графические зависимости границ перехода режимов движения легкодеформируемого материала в барабане и момента сопротивления его вращению могут быть использованы для уточнения и прогнозирования параметров привода при реализации оптимальных режимов работы горизонтальных барабанных машин лесной и целлюлозно-бумажной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованов Ю.В., Ширко И.В. Обзор современного состояния механики быстрых движений гранулированных материалов // Механика гранулирован. сред. Теория быстрых движений. – М.: Мир, 1985. – С. 271–279.
2. Науменко Ю.В. Момент вращения горизонтального цилиндра, частично заполненного вязкой жидкостью // Инженерно-физ. журн. – 1998. – Т. 71, № 4. – С. 639–642.
3. Науменко Ю.В. Момент сопротивления вращению горизонтального цилиндра, частично заполненного сыпучим материалом // Горн. журн. – 1998. – № 5–6. – С. 95–101. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Науменко Ю.В. Режимы движения сыпучего материала в горизонтальном вращающемся цилиндре // Горн. журн. – 1996. – № 2. – С. 105–110.
5. Науменко Ю.В. Скоростные режимы движения вязкой жидкости в горизонтальном вращающемся цилиндре // Инженерно-физ. журн. – 1993. – Т. 64, № 5. – С. 558–565.

6. *Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф.* Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1990. – 301 с.
7. *Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е.* Центробежное литье. – М.: Машиностроение, 1972. – 280 с.
8. Ball milling / A.M. Gow, M. Huggenheim, A.B. Campbell, W.H. Coghill // Trans. AIMME. – 1934. – Vol. 112. – P. 24–78.
9. Confined flow in a partially-filled rotating horizontal cylinder / A. Hajj-Sheikh, R. Lakshimanarayanan, D.Y.S. Lou, P.J. Ryan // Trans. ASME. Ser. 1. J. Fluids Engng. – 1984. – Vol. 106, N 3. – P. 270–278.
10. *Deiber J.A., Cerro R.L.* Viscous flow with a free surface inside a horizontal rotating drum. 1. Hydrodynamics // Ind. Engng Chem. Fundam. – 1976. – Vol. 15, N 2. – P. 102–110.
11. *Gans R.F., Yalisove S.M.* Observation and measurements of flow in a partially-filled horizontally rotating cylinder // Trans. ASME. Ser. 1. J. Fluids Engng. – 1982. – Vol. 104, N 3. – P. 363–366.
12. *Gavish J., Chadwick R.S., Gutfinger C.* Viscous flow in a partially filled rotating horizontal cylinder // Isr. J. Technol. – 1978. – Vol. 16, N 5-6. – P. 264–272.
13. *Goodman M.A., Cowin S.C.* Two problems in the gravity flow of granular materials // J. Fluid Mech. – 1971. – Vol. 45, N 2. – P. 321–339.
14. *Hukki R.T.* Tumbling mill capacity and power consumption as related to mill speed // Trans. AIMME. – 1954. – Vol. 199. – P. 728–730.
15. *Phillips O.M.* Centrifugal waves // J. Fluid Mech. – 1960. – Vol. 7, N 3. – P. 340–352.
16. *Staud A.* Erkenntnisse bei der kondensatabfuhr aus raschlaufenden trockenzyklindern // Voith Forschung und Konstruktion – 1964. – N 11. – S. 4. 1 – 4. 9.
17. *White R.E., Higgins T.W.* Effect of fluid properties on condensate behavior // TAPPI. – 1958. – Vol. 41, N 2. – P. 71–76.
18. *White R.E.* Residual condensate, condensate behavior, and siphoning in paper driers // TAPPI. – 1956. – Vol. 39, N 4. – P. 228–233.

Ровенский государственный
технический университет

Поступила 28.12.2000 г.

Yu.V. Naumenko

Defining Parameters of Horizontal Drum Machine Drive for Forest and Pulp-and-Paper Industry Partially Filled with Treated Material

Universal graphic dependencies are built based on experimental data taking into account the agreed criteria of motion similarity, to be used for calculating speed and force parameters of horizontal drum machine drives partially filled with liquid and granular treated materials.

УДК 674.093:658.26

Л.В. Алексеева

Алексеева Людмила Васильевна родилась в 1960 г., окончила в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры безопасности технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 научных трудов в области лесопиления.



К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ УЧАСТКА ЛЕСОПИЛЕНИЯ НА БАЗЕ ОДНОПИЛЬНОГО ЛЕНТОЧНОПИЛЬНОГО СТАНКА

Предложены основные методические положения по определению мощности лесопильного участка на базе однопильного ленточнопильного станка; установлены показатели, способствующие эффективной организации производства малой мощности.

производительность, мощность, сырье, пиломатериалы, раскрой, уравнения.

Развитие малого лесопиления, спрос на относительно недорогое оборудование, необходимость производства качественных пиломатериалов, применение индивидуальных схем раскроя и, как следствие, более полное использование древесины бревна для выработки продукции определяют актуальность наших исследований.

Интерес к этой проблеме, с одной стороны, и отсутствие рекомендаций для обоснования показателей производства по распиловке сырья и выработке пиломатериалов, с другой, определили цель работы, заключающуюся в оценке зависимости мощности участка лесопиления от характеристики сырья и эксплуатационных показателей однопильных ленточнопильных станков.

На предприятиях Архангельска эксплуатируется несколько десятков однопильных ленточнопильных станков. Их отличительные параметры: диапазон скоростной подачи 10 ... 50 м/мин, диаметры шкивов до 630 мм, ширина пил до 90 мм. Механизирована подача или бревна, или пильной рамки. Навалку и установку бревен, настройку на размер, кантовку, удаление досок осуществляют преимущественно вручную.

Отправным моментом для выполнения исследований явилось явное завышение всех технико-эксплуатационных показателей, отраженных в рекламных проспектах и сопроводительных документах. По некоторым данным выход пиломатериалов высших сортов обеспечивается от 65 до 80 %, производительность составляет 40 м³ и более пиломатериалов в смену.

Приняты следующие исходные данные. Сырье – хвойное. Геометрические параметры бревен соответствуют ГОСТ 9463. Диапазон диаметров перерабатываемых бревен от 14 до 40 см в вершинном торце. Града-

Таблица 1

Диаметр бревна, см	Выход пиловочника, %, по сортам		
	1-й	2-й	3-й
14...24	0,4	68,5	8,4
≥ 26	1,3	19,8	1,6

ция изменения диаметров 2 см. Распределение бревен по диаметрам – логарифмическое нормальное [2]. Средний диаметр бревен 18 см. Диапазон изменения длин бревен 4,0 ... 7,0 м. Градация изменения длин 0,3 м (начиная с 4,2 м). Качественный состав сырья приведен в табл. 1.

Круговая брусово-развальная схема раскря с последующим раскромом горбылей предполагает поочередное отделение тонких досок с каждой стороны бревна, находящейся в зоне резания. Бревно при этом последовательно кантуют на 90°. Число тонких досок задают поставом и определяют по параметрам бревна. Получающийся после выполнения этих операций брус распиливают на толстые и тонкие доски. Способ ориентации – по двум образующим.

Предлагаемый прием в целом обеспечивает более полное использование качественных зон бревна: получение центральных обрезных досок; часть тонких досок – обрезные, другая – полуобрезные с одной пропиленной кромкой. Продукция – пиломатериалы экспортных размеров по ГОСТ 26002.

Программа раскря написана на языке Турбопаскаль и реализована на ПК. Посортный состав пиломатериалов определен по методике ЦНИИМОДа [3].

Производительность распиловки находили согласно инструкции ЦНИИМОДа [1] для скорости подачи $u = 10 \dots 50$ м/мин с шагом 10 м/мин. Годовой фонд рабочего времени – 4060 ч., сменность – 2, продолжительность смены – 8,12 ч.

Как известно, продолжительность распиловки бревна уменьшается с увеличением подачи и повышается с возрастанием его длины. Следовательно, зная зависимость характера распределение длин бревен и групп бревен определенных длин, можно оценить как изменение продолжительности работы цеха при распиловке всего объема сырья или партии, так и вспомогательные затраты на выполнение основных технологических операций.

Нами получены данные о продолжительности работы цеха (на базе одного станка) в зависимости от реального объема сырья, которое требуется распилить. Установлено, что для партии бревен различных диаметров одной равной фиксированной длины продолжительность работы потока уменьшается. Наблюдается аналогичная картина при увеличении скорости подачи, длины бревна или средней длины бревна в партии. В целом в указанных диапазонах изменяющихся факторов производительность участка по распиловке бревен на весь объем сырья составляет от 5 до 14 тыс. м³ в год.

Таблица 2

Диаметр бревна, см	Сорт	Объем сырья по сортам, %	Выход
14...24	1-й	0,4	56,8
	2-й	68,5	55,8
	3-й	8,4	–
≥ 26	1-й	1,3	61,8
	2-й	19,8	60,0
	3-й	1,6	–

Таблица 3

Пило-материалы	Длина бревна, м	Мощность участка по производству пиломатериалов, м ³ , при скорости подачи, м/мин				
		10	20	30	40	50
1-й сорт	4,0	3297,064	4472,341	5083,916	5449,637	5700,824
	5,5	3743,020	5420,367	6345,547	6973,545	7381,262
	7,0	3901,852	5951,102	7204,007	8027,561	8625,077
2-й сорт	4,0	3084,877	4184,517	4756,733	5098,918	5333,939
	5,5	3502,132	5071,532	5937,170	6524,753	6906,230
	7,0	3650,743	5568,110	6740,383	7510,936	8069,998
Средне-взвешенные данные	4,0	3090,318	4191,897	4765,122	5107,910	5343,346
	5,5	3508,309	5080,476	5947,642	6536,260	6918,410
	7,0	3657,182	5577,930	6752,270	7524,182	8084,230

Анализ мощности производства по выпуску пиломатериалов 1 – 3-го сортов проведен при использовании РТМ ЦНИИМОДа. Распределение выхода пиломатериалов приведено в табл. 2.

Как видно из табл. 2, выход пиломатериалов 1-го сорта составляет 60,6 %, 2-го – 56,7 %, средневзвешенный – 56,8 %.

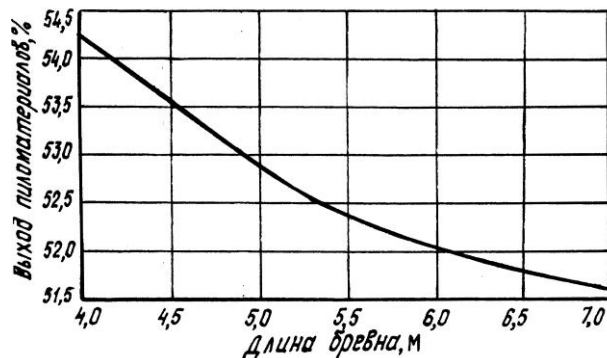
Мощность участка на весь объем сырья в зависимости от скорости подачи (10 ... 50 м/мин), длины (4,0 ... 7,0 м), а также средней длины бревен в партии во всем диапазоне диаметров составляет 3,1 ... 8,1 тыс. м³. Результаты расчетов приведены в табл. 3. При этом средний объемный выход в процентах от объема сырья составляет от 54,2 до 51,6 % при повышении длины от 4,0 до 7,0 м.

Мощность участка по производству экспортных пиломатериалов варьируется от 2,9 до 7,3 тыс. м³ в год. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Длина бревна, м	Мощность участка по производству пиломатериалов на экспорт, м ³ , при скорости подачи, м/мин				
	10	20	30	40	50
4,0	2950,234	4001,879	4549,121	4876,370	5101,134
5,5	3235,690	4685,690	5485,471	6028,350	6380,804
7,0	3321,576	5066,064	6132,639	6833,716	7342,370

Рис. 1. Изменение выхода пиломатериалов в зависимости от длины бревна



Изменение выхода пиломатериалов в зависимости от длины бревна можно найти по уравнению

$$V = 47,966 + \frac{24,883}{L}, \quad (1)$$

где L – длина бревна, м.

Полученные результаты иллюстрирует рис. 1.

Зависимость мощности участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка от скорости подачи при различных значениях длин бревен (4,0; 5,5 и 7,0 м) описывается системой парабол (рис. 2):

$$A(4,0; u) = -1,338u^2 + 132,000u + 1806; \quad (2)$$

$$A(5,5; u) = -1,751u^2 + 181,414u + 1647; \quad (3)$$

$$A(7,0; u) = -2,027u^2 + 219,685u + 1378. \quad (4)$$

Для облегчения определения показателей производства участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка предложен следующий метод.

Для расчета мощности участка по выпуску пиломатериалов в зависимости от длины бревна имеем квадратичные уравнения

$$A(L, u) = aL^2 + bL + c, \quad (5)$$

коэффициенты которых (a , b , c) зависят от скорости подачи:

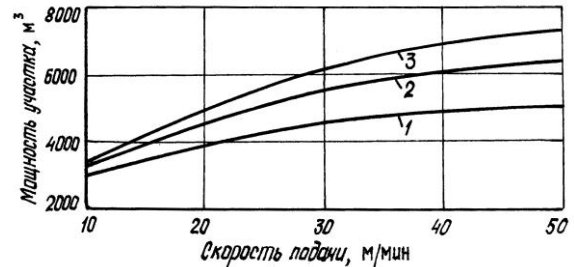
$$a = 0,016u^2 - 0,650u - 81,554; \quad (6)$$

$$b = -0,402u^2 + 36,099u + 762,800; \quad (7)$$

Рис. 2. Изменение производственной мощности участка в зависимости от скорости подачи станка для различных значений длины бревна: 1 – 4,0 м; 2 – 5,5; 3 – 7,0 м



Рис. 3. Изменение мощности участка в зависимости от скорости подачи станка для различных значений длины бревна:
1 – 4,0 м; 2 – 5,5; 3 – 7,0 м



$$c = 8,657 \cdot 10^{-4} u^2 - 0,106u + 3,342. \quad (8)$$

Выразив коэффициенты уравнений (5) через скорость подачи, получили уравнение в виде полинома второго порядка для определения мощности производства по выработке пиломатериалов в зависимости от средней длины бревна в партии:

$$A(L, u) = (0,016u^2 - 0,650u - 81,554) L^2 + (-0,402u^2 + 36,099u + 762,800) L + (8,657 \cdot 10^{-4} u^2 - 0,106u + 3,342). \quad (9)$$

Графическая интерпретация зависимости (9) для различных условий приведена на рис. 3.

Таким образом, выполненная работа позволяет решить комплекс вопросов прогнозирования показателей участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по расчету производственных мощностей лесопильных цехов, потоков и установок: Науч. тр. / ЦНИИМОД. – Архангельск, 1978. – 84 с.
2. Кулиш В.Г., Коротов С.С. Распределение пиловочных бревен по диаметрам // Совершенствование технологии и оборудования лесопильного производства: Науч. тр. / ЦНИИМОД. – Архангельск, 1981. – С. 10–14.
3. Малыгин С.И., Лебедева Е.П., Захарьин Г.И. Руководящие технико-экономические материалы по нормированию расхода сырья и материалов в производстве пиломатериалов: Науч. тр. / ЦНИИМОД. – Архангельск, 1983. – 194 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 15.02.02

L.V. Alekseeva

On Determination of Sawing Area Capacity Based on One-saw Band-saw Machine

The main methodical provisions on determination of sawing area capacity based on one-saw band-saw machine are proposed; the production parameters promoting the efficient organization of low-capacity production are set.

УДК 674.048

Т. Бротте, Е. Варфоломеева, О. Мартинсен

Туре Бротте – член Норвежской ассоциации оценщиков недвижимого имущества с 1979 г., президент FIABCI (Норвегия), руководитель международного проекта обучения студентов по специализации «Оценка недвижимости», профессор АГТУ.



Варфоломеева Елена Юрьевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесопильно-строгальных производств, младший научный сотрудник лаборатории защиты древесины ЦНИИМОД. Имеет 12 печатных работ по проблемам защиты лесопро-дукции от биопоражения с учетом экологических требований разных стран.



Одвар Мартинсен – специалист по оценке недвижимости, товарно-материальных запасов и основных фондов, размеров ущерба стихийных бедствий и пожаров, восстановительной стоимости, член FIABCI (Норвегия), участник международного проекта обучения студентов по специализации «Оценка недвижимости», профессор АГТУ.

**ЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА
ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
С УЧЕТОМ ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПОРТА**

Проанализировано развитие в России автоклавной пропитки деревянных строительных изделий. Определена экономическая целесообразность экспортных поставок российскими пропиточными предприятиями готовой продукции. Приведены требования потенциальных импортеров к различным видам пропитанной продукции, проанализирован ее перспективный ассортимент. Предложены мероприятия для обеспечения производства и экспортных поставок конкурентоспособной продукции из пропитанной древесины.

деревянные строительные изделия, автоклавное оборудование, пропитка, защитные препараты, классификация, потребительские требования, ассортимент, контроль качества.

6

Наиболее надежным методом защитной обработки деревянных строительных изделий является глубокая пропитка в ав-

токлавах антисептиками или антипиренами.

В системе Министерства путей сообщения Российской Федерации (МПС РФ) широко распространена автоклавная пропитка шпал и столбов горячим каменноугольным маслом, которая производится на ведомственных шпалопропиточных заводах. Масло здесь используют также в качестве топлива. Ближайший Харовский шпалопропиточный завод расположен на расстоянии 545 км от Архангельска (станция Харовская Северной железной дороги). К недостаткам шпалопропиточных заводов МПС РФ относятся узкая специализация, обусловленная их ведомственной подчиненностью, специфическая область применения изделий из древесины, пропитанных маслами, высокая экологическая опасность при работе с горячим маслом.

Многие лесозаготовительные и деревообрабатывающие предприятия России вынуждены поставлять на шпалопропиточные заводы МПС РФ белые шпалы и переводные брусья из древесины хвойных пород по заниженным ценам. Это обусловлено тем, что в этой системе практиковали централизованное утверждение единых закупочных цен на белые шпалы. При этом ориентировались на минимальную цену, зафиксированную во время проводимых аукционов, без учета себестоимости производства шпал в разных районах страны и удаленности поставщиков от шпалопропиточных заводов. Такая ситуация создалась вследствие того, что перевозка шпал в системе МПС РФ осуществляется по льготному ведомственному тарифу, который в конечном счете оплачивают все потребители услуг. Из-за такой методики ценообразования многие предприятия теряют заинтересованность в изготовлении белых шпал.

В теплое время года на поверхности обработанных деревянных опор, мачт, столбов выступают капли масла. Это не только затрудняет монтаж и обслуживание линий электропередач и связи, но и представляет опасность для здоровья человека.

Согласно 21-ому изданию Технических характеристик 67/548 по классификации, упаковке и маркировке опасных веществ (опубликовано 31 декабря 1995 г. в норвежском «Официальном журнале L 381»), дегтярные масла, включая креозот, обладают канцерогенными свойствами и классифицируются категорией 2. В связи с этим деревянные строительные детали, пропитанные такими препаратами, в Норвегии маркируют меткой R 45, предупреждающей о канцерогенной опасности. Однако в настоящее время выпускают хорошо очищенные масла, которые содержат примеси бензапиренов в количестве менее 0,0005 % и не являются канцерогенными. Их можно использовать для защиты деревянных строительных деталей и конструкций без предупредительной маркировки R 45. В Норвегии к канцерогенным не относят маслянистые препараты WEI типа B и C [1].

В связи с канцерогенной опасностью масла необходимо тщательно очищать от бензапиренов и других токсичных примесей, вести жесткий контроль за их содержанием. Поскольку качество применяемых в России масел не контролируется в соответствии с требованиями стран-импортеров, то по

экологическим соображениям введены ограничения на импорт древесины, пропитанной этими препаратами.

В последние годы на деревообрабатывающих и строительных предприятиях России наблюдается активное развитие автоклавной пропитки древесины водорастворимыми препаратами. Нами проведено натурное обследование нового деревопропиточного завода [3], построенного в 2000 г. межрегиональной компанией «Белкомур» в поселке Ясный Пинежского района Архангельской области. По результатам обследования производства и самой готовой продукции можно сделать вывод о том, что в области освоены выпуск высокопроизводительных автоклавных установок (толщина стенок камеры 18 мм, вместимость 60 м³, длина 19 м, диаметр 2 м) и технология глубокой пропитки древесины водорастворимыми защитными препаратами под избыточным давлением не менее 1 МПа.

Кроме того, в Архангельске успешно проведены испытания модульной сборно-разборной автоклавной установки тупикового типа с цилиндрической камерой (диаметр 1,8 м, длина 12,5 м) для глубокой пропитки древесины [2]. Установка оснащена пультом управления технологическим процессом, системой контрольно-измерительных приборов, двумя рельсовыми тележками, блоком наружного рельсового пути (длина 13 м) с реверсом и электроприводом, штатным узлом приготовления пропиточных растворов с пропеллерной электромешалкой, вакуум-насосом, насосом высокого давления, резервной емкостью для перекачки пропиточного раствора (диаметр 2 м, длина 12 м), которая для экономии производственной площади монтируется на автоклавной камере. Для монтажа такого мини-завода на готовые фундаменты требуется 8 дней. При его перевозке по экономическим или экологическим соображениям демонтаж можно осуществить в течение двух дней. Обслуживающий персонал – 2 человека в смену. Электроэнергию используют только для обеспечения поочередной работы насосов и привода наружного пути. Перечисленные характеристики открывают модульным автоклавным установкам широкую перспективу для применения на малых предприятиях в районах лесозаготовок.

Экономическая оценка производства автоклавной пропитки древесины в местах лесозаготовок показывает, что там наиболее перспективен выпуск пропитанных мачт, опор, столбов и других строительных изделий из круглых элементов. Наибольшую рентабельность следует ожидать от производства цилиндрических деталей малого диаметра для садово-паркового строительства, оград и других изделий, получаемых при переработке балансов и тонкомерного сырья. На европейском рынке розничные цены на такую продукцию составляют 220 ... 300 евро за 1 м³. Для обеспечения конкурентоспособности на внешнем рынке необходимо перед пропиткой обеспечить качественное фрезерование или строгание поверхности перечисленных строительных деталей. Требуемую шероховатость поверхности деталей, предназначенных на экспорт, нельзя получить при использовании традиционных окорочных станков. Необходимо применять специальное фрезерующее оборудование.

При формировании на пропиточном заводе ассортимента выпускаемой продукции экономически целесообразно предусматривать поставки на экспорт. Для этого учитывают потребительский спрос потенциальных иностранных покупателей российских деревянных строительных деталей. Рассмотрим в качестве потенциального импортера Норвегию. Она занимает гористую, вытянутую вдоль морского побережья территорию с большим количеством горных рек и ручьев, глубоких и протяженных фьордов. Интенсивный природный водосток к водоемам в скальных массивах, которые обычно имеют большое количество наружных и внутренних трещин, значительно усложняет с точки зрения экологии поиск площадок для размещения пропиточных заводов. Лес оказывает значительное влияние на удержание снега, защиту от ветров и формирование климата. Скальный грунт неблагоприятно влияет на качество растущей древесины, в горах ее трудно заготавливать. По перечисленным причинам объемы лесозаготовок и пропитки древесины биологически активными химическими препаратами здесь ограничены. Поэтому Норвегия очень заинтересована в поставках из России пропитанных деревянных изделий [4].

В табл. 1 приведены технические требования к импортируемым в скандинавские страны сосновым столбам линий электропередач.

Таблица 1

Номер по порядку	Показатели	Значения показателей в соответствии с требованиями скандинавских стран
1	Длина	Стандартная длина от 7 до 23 м с градацией 1 м. Допуски ± 10 см.
2	Диаметр	Диаметр определяют на расстоянии 2 м от нижнего и/или верхнего конца. Допуск вверх: $\pm 0,5$ см, вниз: $-0,5 \dots +3,0$ см. При учете по вершине диаметр столбов класса 1 должен быть 13,0...14,9 см, класса 2 – 15,0...16,9 см, класса 3 – 17,0...18,9 см, в комлевой части – 22,0...55,0 см. Особые требования к верхнему диаметру согласовываются между продавцом и покупателем дополнительно. При отсутствии дополнительных требований к верхнему диаметру его минимальный размер должен быть не менее 16,0 см.
3	Овальность	Максимальное соотношение между наибольшим и наименьшим диаметрами не должно превышать 1,2.
4	Поверхность	Отсутствие коры, лыка и отверстий, продолбленных дятлом. Клейкость масла – максимум на 1/3 поверхности столба. Шероховатость после обработки – максимум 0,5 см.
5	Торец	Угол наклона – 1/20 диаметра.
6	Кривизна	Максимальная стрела прогиба – 1/2 диаметра.
7	Кривизна нижнего торца	Максимальная длина кривизны – 1/2 диаметра.

Продолжение таб. 1

Номер по порядку	Показатели	Значения показателей в соответствии с требованиями скандинавских стран
8	Угловая кривизна (равномерная)	Максимальная стрела прогиба – 1/4 диаметра.
9	Резкая кривизна	Максимальная длина кривизны – 1/4 диаметра.
10	Двойная кривизна	Максимальная стрела прогиба – 1/4 диаметра.
11	Простые сучки	Максимальный диаметр сучка: в верхней части столба – 1/2 диаметра, в нижней – 1/3 диаметра.
12	Два или несколько сучков, находящихся на одной высоте	Наибольшая сумма диаметров сучков: в верхней части столба – 3/4 диаметра, в нижней – 1/2 диаметра.
13	Сучок, идущий от сердцевины, образовавшийся из неразвившейся или сломленной вершины	Максимальный диаметр сучка – 1/30 диаметра столба.
14	Гниль	Развитая гниль не допускается.
15	Прорость	Максимальная длина – 2 диаметра, ширина – 1/4 диаметра, глубина – 1/10 диаметра.
16	Наклон волокон	Максимальный наклон волокон – 1:6.
17	Поражение насекомыми	На 10 см длины максимум 5 отверстий диаметром менее 2 мм.
18	Трещины	Нет требований на данный момент.

Примечание. Наличие пороков 6–18 не допускается в большом количестве.

Для расчета загрузки транспорта, автоклавной камеры, потребности в пропиточном растворе необходимо определить объем деревянных столбов конической формы с природным сбегом диаметра по длине. В табл. 2 приведены среднестатистические объемы деревянных стандартных столбов 1–3 классов для линий электропередач низкого напряжения, используемых в скандинавских странах.

Таблица 2

Длина, м	Среднестатистический объем, л, стандартных столбов различных классов		
	1	2	3
6	126	159	196
7	155	194	237
8	185	231	282
9	218	271	329
10	254	314	379
11	292	359	433
12	332	407	489
13	376	458	549
14	422	512	612
15	471	569	678

Растущее дерево имеет коническую форму. Объем ствола определяют диаметры вершины и комля, его природный сбег. Среднестатистические показатели взаимосвязи диаметра, высоты и объема деревянных конических столбов приведены в табл. 3, используемой при обмере столбов, пропityваемых в скандинавских странах.

При производстве пропитанных строительных изделий из древесины для экспортных поставок на скандинавский рынок необходимо использовать защитные препараты, удовлетворяющие экологическим и эксплуатационным требованиям Скандинавского совета по защите древесины [1].

Таблица 3

Длина, м	Объем, л, столбов с нижним диаметром, см												
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
7	164	184	204	226	249	–	–	–	–	–	–	–	–
8	179	201	224	248	274	301	329	358	389	421	–	–	–
9	192	216	241	268	296	326	357	390	424	459	496	534	573
10	–	229	257	286	317	349	383	418	455	494	534	576	619
11	–	–	270	301	335	370	406	444	485	526	570	615	662
12	–	–	–	315	350	388	427	468	511	556	602	651	702
13	–	–	–	–	364	404	445	489	535	582	632	684	738
14	–	–	–	–	–	417	461	508	556	606	659	714	771
15	–	–	–	–	–	–	475	524	575	628	683	741	802
16	–	–	–	–	–	–	–	–	591	647	705	766	829
17	–	–	–	–	–	–	–	–	–	663	724	788	854
18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	740	809	876
19	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	823	895
20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	911

Продолжение табл. 3

Длина, м	Объем, л, столбов с нижним диаметром, см												
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
10	664	711	759	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
11	711	761	813	867	923	–	–	–	–	–	–	–	–
12	754	808	864	922	982	1044	1108	1173	1241	1310	–	–	–
13	794	852	912	974	1038	1104	1172	1242	1315	1389	–	–	–
14	831	892	956	1022	1090	1160	1233	1308	1385	1464	–	–	–
15	864	929	997	1066	1138	1213	1290	1369	1450	1534	–	–	–
16	895	963	1034	1107	1183	1262	1343	1426	1512	1600	1691	–	–
17	923	994	1068	1145	1225	1307	1392	1479	1570	1662	1758	–	–
18	947	1022	1099	1180	1263	1349	1437	1529	1623	1721	1821	–	–
19	969	1047	1127	1211	1297	1387	1479	1575	1673	1775	1879	–	–
20	989	1069	1153	1239	1329	1422	1518	1617	1720	1825	1934	2046	2160
21	1005	1088	1175	1264	1357	1454	1553	1656	1762	1872	1984	2100	2220
22	1019	1105	1194	1287	1383	1482	1585	1691	1801	1915	2031	2151	2275

В скандинавских странах пропитанную древесину подразделяют на 4 класса защиты: М, А, АВ, В. Классификация основана на степени риска биологического разрушения деревянных изделий в процессе эксплуатации. Согласно российскому ГОСТ 20022.2–80* («Защита древесины. Классификация») изделия из древесины подразделяют на 18 классов. Такое несоответствие стандартов, касающихся консервирования древесины, значительно осложняет российским предприятиям выгодный экспорт дорогостоящих пропитанных строительных изделий. В связи с этим российские экспортеры вынуждены составлять и согласовывать с импортерами технические условия на каждую партию пропитанной продукции из древесины. Для обеспечения выпуска экологически безопасной продукции необходимо строго контролировать качество как используемых пропиточных материалов, так и готовых деревянных строительных изделий.

На 35 подведомственных деревопропиточных заводах Норвегии два раза в год осуществляют контроль за технологией производства и качеством пропитки различных изделий из древесины. Показатели производства строительных изделий из пропитанной древесины в Норвегии в 2001 г. приведены в табл. 4.

Из приведенных в табл. 4 данных видно, что 82,2 % объема пропитки составляют строительные детали, изготовленные из пиломатериалов, 3,5 % – столбы. Объемы пропитки водорастворимыми солями в 22,4 раза

Таблица 4

Изделия	Объем, м ³ , изделий из пропитанной древесины различного класса								Всего
	Креозот		Водорастворимые препараты				Органорастворимые препараты		
	М	А	М	А	АВ	Неклассифицирован	В	Неклассифицирован	
Строительные детали из пиломатериалов	62	2 842	530	7 172	252 286	9 305	–	–	272 197
Ограды со столбами	–	235	–	11 094	–	435	–	–	11 764
Опоры, столбы	58	8 626	167	2 822	–	–	–	–	11 673
Ограждение автодорог	–	–	–	715	–	–	–	–	715
Шпалы	–	503	–	–	–	–	–	–	503
Окна	–	–	–	–	–	–	180	26 561	26 741
Двери	–	–	–	–	–	–	160	4 893	5 053
Прочее	–	–	–	937	55	–	20	914	19 326
Итого по классам	120	12 206	697	22 740	252 341	9 740	360	32 368	330 572
Итого по препаратам	12 326		285 518				32 728		330 572

выше, чем креозотом. Шпалы в Норвегии пропитывают только маслянистыми препаратами.

Выводы

1. В России развивается производство автоклавной пропитки древесины защитными препаратами с использованием современного оборудования собственного производства.

2. В связи с низкой энергоемкостью технологического оборудования и малой численностью обслуживающего персонала автоклавная пропитка древесины имеет большую перспективу для применения на малых предприятиях в районах лесозаготовок.

3. Пропиточным заводам России при формировании ассортимента выпускаемой продукции экономически целесообразно предусматривать поставки на экспорт. Для этого необходимо учитывать потребительский спрос на них и использовать при обработке защитные препараты, которые разрешены для применения в странах-импортерах.

4. Для выпуска конкурентоспособной продукции и обеспечения экологической безопасности необходимо организовать строгий объективный контроль качества используемых защитных препаратов и готовых пропитанных деревянных строительных деталей.

5. Для обеспечения возможности экспорта деревянных строительных изделий, пропитанных защитными препаратами на российских заводах, необходимо привести российские стандарты по консервированию древесины в соответствие с международными, устранив принципиальные различия при учете степени риска биологического разрушения древесины в процессе эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бротте Т., Варфоломеева Е.Ю., Мартинсен О. Различия скандинавских и российских стандартов по защитной обработке древесины // Лесн. журн. – 2002. – № 3. – С. 138–143. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Варфоломеев Ю.А. Обеспечение долговечности деревянных домов // Тр. междунар. научно-техн. конф. «Строительство и реконструкция деревянных жилых домов». – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – С. 165–167.

3. Новый отечественный завод для автоклавной пропитки древесины / Ю.А. Варфоломеев, Д.В. Агапов, В.И. Федотов, А.П. Хизов // Деревообработ. пром-сть. – 2001. – № 2. – С. 7–9.

4. Турушев В.Г., Варфоломеева Е.Ю., Мартинсен О. Контейнерные поставки на экспорт деревянных строительных деталей // Тр. междунар. научно-техн. конф. «Реконструкция и ремонт зданий и сооружений в климатических условиях Севера». – Архангельск: Изд-во «Кира», 1999. – С. 167–170.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 06.06.02

T.Braatte, E.Varfolomeeva, O.Martinsen

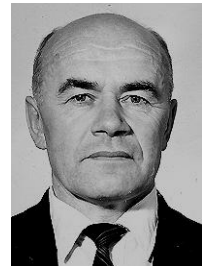
Protective Treatment of Wooden Building Products Taking into Account Export Perspective

The development of autoclaved treatment of wooden building products in Russia has been analyzed. The economic expediency of export deliveries of finished products by Russian impregnation enterprises is defined. The requirements of potential importers to different kinds of impregnated products are provided; its perspective assortment is analyzed. The measures for providing production and export deliveries with competitive products from impregnated wood are offered.

УДК 674.093:658.5.012.1

Ю.Ф. Воронцов, Л.С. Суровцева

Воронцов Юрий Филиппович родился в 1938 г., в 1960 г. окончил Архангельский лесотехнический институт, в 1967 г. – Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент, кафедры безопасности технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области технологии лесопильного производства.



Суровцева Любовь Савватъевна родилась в 1944 г., окончила в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 научных трудов в области комплексного, рационального использования древесины, совершенствования технологического процесса лесопильно-деревообрабатывающих производств.



**ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ
ЛЕСОПИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПО ГРУППАМ ДИАМЕТРОВ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ**

Установлено, что специализация лесопильных предприятий по сырью влечет за собой их специализацию по оборудованию и продукции.

сортировка бревен по диаметрам, специализация планирования раскроя.

Объемный, качественный и ценностный выходы пиломатериалов, эффективность работы головного оборудования лесопильного цеха и установок для окончательной обработки и подготовки пиломатериалов к отгрузке зависят от организации технологического процесса на участке подготовки сырья к распиловке и, особенно, от операции сортировки бревен по диаметрам.

В настоящее время на лесопильные предприятия г. Архангельска сырье поступает с диапазоном диаметров от 6 до 38 см и более (см. рисунок). Соотношение бревен по диаметрам на отдельных предприятиях отличается незначительно. Основная группа сырья (более 51 %) имеет диаметры $d = 18 \dots 24$ см. Доля бревен с диаметрами $d = 12 \dots 16$ см составляет 34 %, $d \geq 26$ см – 16 %.

Каждое предприятие рассортировывает пиловочное сырье по номинальным диаметрам, трудозатраты на это составляют около 3 %.

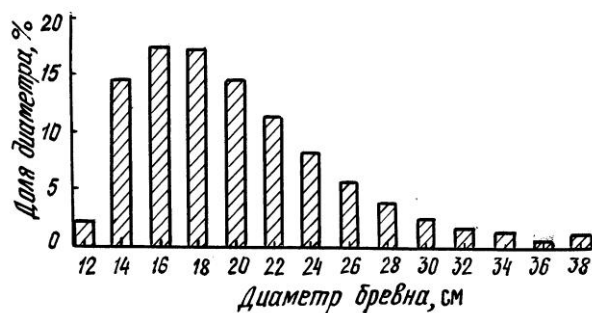
Лесосплавные и лесозаготовительные предприятия не рассортировывают бревна ни по диаметрам, ни по группам диаметров. При водной по-

ставке пиловочного сырья на лесопильные предприятия бревна на лесосплавных предприятиях сортируют по длинам: 4,0 ... 4,9 и 5,2...6,1 м, при сухопутной поставке – на две группы длин: 4,0 и 6,0 м. Все это позволяет повысить коэффициент полндревности и снизить затраты на транспортировку пиловочного сырья. Однако на лесопильных предприятиях поставка рассортированных по длинам бревен не дает снижения трудозатрат на участке подготовки сырья к распиловке.

Основным фактором при раскросе бревен на пилопродукцию является их сортировка по номинальным диаметрам или группам диаметров.

В связи с этим были проведены исследования по сортировке бревен на лесосплавных и лесозаготовительных предприятиях по двум группам диаметров (14 ... 24 см; 26 см и более) и поставке их на лесопильные предприятия г. Архангельска.

Исследования показали, что полндревность сплочных единиц уменьшилась на 5 ... 10 %. Производительность при сортировке бревен и



Распределение пиловочного сырья по диаметрам

Таблица 1

Сортировочная группа диаметров	Диаметр бревен, см	Доля бревен соответствующего диаметра, %
I	12	5,9
	14	42,8
	16	51,3
II	18	33,2
	20	28,5
	22	22,3
	24	16,0
III	26	36,1
	28	23,9
	30	15,9
	32	9,6
	34	5,9
	36	3,6
	38	5,6

формировании плота по фактору толщины бревна возросла на 25 %. Кроме того, сортировка бревен по группам диаметров на лесосплавных предприятиях дает возможность специализировать лесопильные предприятия по распиловке бревен на одну из групп диаметров. Анализ работы лесопильных заводов позволил сделать вывод, что все поступающее сырье можно распределить на три группы диаметров и поставлять каждую группу на отдельное специализированное предприятие. В табл. 1 приведено распределение поступающего сырья на три рекомендуемые группы диаметров.

При распределении сырья по группам диаметров исходили из условия, что годовой объем переработки сырья в Архангельском промышленном узле не изменяется.

При поставке рассортированных по группам диаметров бревен требуется следующая специализация предприятий:

– бревна $d = 14 \dots 16$ см распиливают на одном предприятии, в состав которого входят 3 потока на базе ЛАПБ, 4-й поток на базе ФБС, 2 потока с лесопильными рамами, перерабатывающими бревна сложной формы (кривизна, закомелистость, крень и т.д.);

– бревна $d = 18 \dots 24$ см распиливают на семи предприятиях, оснащенных лесопильными рамами и имеющих 24 потока;

– бревна $d \geq 26$ см распиливают на двух предприятиях, оснащенных тремя потоками на базе лесопильных рам.

Специализация заводов по группам диаметров не должна отразиться на выполнении контрактов на пилопродукцию в целом по Архангельскому промышленному узлу. Нами были проведены расчеты и сравнительный анализ планирования раскроя сырья и выработки пиломатериалов в соответствии с контрактами исходя из новых условий поставки бревен на предприятия. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сечение пиломатериалов, мм	Объем выработки, м ³ , по группе диаметров, см			Всего выпилено, м ³
	14...16	18...24	≥ 26	
75×275	–	–	1 368	1 368
75×225	–	–	20 715	20 715
75×200	–	–	9 160	9 160
75×175	–	–	19 595	19 595
75×150	–	8 373	–	8 373
63×175	–	14 477	19 651	34 128
63×150	–	24 964	–	24 964
50×225	–	–	4 832	4 832
50×200	–	–	1 762	1 762
50×175	–	11 224	17 981	29 205
50×150	–	58 181	13 678	71 859
50×125	–	56 781	–	56 781

50×115	–	8 566	–	8 566
47×225	–	–	3 826	3 826
47×175	–	–	1 576	1 576
47×150	–	–	2 312	2 312
44×175	–	4 045	–	4 045
44×150	–	31 352	–	31 352
44×125	22 111	761	–	22 872
44×115	–	10 104	–	10 104
44×100	166 510	88 425	–	254 935
38×200	–	–	1 597	1 597
38×175	–	–	2 271	2 271
38×150	–	3 873	–	3 873
38×125	–	9 098	–	9 098
38×115	9 459	–	–	9 459
38×100	–	4 402	–	4 402
36×150	–	12 755	–	12 755
36×115	–	1 052	–	1 052
36×100	–	1 412	–	1 412
32×175	–	1 791	–	1 791
32×150	–	7 508	–	7 508
32×115	–	4 536	–	4 536
32×100	–	2 025	–	2 025
25×225	–	–	217	217
25×200	–	–	1 053	1 053
25×175	–	–	7 769	7 769
25×150	–	80	7 300	7 380
25×125	–	989	6 740	7 729
25×115	–	2 673	5 532	8 205
25×100	–	12 226	7 708	19 934
22×225	–	–	1 822	1 822

Продолжение табл. 2

Сечение пиломатериалов, мм	Объем выработки, м ³ , по группе диаметров, см			Всего выпилено, м ³
	14...16	18...24	≥ 26	
22×200	–	–	2 222	2 222
22×175	–	1 535	5 830	7 365
22×150	–	7 564	6 975	14 539
22×125	–	33 984	9 813	43 797
22×115	–	7 038	990	8 028
22×100	21 148	113 729	5 638	140 515
Итого	219 228	545 523	189 933	954 684

Расчеты показали, что после специализации предприятий по распиловке определенной группы диаметров суммарный объем выработки пиломатериалов практически не изменился. Число основных сечений, вырабатываемое предприятием при поставке бревен всех диаметров, составит от 5 до

15, по тонким доскам – 5-6 сечений. При поставке сырья по группам диаметров число выпиливаемых сечений можно сократить в 2-3 раза на каждом предприятии. Это позволит упростить технологический процесс сортировки пилопродукции, окончательную ее обработку и подготовку к отгрузке. Операция сортировки бревен по диаметрам так же упростится, снизятся трудозатраты и время накопления партии бревен одного диаметра, что позволит повысить коэффициент использования потоков. При поставке бревен одной группы диаметров на предприятиях, оснащенных лесопильными рамами, коэффициент использования потока увеличится на 0,060, агрегатами – на 0,043. Это даст возможность повысить производительность потоков на 10 ... 11 %.

Уменьшение числа одновременно выпиливаемых сечений значительно сократит время на накопление достаточного объема пиломатериалов одного сечения для их окончательной обработки и подготовки к отгрузке, что даст возможность сократить время на перестройку линий для окончательной торцовки и сортировки пиломатериалов и повысить производительность.

Таким образом, поставка бревен ограниченного числа диаметров на каждое лесопильное предприятие позволит упростить процесс сортировки пилопродукции, окончательную ее обработку и подготовку к отгрузке.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 01.03.01

Yu.F. Vorontsov, L.S. Surovtseva

Efficiency of Sawmills' Specialization according to Diameter Groups of Sawn Raw Material

Specialization of sawmills according to raw material brings about their specialization in equipment and products.

УДК 674.048

Ю.А. Варфоломеев, Л.А. Баданина

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



Баданина Лариса Александровна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский государственный университет, старший преподаватель кафедры высшей математики Архангельского государственного технического университета. Имеет 6 печатных работ в области математического моделирования процесса консервации древесины.



**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ
ЗАЩИТНОЙ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ
В АВТОКЛАВАХ**

Решена задача о фильтрации раствора защитного препарата в древесине при переменном внешнем давлении с учетом сжимающегося в порах воздуха; получены зависимости для оптимизации технологических режимов глубокой пропитки древесины в автоклавах.

пропитка древесины защитными препаратами, автоклав, давление, фильтрация, режим, оптимизация.

В последние годы на внутреннем рынке нашей страны из-за роста цен на пиломатериалы зафиксировано увеличение потребительского спроса на деревянные детали, пропитанные экологически безопасными препаратами для защиты от биопоражения. Создано современное отечественное автоклавное оборудование для глубокой пропитки крупногабаритных конструкций и деталей, вводятся в эксплуатацию новые специализированные деревопропиточные заводы [1, 3].

Основной задачей оптимизации автоклавной пропитки деревянных крупноразмерных конструкций и деталей является подбор рациональных технологических режимов, обеспечивающих требуемую глубину проникновения химикатов за минимальный период времени.

Цель исследований – разработать математическую модель процесса пропитки древесины при избыточном давлении в автоклаве для достоверного прогнозирования и оптимизации технологических параметров защитной обработки.

Разработанный ранее метод расчета основан на уравнении фильтрации жидкости в пористом теле. С помощью этого метода нами было рассмотрено проникновение защитного раствора в древесину поперек волокон [2] при следующих условиях (рис. 1, *a*):

1) с одной стороны образца внешнее давление жидкости поддерживается постоянным;

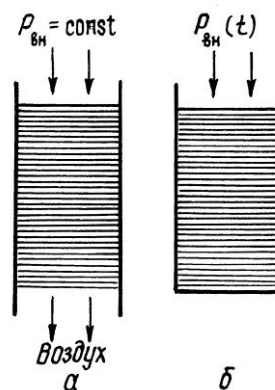
2) под напором жидкости внутренний воздух из пор древесины свободно выходит с противоположной стороны образца.

В настоящей работе решена задача о фильтрации жидкости в древесине при переменном внешнем давлении с учетом сжимающегося в порах воздуха.

Предположим, что процесс фильтрации жидкости в древесине происходит при произвольном и не обязательно постоянном давлении $P_{\text{ат}}$, жидкость движется от наружной поверхности внутрь образца (рис. 1, *б*). Противоположная сторона образца не сообщается с атмосферой и оставшийся в порах древесины воздух сжимается. В начальный момент времени внутри образца находится воздух при атмосферном давлении $P_0 = 1$ атм. В процессе фильтрации жидкость постепенно вытесняет воздух из пор. Оставшийся воздух сжимается, при этом его давление повышается. В расчетах принято, что фронт жидкость–воздух проходит там, где давления жидкости и воздуха равны.

Таким образом, имеем задачу о распределении давлений при наличии движущейся границы раздела двух фаз $\xi(t)$ и скорости движения этой границы. При напоре жидкости происходит фильтрация оставшегося в древесине воздуха. Давление воздуха вблизи фронта жидкость–воздух больше, чем в глубине древесины. Однако коэффициент фильтрации воздуха в древесине во много раз превышает коэффициент фильтрации жидкости. Поэтому скорость фильтрации воздуха на несколько порядков выше. Исходя из предположения, что пока жидкость послойно проникает в древесину, давление воздуха успевает выровняться по всей глубине, считаем, что давление воздуха $P_{\text{возд}}(t)$ зависит от времени t и не зависит от глубины x (расстояния от внутренней поверхности образца). В такой ситуации краевое условие на

Рис. 1. Фильтрация жидкости в древесине при различных условиях пропитки: *a* – внешнее давление жидкости $P_{\text{вн}}$ поддерживается постоянным, оставшийся в порах внутри древесины воздух свободно выходит с противоположной стороны; *б* – внешнее давление жидкости $P_{\text{вн}}(t)$ – переменное, воздух в древесине сжимается



движущейся границе $\xi(t)$ имеет вид $P(\xi(t), t) = P_{\text{аіқә}}(\xi(t), t)$, где $t > 0$, $0 < \xi(t) \leq a$. Согласно закону Бойля – Мариотта, давление оставшегося воздуха $P_{\text{возд}}(t)$ в образце толщиной a в момент времени t .

$$P_{\text{аіқә}}(\xi(t), t) = \frac{a}{a - \xi(t)} P_0.$$

Таким образом, математическая формулировка задачи фильтрации жидкости в древесине с переменным внешним давлением жидкости и учетом сжимающегося воздуха имеет следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\phi} \frac{\partial P}{\partial x} \right) = \rho_0 \beta_{\text{пл}} \frac{\partial P}{\partial t}, \quad t \geq 0, \quad 0 \leq x \leq \xi(t);$$

$$P(0, t) = P_{\text{аі}}(\xi(t), t), \quad t > 0;$$

$$P(\xi(t), t) = \frac{a}{a - \xi(t)} P_0, \quad t > 0, \quad 0 < \xi(t) \leq a;$$

$$\xi(0) = 0;$$

$$k_{\phi} \frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{x=\xi(t)} = -\mu_0 \rho_0 \frac{d\xi}{dt},$$

где ρ_0 – плотность рабочего раствора;

$\beta_{\text{пл}}$ – коэффициент пластичности древесины;

k_{ϕ} – коэффициент фильтрации жидкости;

μ_0 – коэффициент пористости древесины;

$P(x, t)$ – зависимость давления от глубины и времени;

$\xi(t)$ – зависимость глубины проникновения жидкости от времени.

Сформулированная задача допускает произвольные граничные условия. Например, если внешнее давление жидкости в автоклаве переменное, то в граничном условии функция $P_{\text{аі}}(\xi(t), t)$ также не будет постоянной. Нами получено численное решение задачи о фильтрации жидкости с учетом сжимающегося воздуха внутри древесины и при любом внешнем давлении жидкости. В частности, проведен анализ решения при различных условиях:

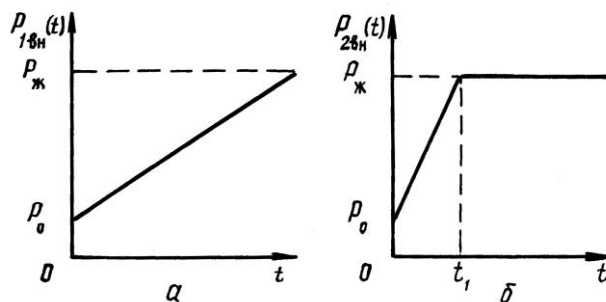
режим 1 – внешнее давление жидкости $P_{\text{аі}}(\xi(t), t)$ равномерно растет (рис. 2, а) в течение всего времени пропитки t' до максимального значения, равного $P_{\text{ж}}$:

$$P_{\text{аі}}(\xi(t), t) = P_0 + \frac{P_{\text{ж}} - P_0}{t'} t;$$

режим 2 – внешнее давление жидкости $P_{\text{аі}}(\xi(t), t)$ сначала линейно растет (рис. 2, б) в течение времени t_1 до тех пор, пока не примет значение, равное $P_{\text{ж}}$, а затем, в течение оставшегося времени, поддерживается на этом уровне:

$$P_{\text{аі}}(\xi(t), t) = \begin{cases} P_0 + \frac{P_{\text{ж}} - P_0}{t_1} t, & t \leq t_1; \\ P_{\text{ж}}, & t > t_1. \end{cases}$$

Рис. 2. Режимы пропитки древесины в зависимости от внешнего давления жидкости: *a* – первый режим; *б* – второй режим



Пропитка древесины по первому режиму не требует наличия насоса большой мощности для подачи антисептического раствора, для второго режима необходим жидкостный насос, позволяющий создавать избыточное давление до 12 атм.

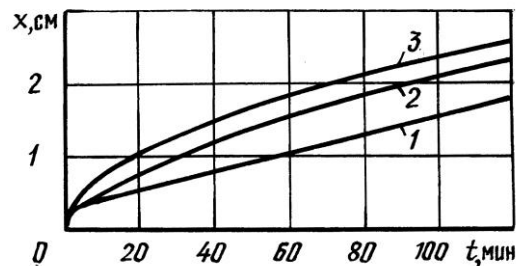
Графики решения задачи при различных краевых условиях приведены на рис. 3. При этом были использованы следующие постоянные величины: $k_{\delta} = 15 \cdot 10^{-4} \frac{\text{а}}{\text{н} \cdot \text{л} \cdot \text{д} \cdot \text{д}}$, $\beta_{\text{в}} = 1,7 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{д} \cdot \text{д}}$, $\mu_0 = 0,6$, $\rho_0 = 1 \frac{\text{а}}{\text{н}^3}$, $P_0 = 1$ атм, $a = 5$ см, $P_{\text{ж}} = 12$ атм.

Анализ этих решений показал, что при пропитке по первому режиму кривая 1 зависимости глубины проникновения жидкости в древесину от времени растет медленнее. Однако, начиная с некоторого t , она близка к линейной, т. е. скорость проникновения жидкости в древесину приблизительно постоянна.

При втором режиме кривая 2 растет быстрее, зависимость глубины пропитки от времени близка к параболе.

Например, по первому режиму за 120 минут пропитывается 2,35 см образца, а по второму режиму для пропитки на эту же глубину требуется 240 мин. По второму режиму за 120 мин жидкость проникает на глубину 1,85 см. Следует отметить, что при пропитке с постоянным внешним давлением и свободно выходящим воздухом (см. рис. 1, *a*) за 120 мин древесина пропитывается на глубину 2,60 см. Из анализа результатов видно, что даже при отсутствии мощного насоса с увеличением продолжительности пропитки можно достичь требуемой глубины пропитки.

Рис. 3. Зависимость глубины x проникновения жидкости в древесину от времени: 1 – первый режим; 2 – второй режим; 3 – точное решение при постоянном внешнем давлении и условии, что оставшийся воздух свободно выходит с противоположной стороны



Разработанная и апробированная математическая модель процесса пропитки древесины в автоклавах позволяет прогнозировать и оптимизировать технологические параметры защитной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голенищев А.Н., Варфоломеев Ю.А.* Участок глубокой пропитки древесины защитными средствами в деревообрабатывающем цехе // *Деревообработ. пром-сть.* – 1985. – № 9. – С. 28-29.
2. *Варфоломеев Ю.А., Баданина Л.А., Агапов Д.В.* Решение краевой задачи Стефана для уравнения фильтрации жидкости в древесине: Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 3. Вестник математического факультета. – Архангельск: ПГУ, 2000. – С. 16–21.
3. Завод автоклавной пропитки древесины в леспромхозе / Ю.А. Варфоломеев, Д.В. Агапов, В.И. Федотов, А.П. Хизов // *Лесн. пром-сть.* – 2000. – № 4. – С. 14.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 03.07.02

Yu. A. Varfolomeev, L.A. Badanina

Investigation of Protective Impregnation Modes in Digesters

The problem of filtration of protective preparation solution in wood has been solved for variable pressure taking into account the air compressed in pores. The dependency for optimizing technological modes of deep wood impregnation in digesters has been obtained.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 547.992.3

***К.Г. Боголицын, Н.С. Горбова, Д.С. Косяков,
О.С. Власова, А.Е. Кошелева***

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



Горбова Наталья Сергеевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры теоретической и прикладной химии АГТУ. Имеет 10 печатных работ в области физикохимии неводных растворов.



Косяков Дмитрий Сергеевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области физикохимии неводных растворов.



МОДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИГНИНА В СИСТЕМЕ ДМСО–ВОДА*

Спектрофотометрическим методом на модельных соединениях в диметилсульфоксиде и его смесях с водой определены константы кислотной ионизации структурных фрагментов лигнина.

апротонный растворитель, диметилсульфоксид, кислотность, константа кислотной ионизации, модельные соединения лигнина, параметр Гаммета, смешанный растворитель.

Поведение лигнина в различных реакциях зависит от кислотности его структурных фрагментов. В водных растворах диссоциация кислых групп лигнина широко изучена [2, 12, 14], однако в литературе практически отсутствуют сведения о значениях констант кислотной ионизации модельных соединений лигнина и его препаратов в неводных и смешанных средах, в частности в апротонных растворителях [4]. Поскольку диметилсульфоксид (ДМСО) и его смеси с водой обладают высокой растворяющей способностью по отношению к лигнину и широко используются в химии и химической технологии, нами поставлена задача охарактеризовать кислотность ряда гваяцильных соединений, родственных лигнину, в системе ДМСО – вода и выявить роль растворителя с позиций современных представлений о специфической и неспецифической сольватации.

Чистоту фенольных соединений контролировали спектроскопическим (в УФ и ИК областях спектра) и хроматографическим (хроматограф «Милихром-1», колонка КАХ-2, 64×2 мм с обращенно-фазным сорбентом Сепарон-С18, 5 мкм, элюент – 25 %-й водный раствор ацетонитрила) методами. Диметилсульфоксид очищали по известной методике [15].

Для определения pK_a модельных соединений структурного звена лигнина использовали спектрофотометрию в УФ области спектра. В стеклянную термостатированную при $(25 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ ячейку помещали 100 мл раствора модельного соединения концентрацией $10^{-5} \dots 10^{-3}$ моль/л (в зависимости от величины молярного показателя поглощения) в соответствующем смешанном растворителе. pH раствора непрерывно измеряли при помощи откалиброванного по водным стандартам иономера И-130, индикаторным электродом служил стеклянный ЭСЛ-63-07, сравнительным – хлорсеребряный ЭВЛ-1М3, наполненный насыщенным раствором хлорида калия. Полученную инструментальную величину pH пересчитывали на показатель активности ионов водорода a_{H^+} путем введения поправок на величину межфазного потенциала на границе водный раствор KCl – неводный раствор

* Статья написана по результатам работ, выполняемых по проекту № 02-03-97502 «Влияние природы растворителя на макромолекулярные свойства и реакционную способность лигнинных полимеров» и финансируемых Российским фондом фундаментальных исследований.

тель и энергию переноса протона по Александрову [1]. При непрерывном перемешивании магнитной мешалкой и барботировании тока аргона через раствор после достижения равновесия и установления постоянной величины рН (как правило, через 20 ... 30 мин) записывали спектр поглощения раствора относительно растворителя в термостатированных кварцевых кюветах толщиной 5 мм в диапазоне волновых чисел 40 000 ... 25 000 см⁻¹ (спектрофотометр Specord-M40, Carl Zeiss, Jena). В систему при помощи пипетки-дозатора вводили 10 ... 30 мкл 1 М раствора гидроксида тетраэтиламмония, что изменяло рН на 0,05 ... 0,15 единиц. Эти действия повторяли многократно до получения 10–20 спектров при различных рН исследуемого раствора. Критерием отсутствия побочных реакций в процессе титрования являлось наличие в спектрах изобестических точек.

Записывали спектры растворов модельного соединения той же концентрации на фоне 0,01 М соляной кислоты (поглощение только неионизированной формы) и 0,01 М гидроксида тетраэтиламмония (поглощение фенолят-аниона). Аналитическую длину волны выбирали по длинноволновому максимуму поглощения полностью ионизированного фенола и измеряли величину оптической плотности при этой длине волны для всех значений рН. Расчет рK_a фенольного гидроксила вели по формуле

$$\text{pK}_a = \text{p}a_{i^+} + \lg \frac{D_{\text{ArO}^-} - D}{D - D_{\text{ArOH}}}, \quad (1)$$

где D – оптическая плотность раствора при данной величине рН;

D_{ArO^-} – оптическая плотность раствора при $\text{p}a_{\text{H}^+}$, соответствующем полной ионизации фенольного гидроксила;

D_{ArOH} – оптическая плотность раствора при рН, соответствующем отсутствию ионизации фенольного гидроксила.

Статистическую обработку проводили по методикам [3].

В табл. 1 представлены известные к настоящему времени данные по положению максимума β-полосы, значения коэффициентов экстинкции, рK_a и σ-констант Гаммета тех модельных соединений лигнина в воде, которые использованы в нашей работе, а также значения рK_a модельных соединений лигнина в водных растворах, которые были определены нами экспериментально (температура 25 °С). Однако для некоторых фенолов гваяцилпропанового ряда значения σ-констант Гаммета в литературе отсутствуют.

Из данных табл. 2 следует, что при переходе от водных растворов к диметилсульфоксидным сила изучаемых кислот (температура 25 °С) значительно снижается (константы кислотной ионизации уменьшаются на 5 – 8 порядков для всех представленных соединений).

Как видно из табл. 2, в средах с большим содержанием ДМСО неионизированная форма кислоты оказывается относительно более стабилизированной энергетически за счет проявления сольватационных эффектов. Ана-

Таблица 1

Соединение	Заместитель	$\sigma_{\text{п}}$	Положение максимума β -полосы, нм	Коэффициент экстинкции ϵ , л/(моль·см)	Значения $pK_a(-OH_{\text{фен}})$	
					из литературных источников	определенные в эксперименте
Гваякол	-H	0,00	290 [3]	3 840	10,03 [6] 9,83 [8] 10,00 [11]	10,04±0,04
Креозол	-CH ₃	-0,10	297	4 325	-	10,40±0,03
Ванилин	-CHO	1,03	348[9]	24 420	7,33 [11] 7,40 [8] 7,43 [11]	7,40±0,03
Ванилиновый спирт	-CH ₂ OH	0,08	294[3]	4 080	9,76 [6] 10,05 [11] 9,78 [12]	9,80±0,03
Ванилиновая кислота	-COO ⁻	0,31	300[3]	11 600	9,55 [11]	9,40±0,03
Ацетованилон	-CO-CH ₃	-	342	26 700	7,73[6] 7,81[14]	7,90±0,05
Эвгенол	-CH ₂ -CH=CH ₂	-	297[9]	3 475	10,13 [6] 10,35 [11]	10,19±0,02
Изоэвгенол	-CH=CH-CH ₃	0,06	280[3]	11 400	9,73[6] 10,12[11] 9,89[14]	10,11±0,02
Пропиованилон	-CO-CH ₂ -CH ₃	0,78	341	12 560	8,05[6]	8,13±0,02
Феруловая кислота	-CH=CH-COO ⁻	-	350[3]	24 200	9,15[6] 9,47[11] 9,39[14]	9,15±0,03

Таблица 2

Соединение	Значения $pK_a(-OH_{\text{фен}})$ при концентрации ДМСО в воде, масс. %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Гваякол	10,34	10,58	10,88	11,23	11,68	12,25	13,02	14,09	15,69	18,37
Креозол	10,67	10,92	11,21	11,57	12,02	12,60	13,38	14,46	16,08	18,79
Ванилин	7,47	7,66	7,84	8,06	8,43	8,69	9,16	9,83	10,82	12,37
Ванилиновый спирт	10,14	10,37	10,65	10,99	11,42	11,97	12,70	13,72	15,20	17,80
Ванилиновая кислота	9,49	9,71	9,98	10,30	10,71	11,24	11,94	12,92	14,40	16,85
Ацетованилон	8,24	8,41	8,60	8,84	9,15	9,53	10,05	10,77	11,83	13,56
Эвгенол	10,44	10,69	10,98	11,34	11,79	12,37	13,15	14,23	15,86	18,45
Изоэвгенол	10,31	10,54	10,82	11,16	11,59	12,14	12,87	13,89	15,43	17,98
Пропиованилон	8,29	8,45	8,65	8,89	9,20	9,59	10,11	10,83	11,92	13,78
Феруловая кислота	9,29	9,49	9,74	10,04	10,41	10,89	11,53	12,42	13,77	15,86

лиз зависимостей $pK_a(-OH_{\text{фен}})$ от различных параметров растворителя показывает, что влияние ДМСО не может быть сведено только к неспецифиче-

ской сольватации. Действительно, образование достаточно прочных ассоциатов за счет донорно-акцепторных взаимодействий в системах ДМСО – фенол подтверждено методами ИК спектроскопии [10, 13]. В то же время зависимости показателей констант ионизации линейно (коэффициент корреляции $r = 0,994 \dots 0,999$) зависят от мольной доли ДМСО в смешанном растворителе. Согласно представлениям Пальма [7], такой эффект соответствует проявлению выраженных специфических взаимодействий растворенного вещества с обоими компонентами бинарного растворителя. Данное положение хорошо согласуется с донорно-акцепторными характеристиками составляющих исследуемого нами растворителя. Вода и ДМСО, обладая сравнимыми электронодонорными свойствами, должны образовывать устойчивые комплексы с молекулой фенола, в то время как фенолят- и карбоксилат-анионы в диметилсульфоксиде сольватируются очень слабо по сравнению с водой, поскольку не могут выступать в роли акцепторов неподеленной пары электронов ДМСО. Это и приводит к резкому снижению кислотности при переходе от водных к смешанным водно-диметилсульфоксидным средам.

В соответствии с уравнением

$$\Delta pK_a = pK_a(S) - pK_a(H_2O) = \lg \gamma_{0(H^+)} + \lg \frac{\gamma_{0(A^-)}}{\gamma_{0(НА)}}$$

по разности величин констант кислотной ионизации в данном растворителе (вода–ДМСО) $pK_a(S)$ и в воде $pK_a(H_2O)$, а также с учетом единых нулевых коэффициентов активности протона ($\gamma_{0(H^+)}$) в различных средах нами рассчитаны значения $\lg(\gamma_{0(A^-)} / \gamma_{0(НА)})$, характеризующие относительный вклад анионов и нейтральных молекул кислоты в энергию переноса из воды в смешанный растворитель. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

Соединение	Значения $\lg(\gamma_{0(A^-)} / \gamma_{0(НА)})$ при концентрации ДМСО в воде, масс. %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Гваякол	0,36	0,66	1,17	1,97	3,13	4,51	6,42	8,50	10,92	14,04
Креозол	0,33	0,64	1,14	1,95	3,11	4,60	6,42	8,51	10,95	14,10
Ванилин	0,13	0,38	0,77	1,44	2,52	3,69	5,20	6,88	8,69	10,68
Ванилиновый спирт	0,40	0,69	1,08	1,97	3,10	4,57	6,34	8,37	10,67	13,71
Ванилиновая кислота	0,15	0,43	0,91	1,68	2,80	4,24	5,98	7,97	10,27	13,16
Ацетованилон	0,40	0,63	1,03	1,72	2,74	4,03	5,59	7,32	9,20	11,37
Эвгенол	0,31	0,62	1,12	1,93	3,09	4,58	6,40	8,49	10,94	13,97
Изоэвгенол	0,26	0,55	1,04	1,83	2,97	4,43	6,20	8,23	10,59	13,58
Пропиованилон	0,22	0,44	0,85	1,54	2,56	3,86	5,42	7,15	9,06	11,36
Феруловая кислота	0,20	0,46	0,92	1,67	2,75	4,14	5,82	7,72	9,89	12,42

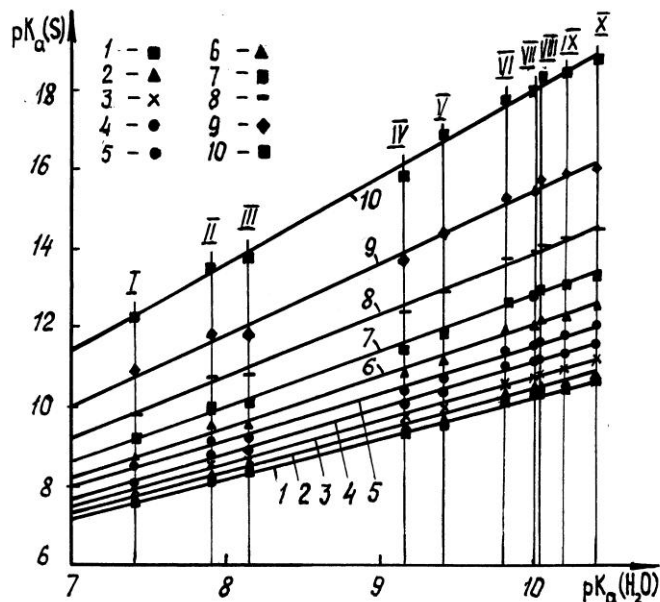


Рис. 1. Зависимость $pK_a(S)$ от $pK_a(H_2O)$ для модельных соединений лигнина в смесях ДМСО – вода при различной концентрации ДМСО (кривые с 1 по 10 соответствуют изменению концентрации от 10 до 100 %): 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 40; 5 – 50; 6 – 60; 7 – 70; 8 – 80; 9 – 90; 10 – 100 %; I – ванилин; II – ацетованилон; III – пропиованилон; IV – феруловая кислота; V – ванилиновая кислота; VI – ванилиновый спирт; VII – изоэвгенол; VIII – гваякол; IX – эвгенол; X – креозол

Значения $\lg(\gamma_{O(A^-)}/\gamma_{O(HA)})$ для всех исследуемых фенолов при переходе от воды к безводному ДМСО положительны. Отсюда следует, что в смесях воды с ДМСО, особенно в безводном ДМСО, молекулы этой группы фенолов сольватированы сильнее, чем анионы, что подтверждает наши предположения о механизме влияния апротонного растворителя на константы кислотной диссоциации изучаемых фенолов.

Известно, что зависимость, представленная в координатах $pK_a(S) - pK_a(H_2O)$, позволяет судить о дифференцирующем действии растворителей: чем больше угол наклона прямой, тем более дифференцирующим действием на силу кислот обладает растворитель в отношении данной группы соединений [5].

Как видно из рис. 1, полученные нами зависимости $pK_a(S) - pK_a(H_2O)$ линейны. Прямые имеют различный угол наклона. Следовательно, относительная кислотность фенолов исследуемого ряда изменяется при переходе от воды к безводному ДМСО.

Таблица 4

Содержание ДМСО, масс. %	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	Содержание ДМСО, масс. %	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
10	1,04	0,18	0,993	60	1,31	0,98	0,996
20	1,07	0,23	0,994	70	1,42	1,34	0,996
30	1,11	0,36	0,995	80	1,57	1,82	0,996
40	1,16	0,52	0,995	90	1,80	2,57	0,996
50	1,21	0,54	0,995	100	2,20	3,96	0,995

На основании установленных зависимостей между константами ионизации исследуемых фенолов в ДМСО и смесях воды с ДМСО и их pK_a в воде нами были получены корреляционные уравнения типа $pK_a(S) = a \cdot pK_a(H_2O) - b$, по которым можно рассчитать pK_a данного фенола в соответствующем растворителе, если известно значение его pK_a в воде, или оценить $pK_a(H_2O)$ тех фенолов, которые нерастворимы в воде. Соответствующие численные значения *a*, *b* и *r* приведены в табл. 4. Кроме того, с помощью эмпирических констант *a* и *b* можно количественно характеризовать дифференцирующее действие ДМСО и смесей воды с ДМСО на силу кислот исследуемого ряда фенолов.

Построение зависимостей найденных экспериментальных значений pK_a от σ -констант Гаммета (рис. 2) показало, что в каждом растворителе для

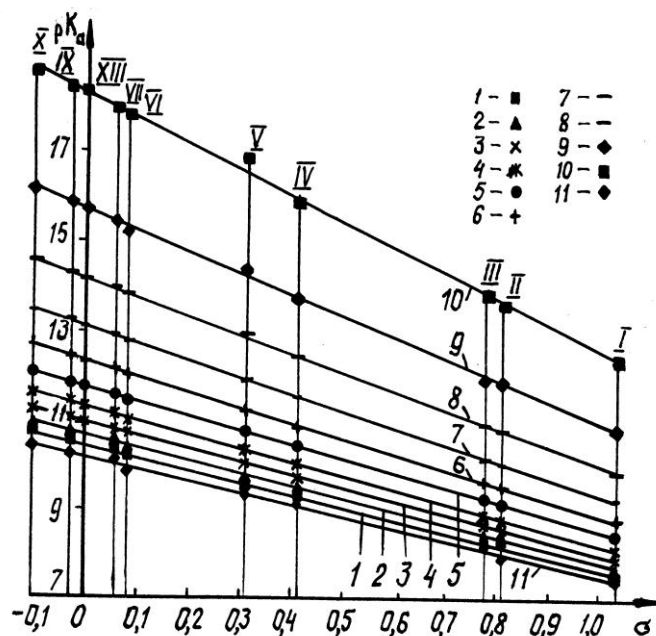
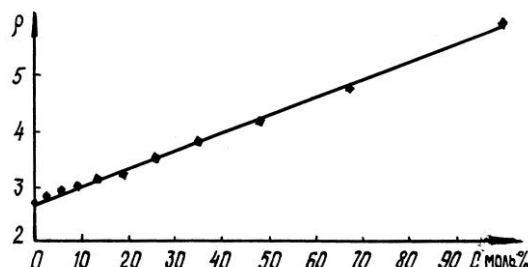


Рис. 2. Зависимость pK_a от σ -констант Гаммета для модельных соединений лигнина в смесях ДМСО – вода: 11 – H_2O (остальные обозначения см. на рис. 1)

Рис. 3. Зависимость константы реакции депротонирования ρ для фенолов гваяцилпропанового ряда от концентрации (С) ДМСО в смешанном растворителе



всех фенольных соединений точки (в пределах ошибки опыта) укладываются на прямую, что хорошо описывается уравнением Гаммета–Тафта: $pK_a = a_0 - \rho \sum \sigma$. На основании зависимостей констант ионизации исследуемых фенольных соединений от σ -констант Гаммета для воды, ДМСО и смесей ДМСО с водой были определены константы реакции депротонирования ρ , соответствующие тангенсу угла наклона полученных прямых.

Известно, что каждая реакция характеризуется конкретным значением ρ [5], которое зависит от условий эксперимента (в частности от растворителя). Так как ρ для реакции депротонирования производных гваякола из данного ряда соединений увеличивается при переходе от воды к водно-диметилсульфоксидным растворам и безводному ДМСО, то оно отражает вклад влияния среды (рис. 3).

По уравнению Гаммета–Тафта с учетом полученных значений ρ были вычислены отсутствующие в литературе σ -константы для следующих заместителей:

n -СН = СН – СОО ⁻ (феруловая кислота)	0,41
n -СО – СН ₃ (ацетованилон)	0,81
n -СН ₂ – СН = СН ₂ (эвгенол)	- 0,03

Введение n -заместителей в ароматическое кольцо оказывает обычное влияние на кислотную ионизацию фенольного гидроксила во всех смесях ДМСО с водой: электронодонорные заместители повышают электронную плотность на атоме кислорода гидроксильной группы, а электроноакцепторные понижают ее, что приводит к ослаблению или усилению кислотных свойств соединений.

Выводы

1. Значения pK_a ряда родственных лигнину фенолов увеличиваются с ростом содержания ДМСО.
2. Влияние состава бинарного растворителя ДМСО – вода на протолитические свойства фенолов гваяцильного ряда обусловлено эффектами специфической сольватации нейтральных молекул и анионов обоими компонентами смешанного растворителя.
3. Получены корреляционные зависимости для расчета констант ионизации модельных соединений структурного звена лигнина в системе ДМСО – вода по данным о величинах pK_a в воде.

4. По уравнению Гаммета–Тафта с учетом полученных значений ρ вычислены отсутствующие в литературе σ -константы для феруловой кислоты, ацетованилона и эвгенола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.В. Кислотность неводных растворов. – Харьков: Вища шк., 1981. – 152 с.
2. Боголицын К.Г., Линдберг И. Оценка ОН-кислотности модельных соединений структурного звена лигнина методом производной УФ-спектроскопии // Химия древесины. – 1986. – № 6. – С. 61–64.
3. Гордон А., Форд Р. Спутник химика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 541 с.
4. Ермакова М.И., Кирюшина М.Ф., Зарубин М.Я. ОН-кислотность родственных лигнину фенолов в ДМСО, диоксане и их смесях с водой // Химия древесины. – 1985. – № 4. – С. 56–60.
5. Крешков А.П., Быкова Л.Н., Казарян Н.А. Кислотно-основное титрование в неводных растворах. – М.: Химия, 1967. – 192 с.
6. Мелькис А.А., Закис Г.Ф., Мекиша М.Н. Кислотно-основное титрование окси- и кетокислот и фенолов, родственных лигнину и его окисленным производным // Химия древесины. – 1983. – № 1. – С. 106–112.
7. Пальм В.А. Основы количественной теории органических реакций. – Л.: Химия, 1977. – 360 с.
8. Справочник химика. Т. 3. – М.; Л.: Госхимиздат, 1964. – 1005 с.
9. Физико-химическое исследование делигнификации древесины сульфитным способом. 1. Анализ и интерпретация УФ-спектров модельных соединений лигнина / К.Г. Боголицын, Н.М. Боховкин, Г.Ф. Прокшин и др. // Химия древесины. – 1978. – № 4. – С. 24–29.
10. Чесноков В.Ф., Хазова И.В. Изучение межмолекулярной ассоциации диметилсульфоксида с фенолом и крезолами в жидкой фазе // Науч. отчет / Пробл. лаб. АЛТИ. – Архангельск, 1968. – № 5. – С. 62.
11. Штрейс Г.Б., Никитин В.М. Спектрофотометрический метод определения рК щелочного и щелочного сульфатного лигнинов и их модельных соединений // Журнал прикладной химии. – 1967. – Т. 40, № 8. – С. 1814–1819.
12. Juslen C., Lindberg I.I. Über die Dissoziationskonstanten einiger di- und tri-substituierteter Phenol der Guajkolreihe // Finska Kemistsamf. Medd. – 1959. – Bd. 68, N 2. – P. 53–59.
13. Lindberg J. J., Malani C. // Suomen. Kem. – 1965. – Vol. 38. – P. 21.
14. Nordstrom C.G., Lindberg I.I. Thermodynamic ionization constants of phenolic carboxylic acids related to cinnamic acid and lignin // Suomen. Kem. – 1965. – Vol. 38, N 12. – P. 3291–3295.
15. Reddy T.B. The purification of dimethylsulphoxide for electrochemical experimentation // Pure and applied Chemistry. – 1971. – Vol. 25. – P. 459–464.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 02.11.01

*K.G. Bogolitsyn, N.S. Gorbova, D.S. Kosyakov, O.S. Vlasova,
A.E. Kosheleva*

Characteristic of Acid-base Properties of Lignin Model Compounds in Dimethyl Sulphoxide-water System

Acid ionization constants of lignin structural fragments are determined by spectrophotometry method based on model compounds in dimethyl sulphoxide and its mixes with water.

УДК 631.572.004.8

С.Г. Ермаков, Ф.Х. Хакимова

Ермаков Станислав Глебович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Пермский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского государственного технического университета. Имеет около 30 печатных работ в области комплексного использования древесного сырья.



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



РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ОКОРКИ ДРЕВЕСИНЫ (ЧАСТЬ 1)

Предложен способ сухого разделения отходов окорки на лубяную и корково-древесную фракции. Разработана технология комплексной утилизации отходов сухой окорки древесины ели с получением из лубяной части дубильного экстракта (ДЭ), лубяного волокнистого полуфабриката (ЛВП), кормовых дрожжей, а также технологического пара при сжигании корково-древесной части. Установлены оптимальные технологические режимы получения из лубяной фракции ДЭ и ЛВП без использования химических реагентов.

отходы окорки, состав, разделение, луб, корка, экстракция, гидротермическая обработка, лубяной волокнистый полуфабрикат, оптимизация.

Ежегодно ресурсы отходов окорки древесины в нашей стране составляют около 30 млн м³. Однако лишь малая часть отходов используется для получения технологического пара методом их сжигания. Основную массу коры вывозят в отвалы, загрязняющие окружающую среду. В то же время отходы окорки – это такое же ценное, с точки зрения возможности получения различных продуктов, древесное сырье, как и сама древесина.

Цель данных исследований – разработать технологию комплексной утилизации отходов окорки древесины ели с получением из лубяной части дубильных экстрактов, лубяного волокнистого полуфабриката (ЛВП) и кормовых дрожжей, а также технологического пара при сжигании корково-древесной части.

Вид и состояние отходов окорки, образующихся в условиях промышленных предприятий, зависят от применяемых методов удаления коры и технических средств окорки.

Особенностью отходов окорки древесины по сравнению с древесной корой является наличие в них древесных отщепов, повышенное содержание минеральных примесей, высокая влажность. Исследована характеристика образующихся на Камском ЦБК промышленных отходов сухой окорки древесины, разделенных на составные части вручную (табл. 1).

Кроме основных составных частей (древесина, луб, корка) для более полной характеристики промышленных отходов окорки определены еще два компонента: связанные луб и корка (луб и корка, не разделенные в процессе сухой окорки древесины и оставшиеся в связанном состоянии); мелкая фракция отходов окорки, состоящая из корки, луба и древесной части, определить массовые доли которых затруднительно из-за их значительной измельченности.

Полученные результаты показывают, что отходы сухой окорки отличаются весьма высокой долей древесины и связанных луба и корки. Влажность отходов сухой окорки и их компонентов значительно ниже влажности отходов мокрой окорки, но выше величины, при которой сжигание их

Таблица 1

Состав и влажность отходов сухой окорки древесины

Компоненты отходов окорки	Массовая доля компонентов в отходах окорки, %		Массовая доля влаги в компонентах, %	
	Пределы изменений	Среднее значение	Пределы изменений	Среднее значение
Отходы окорки в целом	100,0	100,0	61,2...64,9	62,4
Древесина	12,2...32,9	26,0	53,2...58,2	54,4
Луб	10,6...34,0	20,0	63,9...69,0	65,9
Корка	10,4...17,4	10,8	27,3...46,3	40,0
Луб и корка (связанные)	23,0...38,4	28,7	54,8...62,3	59,8
Мелочь	11,0...22,7	14,5	53,8...58,5	57,0

Таблица 2

Химический состав (%) компонентов отходов окорки и древесины ели

Показатели	Значения показателей				для древесины
	для отходов окорки				
	сухой		мокрой		
	Луб	Корка	Луб	Корка	
Целлюлоза	36,6	24,2	40,2	27,2	57,4
Лигнин	21,7	40,5	20,0	48,2	29,4
Экстрактивные вещества	5,2	5,9	4,7	5,4	2,4
Полисахариды:					
трудногидролизуемые	26,5	17,6	27,3	20,4	42,9
легкогидролизуемые	27,8	10,2	17,4	14,4	16,0

Водоэкстрактивные вещества:					
при 90 °С	28,5	16,4	16,0	12,1	3,5
при 20 °С	17,7	8,6	7,4	4,8	1,1
Дубильные вещества	5,1	4,4	2,7	1,2	...
Уроновые кислоты	7,6	4,2	3,9
Пентозаны	11,9	7,1	9,2	6,1	7,7
Зола	2,2	2,4	2,7	2,4	0,2

считается экономически эффективным (55 %). Наибольший вклад в конечную влажность отходов окорки вносит влагосодержание луба. Поэтому, с точки зрения комплексного и рационального использования древесного сырья, из отходов окорки следовало бы отделять лубяную фракцию перед сжиганием их в котельной. Такая операция существенно повысит тепловой эффект этого процесса.

С целью оценки отходов окорки как сырья для получения продуктов и полуфабрикатов бумажного производства выполнен химический анализ отдельных компонентов отходов окорки древесины ели (табл. 2), там же для сравнения приведен химический состав древесины ели.

Как следует из данных табл. 2, луб имеет более высокое содержание почти всех компонентов, за исключением лигнина, которого в лубе почти в 2 раза меньше, чем в корке.

Сравнение химического состава луба и древесины показывает, что целлюлозы в лубе в 1,5 раза меньше, чем в древесине, но в литературе отмечается отсутствие принципиальной разницы между качеством целлюлозы, содержащейся в коре и древесине [1]. Луб выгодно отличается значительной долей дубильных веществ.

В целом луб содержит меньше целлюлозы и лигнина по сравнению с древесиной, но значительно больше веществ, экстрагируемых органическими растворителями и водой. Соответственно, способы получения целлюлозы из древесины и волокнистого полуфабриката из луба должны быть различны, т.е. целесообразно раздельно использовать лубяную и корково-древесную части отходов окорки.

Для механического разделения отходов окорки использован аппарат ударного действия, разработанный в Санкт-Петербургском государственном технологическом университете растительных полимеров [2]. Преимуществом предлагаемого способа является проведение процесса без использования воды. После разделения в аппарате получают следующие продукты: лубяная фракция весьма высокого выхода с небольшой примесью древесины и корки, предлагаемая в качестве сырья для получения дубильного экстракта, ЛВП и кормовых дрожжей; мелкая корково-древесная фракция, предлагаемая, благодаря своей довольно низкой влажности, для сжигания с получением технологического пара. Следует отметить, что при таком способе разделения отходов окорки луб и корка (связанные) разделяются практически полностью. Примесь древесины в лубяной фракции составляет около 10 %,

что удовлетворяет требованиям к сырью второго сорта для дубильно-экстрактовой промышленности.

Кроме того, благодаря использованию разделения в потоке воздуха, происходит значительное подсушивание компонентов отходов окорки. Наибольшее снижение влажности по сравнению с исходной отмечено для мелкой корково-древесной фракции (в 3,0–3,5 раза). Это благоприятно влияет на эффективность процесса сжигания.

Предварительно проведенные исследования показали, что используемую для экстракции дубильных веществ лубяную фракцию следует измельчать до размеров 5 ... 20 мм. С целью достижения возможно более высокого выхода дубильных веществ при приемлемой доброкачественности дубильного экстракта проведена оптимизация условий экстракции луба в эксперименте по плану Бокса. Изучено влияние трех факторов: температуры, продолжительности экстракции и гидромодуля. В качестве выходных параметров выбраны выход дубильных веществ в экстракте и доброкачественность дубильного экстракта.

Установлены следующие параметры оптимального технологического режима получения дубильных экстрактов: температура экстракции 94 ... 95 °С; продолжительность экстракции 90 мин; гидромодуль 7 : 1. По разработанному оптимальному режиму проведена контрольная экстракция, результаты которой соответствуют расчетным, что указывает на соответствие математического описания реальному процессу.

Для сравнения по оптимальному режиму была проведена экстракция луба, отделенного вручную, а также лубяных фракций, полученных механическим разделением. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Как следует из данных табл. 3, из лубяной фракции, полученной путем механического разделения отходов окорки древесины, может быть получен дубильный экстракт с выходом таннидов 5 % от исходного сырья и доброкачественностью 40 %, отвечающий основным требованиям, предъявляемым к дубильным экстрактам.

Для повышения качества полученных дубильных экстрактов была предпринята попытка облагораживания и концентрирования их на ультрафильтрационной установке с ацетатцеллюлозной мембраной УАМ-50, что

Таблица 3

Характеристика дубильных экстрактов, полученных при оптимальных условиях экстракции

Сырье	Массовая доля луба в сырье, %	Содержание в экстракте				Доброкачественность, %
		таннидов		водорастворимых		
		г/л	% от исходного сырья	г/л	% от исходного сырья	
Луб, отделенный вручную	100	3,9	6,2	15,5	21,4	40,8
Лубяная фракция	73	2,8	4,9	10,3	17,9	37,8

после механического отделения	74	2,8	4,9	10,5	18,0	37,8
	76	2,9	5,0	10,0	17,3	40,8

Таблица 4

**Характеристика дубильных экстрактов до и после
ультрафильтрации на мембране УАМ-50**

Показатели	Значения показателей для экстракта			
	из луба, отделенного вручную		из лубяной фракции после механического разделения	
	Исходный	Концентри- рованный	Исходный	Концентри- рованный
Содержание в экстракте, г/л:				
танинов	3,9	8,7	2,9	6,5
водорастворимых	15,5	19,2	10,0	13,3
Доброкачественность, %	40,8	45,2	40,8	48,9
pH	4,3	4,3	4,0	4,0

позволило повысить доброкачественность водных еловых экстрактов в среднем на 5 ... 8 %. Результаты приведены в табл. 4.

Полученные еловые экстракты были подвергнуты испытаниям, на основании которых определена пригодность их в качестве добавки к основным дубителям при дублении кож для обуви и соответствие их нормативным требованиям.

Следующая часть работы посвящена получению ЛВП путем безреагентной гидротермической обработки луба.

Исходные образцы: воздушно-сухой луб; влажный луб, т.е. при той влажности, при которой образуются отходы окорки на предприятии; лубяная фракция после механического разделения отходов окорки; одубина (остаток лубяной фракции после извлечения дубильных веществ).

С помощью математических методов планирования эксперимента установлены следующие оптимальные условия гидротермической обработки лубяной части отходов окорки древесины: конечная температура варки 145 ... 150 °С (для воздушно-сухого луба) и 140 ... 145 °С (для влажного луба); продолжительность подъема температуры до конечной – 1,5 ч; продолжительность варки на конечной температуре – 1,5 ч. Результаты варок представлены в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика образцов ЛВП, полученных при оптимальных условиях варки

Показатели	Значение показателей для ЛВП			
	из воздушно- сухого луба	из влажного луба	из лубяной фракции после механического разделения	из одубины
Выход, %:				
ЛВП	48,2	60,7	50,8	51,5
отходов сортирования	2,3	2,5	12,0	12,1
общий	50,5	63,2	62,8	63,6

Массовая доля в гидролизате РВ, %:				
до инверсии	1,67	1,79	1,30	1,20
после инверсии	2,50	2,80	2,54	2,23
Содержание сухих веществ, г/л	48,0	42,0	30,1	18,2
Продолжительность размола, мин	2,0	3,0	1,8	2,0
Степень помола, °ШР	52	58	60	59
Обезвоживаемость, с	69	97	100	96
Разрывная длина, м	4850	3550	3300	3500
Сопротивление:				
изгибу на 90 °	290	105	100	140
продавливанию, кПа	140	100	90	100
раздиранию, мН	130	100	95	95

Важнейшая особенность ЛВП – очень легкая размалываемость (при размоле в ЦРА степень помола 60 °ШР достигается через 2...3 мин; для сравнения, бисульфитная целлюлоза размалывается до 60 °ШР в 10–15 раз дольше).

Таким образом, варкой в водной среде получается ЛВП с выходом около 50 %, соответствующий по механической прочности термомеханической массе.

Полученные после гидротермической обработки (ГТО) луба и одубины гидролизаты были исследованы и испытаны на пригодность для выращивания кормовых дрожжей в лаборатории микробиологии ПермНИИБа. Результаты культивирования дрожжевой биомассы показали, что благоприятной средой для выращивания дрожжей являются все образцы гидролизатов, что подтверждается успешно проведенными опытными испытаниями.

Для характеристики процессов, протекающих при ГТО луба, исследован химический состав исходного сырья (луба) и ЛВП, полученного безреагентной варкой луба (табл. 6). Для сравнения там же приведен химический состав бисульфитной целлюлозы Камского ЦБК.

При проведении ГТО луба в ЛВП остаются практически неизменными целлюлоза, лигнин и трудногидролизуемые полисахариды. В раствор

Таблица 6

Химический состав ЛВП и бисульфитной целлюлозы

Показатели	Значения показателей			
	для ЛВП			для целлюлозы
	из влажного луба	из воздушно-сухого луба	из одубины	
Общий выход, %	61,6	50,8	63,6	–
Массовая доля в полуфабрикате, %:				
альфа-целлюлозы	78,0	78,1	81,7	84,9
бета-целлюлозы	9,9	13,8	7,5	6,6

гамма-целлюлозы	9,1	5,0	6,6	6,5
лигнина (по Комарову)	42,3	38,2	39,8	–
лигнина (смесь соляной и серной кислот)	29,6	28,3	29,0	4,0
зола	2,8	2,1	2,1	0,2
экстрактивных веществ	5,0	4,6	3,5	1,7
пентозанов	5,5	5,5	5,3	6,6
Содержание «вредной» смолы, мг/100г	19,5	18,2	11,5	21,5

переходят практически полностью водозэкстрактивные вещества, а также частично экстрактивные (смолистые) вещества и пентозаны.

Сравнение ЛВП и бисульфитной еловой целлюлозы показало, что последняя отличается более высоким содержанием альфа-целлюлозы и меньшим содержанием бета- и гамма-целлюлозы, характеризующих степень деструкции технической целлюлозы в процессе получения. Несмотря на то, что ЛВП получают без химикатов только гидротермической обработкой луба, данное различие объясняется, вероятно, структурой и составом исходных древесины и луба.

Массовая доля лигнина в ЛВП высокая, так как делигнификации луба не происходит.

Все образцы ЛВП отличаются от бисульфитной целлюлозы более высоким содержанием экстрактивных (смолистых) веществ, однако массовая доля «вредной» смолы во всех образцах ЛВП ниже, чем в целлюлозе. Это позволяет считать, что при использовании ЛВП в производстве бумаги смоляные затруднения будут менее значительны, чем в сульфитном производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гелес И.С., Коржицкая З.А., Агеева М.И. Некоторые направления использования коры и отходов окорки – М., 1981. – 56 с. (Целлюлоза, бумага, картон: Обзор. информ. / ВНИПИЭИлеспром; Вып. 11).

2. Хакимов Р.Х., Ермаков С.Г. К проблеме переработки древесных отходов.- Депонир. в ВИНТИ 24.04.97, № 1340 – В 97.

3. Хакимова Ф.Х., Ермаков С.Г. Поиск эффективных направлений использования отходов окорки древесины.- Депонир. в ВИНТИ 09.12.98, № 3631 – В 98.

Пермский государственный
технический университет

Поступила 01.04.02

S. G. Ermakov, F. Kh. Khakimova

Technology Development of Complex Utilization of Debarking Wastes (part 1)

Method of dry separation of inner and outer bark from debarking wastes has been developed and proposed. The technology of complex utilization of spruce dry debarking wastes has been developed resulting in producing bark extract, fiber bast semi-finished product and nutrient yeast from the inner bark and burning the outer bark for producing process steam. Optimum operating practice for producing bark extract and fiber bast semi-finished product from the inner bark without using chemical agents has been set.

УДК 668.473

Л.И. Селянина, А.Е. Коптелов

Селянина Лира Ильинична родилась в 1939 г., окончила в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесохимических производств. Имеет 35 научных трудов в области исследования и интенсификации процессов и аппаратов лесохимических и гидролизных производств.



Коптелов Алексей Евгеньевич Родился в 1973 г., окончил в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры метрологии, стандартизации и сертификации. Имеет 9 печатных трудов в области исследования процессов и аппаратов лесохимических производств.



ПЕРЕГОНКА С ВОДЯНЫМ ПАРОМ – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ТАЛЛОВОГО МАСЛА

Показана возможность увеличения выхода и улучшения качества дистиллированного таллового масла при переработке сульфатного мыла, из которого перед разложением удалены нейтральные вещества методом их отгонки в токе водяного пара под вакуумом.

сульфатное мыло, облагораживание, талловое масло, нейтральные вещества, отгонка с водяным паром.

8*

В связи с постоянным изменением сырьевой базы сульфатно-целлюлозных предприятий и вовлечением в производство все больших объемов отходов лесопиления и лиственной древесины происходит снижение выхода и качества сульфатного мыла и получаемого из него таллового масла. Поэтому в последнее десятилетие задача совершенствования технологии переработки низкокачественного сульфатного мыла становится все более актуальной.

Основные методы улучшения качественных характеристик сульфатного мыла и продуктов его переработки заключаются в экстракции нейтральных веществ из сульфатного мыла органическими растворителями. Все эти методы связаны с использованием больших объемов растворителей, технологически сложны и требуют больших капитальных затрат. В то же время в других отраслях промышленности нашел применение метод выделения нейтральных веществ из их смеси с жирными кислотами путем отгонки нейтральных компонентов водяным паром после омыления жирнокислотной части масел [1, 2, 5, 9]. Было сделано предположение о возмож-

ности применения метода отгонки нейтральных веществ из сырого сульфатного мыла на начальной стадии подготовки его к разложению. Обезвоженное сульфатное мыло, состоящее из мыл жирных и смоляных кислот, нейтральных веществ и компонентов черного щелока, при высокой температуре можно представить как раствор нейтральных веществ в расплаве мыла. Для такой смеси может быть применен метод отгонки нейтральных веществ под вакуумом при температуре 200...230 °С. Параметры перегонки могут быть теоретически определены путем последовательного решения уравнений, описывающих закономерности процесса [6, 8]. Данный метод был опробован на различных образцах сульфатного мыла. Температурные пределы перегонки с водяным паром рассчитывали, используя метод Грабовского.

Рабочий интервал температур зависит от вида мыла, содержания нейтральных веществ в нем, среднего состава нейтральных веществ и их молекулярной массы, а так же от содержания компонентов черного щелока в сульфатном мыле. Для модельных образцов мыла этот интервал составляет 140 ... 170 °С, для хвойного мыла – 175 ... 225 °С, для лиственного мыла – 205 ... 235 °С [3, 4]. Расчет дает минимальную температуру жидкости в кубе, при которой будет протекать отгонка нейтральных веществ. Повышение температуры положительно сказывается на интенсивности процесса. Температура отгоняемых паров определяется остаточным давлением в аппарате.

Пользуясь значениями упругостей паров нейтральных веществ в полученном интервале температур, рассчитывали необходимый расход перегретого водяного пара на перегонку N_{ω} [6, 8]:

$$\frac{N_{\omega}}{N_B} = \frac{P}{P_S} \ln \frac{x_0(1-x)}{x(1-x_0)} - \frac{P-P_S}{P_S} \left(\frac{1}{1-x} - \frac{1}{1-x_0} \right),$$

где N_B – расход нелетучего компонента;

P – общее давление в системе, кПа;

P_S – упругость насыщенного пара чистых нейтральных веществ, кПа;

x_0 и x – начальная и конечная концентрации нейтральных веществ в кубе.

Минимально необходимый расход водяного пара составил 5...10 кг/кг нейтральных веществ или 1,0 ... 1,5 кг/кг сульфатного мыла влажностью 50 %. В реальных процессах степень насыщения водяного пара перегоняемым компонентом составляет 0,2 ... 0,8, т.е. относительный расход пара необходимо варьировать в интервале 1 ... 10 кг/кг сульфатного мыла.

При рассчитанных основных параметрах (температура, давление, расход пара) проводили процесс отгонки нейтральных веществ в течение 1 ... 2 ч. Остаток в кубе (облагороженное сульфатное мыло) растворяли в равном количестве воды и анализировали его основные показатели по техническим условиям на сульфатное мыло. Степень извлечения нейтральных веществ рассчитывали по их начальному и конечному содержанию в мыле. Полученное мыло разлагали серной кислотой и определяли качество таллового масла, получаемого из облагороженного сульфатного мыла. На рис. 1 показано, как изменяется массовая доля нейтральных и окисленных веществ

в получаемом талловом масле при увеличении продолжительности обработки в условиях, указанных в работах [3, 4].

Характер зависимостей (рис. 1) свидетельствует о том, что убывание концентрации нейтральных веществ в обоих случаях происходит в течение 30 ... 35 мин после начала обработки сульфатного мыла острым водяным паром. Очевидно, что отгонка нейтральных веществ из сульфатного мыла лучшего качества протекает более эффективно. Остаточное количество нейтральных веществ в мыле в первом случае составило 4 %, во втором – 8 %. Из мыла влажностью 56 % в течение 30 мин удалось извлечь до 87 % нейтральных веществ, в то время как из мыла большей влажности – всего лишь 67 %. При

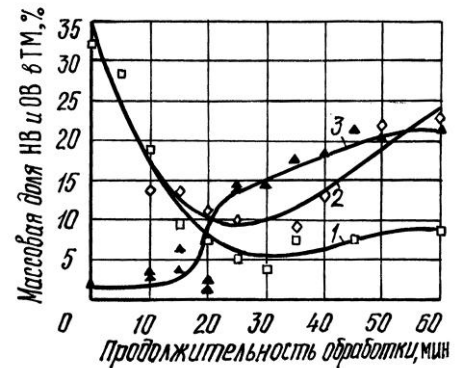


Рис. 1. Зависимость массовой доли нейтральных НВ (1, 2) и окисленных веществ ОВ (3) в талловом масле (ТМ) от продолжительности обработки сульфатного мыла водяным паром при исходной влажности мыла 56 (1) и 76 % (2)

продолжительности процесса более 30 мин наблюдается снижение коэффициента извлечения нейтральных веществ и повышение их доли в кубовом остатке вследствие образования окисленных веществ, нерастворимых в петролейном эфире (рис. 1, кривая 3).

После 20 мин обработки при высоких температурах резко возрастает скорость химических превращений компонентов сульфатного мыла, приводящих к ухудшению качества таллового масла. Необходимо отметить, что нарастание нейтральных компонентов происходит интенсивнее в мыле с большим содержанием компонентов черного щелока. Это можно объяснить тем, что лигнин, термическая деструкция которого начинается уже при 100 °С, вносит большой вклад в образование тяжелокипящих нейтральных и окисленных соединений по сравнению со спиртовой частью нейтральных веществ.

Во всех случаях облагороженное сульфатное мыло (кубовый продукт) представляло собой твердую массу темно-коричневого цвета, $\frac{3}{4}$ которой хорошо растворялось в холодной воде, остальная часть – после нагревания. Было установлено, что содержание суммы смоляных, жирных кислот и неомыляемых веществ (СЖН) в труднорастворимом остатке сульфатного мыла значительно меньше, чем в растворимой части (соответственно 69,5 и 85,4 % от сухого остатка). Количество нейтральных веществ от СЖН в обеих фракциях практически одинаково. Эти фракции отличаются содержанием лигнина (легкорастворимая фракция – до 2 %, труднорастворимая – до 18 %

от сухого остатка). Это можно объяснить тем, что в ходе термической обработки сульфатного мыла нарушаются связи сульфатное мыло – лигнин, в результате чего лигнин оседает и концентрируется у дна куба. Так как в свойствах сульфатного мыла произошли значительные изменения, поведение его при получении таллового масла должно отличаться от обычного. В литературе [7] имеются указания на то, что скорость разделения реакционной смеси зависит от вида сырья и содержания лигнина, являющегося стабилизатором эмульсии. Нейтральные вещества легко эмульгируются в растворах мыл, и изменение их содержания в смеси также должно влиять на ее поведение при разложении.

Для установления влияния продолжительности облагораживания и полноты выделения нейтральных веществ на процесс разделения реакционной смеси при гравитационном отстаивании после каждого опыта облагороженное мыло разбавляли равным количеством воды и разлагали 30 %-й серной кислотой. Объемы слоев кислой воды, таллового масла и лигноталловой эмульсии измеряли через каждые 10 мин. Температуру смеси поддерживали на уровне 90 ... 95 °С. На рис. 2 показана зависимость выхода таллового масла от продолжительности расслаивания. Кривая 1 соответствует исходному сульфатному мылу марки С, имеющему следующие показатели: содержание СЖН 51,3 %; влажность 36,1 %; общая щелочность 7,8 %; массовая доля лигнина 3,2 %.

Для выделения 80 % таллового масла требовалось не менее 80 мин. Облагороженное мыло хвойного потока расслаивалось уже в течение 10 мин (кривая 2). При расслаивании такой реакционной смеси не образовывался промежуточный слой лигниновой фазы, а лигнин выпадал в осадок из кислой воды, что приводило к резкому сокращению потерь таллового масла с лигнином. Выход таллового масла из облагороженного мыла приближался к теоретическому, при этом содержание лигнина в талловом масле снижалось в 1,5 раза против исходного. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при получении таллового масла из облагороженного мыла марки С появляется возможность применения гравитационного способа разделения реакционной смеси взамен дорогостоящих сепараторов.

При разложении листового сульфатного мыла разделение реакционной смеси часто невозможно даже с применением центробежных сепараторов. Это приводит к тому, что огромные объемы низкокачественного сульфатного мыла скапливаются на целлюлозно-бумажных предприятиях, не находя применения. В этой связи выяснение влияния облагораживания на

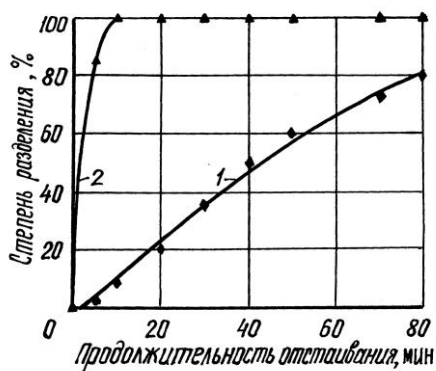


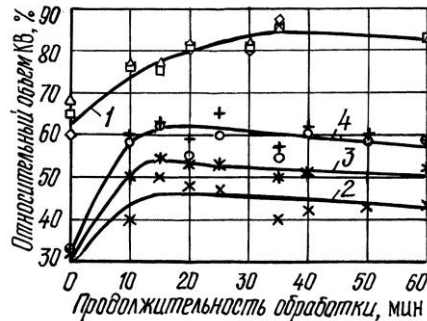
Рис. 2. График зависимости выхода ТМ от продолжительности отстаивания облагороженного (1) и исходного (2) мыла

процесс получения таллового масла из подобных образцов мыла представлялось необходимым.

Было проведено две серии опытов. Для облагораживания было взято сульфатное мыло АЦБК листовного потока различной влажности, т.е. содержащее различное количество компонентов черного щелока, растворенных в воде, в основном лигнина. В первой серии сульфатное мыло имело следующие характеристики: влажность 56 %; массовая доля лигнина 7 %; общая щелочность 5,3 %; содержание СЖН – 40 %; мыло второй серии: влажность 76 %, массовая доля лигнина 10 %, общая щелочность 5,3 %, содержание СЖН – 21 %. Каждая серия включала 10 экспериментов, отличающихся продолжительностью облагораживания. Отгонку нейтральных веществ из мыла проводили при одинаковых условиях: температура в кубе 200 ... 235 °С, температура в парах 105 ... 110 °С, давление 2 кПа, расход пара 2 кг/кг сульфатного мыла в час.

Поскольку при разложении низкокачественного сульфатного мыла не удавалось добиться выделения слоя чистого таллового масла, то об эффективности гравитационного расслаивания реакционной смеси судили по относительному объему выделившейся кислой воды. На рис. 3 показана связь между относительным объемом кислой воды, отстоявшейся при гравитационном отстаивании реакционной смеси, и продолжительностью обработки сульфатного мыла водяным паром. Разделение реакционной смеси

Рис. 3. Зависимость относительного объема кислой воды (КВ) от продолжительности обработки сульфатного мыла водяным паром: 1 – первая и вторая серии; 2 – 10 мин; 3 – 20 мин; 4 – 60...80 мин



при разложении облагороженного сульфатного мыла происходит значительно быстрее и эффективнее, чем исходного.

Кривая 1 характеризует первую серию опытов, в данном случае процесс расслаивания не зависел от того, как было проведено облагораживание. Кривые 2–4 соответствуют второй серии и отличаются продолжительностью облагораживания (от 10 до 60 мин с интервалом 10 мин). Очевидно, что с увеличением продолжительности обработки расслаивание реакционной смеси улучшается, объем отстоявшейся кислой воды возрастает до 85 %. С увеличением продолжительности обработки более 35 мин относительный объем кислой воды несколько уменьшается против максимума. Это объясняется увеличением содержания нейтральных веществ, что соответствует ранее приведенным результатам по динамике их выделения.

Отрицательное влияние лигнина на разделение реакционной смеси очевидно. При термообработке сульфатного мыла в процессе отгонки нейтральных веществ (температура 200 ... 235 °С) лигнин претерпевает химические превращения, отчасти конденсируется, теряет свои адсорбционные свойства. Часть лигнина выпадает в осадок из кислой воды, при этом так называемой лигниновой фазы между слоями кислой воды и таллового масла не образуется. С увеличением продолжительности обработки отрицательное влияние лигнина на расслаивание смеси отчасти устраняется, что приводит к более эффективному выделению кислой воды. В меньшей степени изменение доли нейтральных веществ в мыле влияет на поведение реакционной смеси и проявляется после 35 мин температурного воздействия. Во всех случаях в первые 10 мин отстаивания выделяется основная масса кислой воды.

Зависимость относительного объема кислой воды от продолжительности отстаивания показана на рис. 4. Установлено, что при увеличении продолжительности обработки сульфатного мыла водяным паром до 35 мин объем кислой воды возрастает до 85 %, но в дальнейшем начинает уменьшаться в связи с ростом содержания нейтральных веществ.

Во всех случаях относительный объем слоя чистого таллового масла без эмульгированной воды и лигнина для исходного мыла не превышал 1 %, для обработанного мыла максимальное значение составило 20 % от теоретического выхода таллового масла при продолжитель-

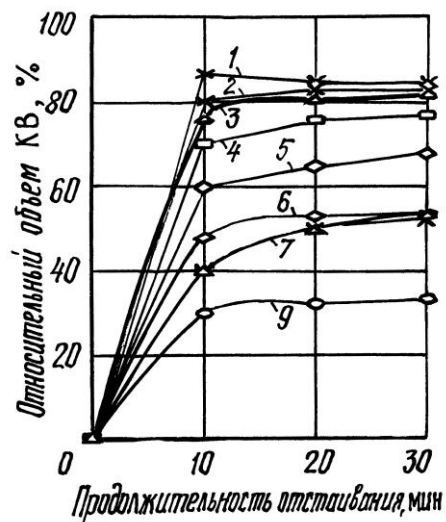


Рис. 4. Динамика выделения КВ из реакционной смеси при продолжительности облагораживания, мин: 1 – 35; 2 – 60; 3 – 30; 4 – 20; 5, 9 – исходное мыло; 6 – 10; 7 – 25; 8 – 30; 1 – 5 первая серия; 6 – 9 – вторая серия

Таблица 1

Сульфатное мыло	Кислотное число, мг КОН/г	Число омыления,	Неомыляемые вещества	Лигнин
			%	
Исходное марки С	116,0	123,0	22,5	3,2
Облагороженное:				
1	131,0	168,5	13,0	1,8
2	166,1	190,3	10,0	–
3	166,5	–	4,9	–
4	148,2	197,0	16,4	–
Исходное марки Л	98,5	103,5	31,2	3,6
Облагороженное:				
1	116,0	140,2	14,0	1,7

2	124,0	–	11,1	1,7
3	127,8	144,8	15,0	2,0
4	123,7	–	8,2	–

ности обработки 25 ... 30 мин. Более 80 % таллового масла находилось в составе эмульгированного слоя, содержащего 0,5 ... 1,0 % лигнина и 25 ... 30 %, а в некоторых случаях до 50 %, воды. Эта эмульсия не разделялась в течение часа.

Качественные характеристики таллового масла, полученного из исходного и обработанного сульфатного мыла, представлены в табл. 1.

Во всех случаях облагораживание сульфатного мыла приводило к существенному улучшению качества таллового масла: кислотное число возрастало на 18 ... 50 ед., массовая доля нейтральных веществ снижалась на 9 ... 17 % у хвойного таллового масла и на 16 ... 23 % у лиственного, доля лигнина уменьшалась в 1,5–2 раза и не превышала норм, установленных ТУ 13-0281078-119–89 на сырое талловое масло.

Основной задачей облагораживания сульфатного мыла является получение высококачественных талловых продуктов.

На заключительном этапе были проведены сравнительные исследования по дистилляции таллового масла, полученного из сырого и облагороженного сульфатного мыла. Для проведения разгонки подготовлено необходимое количество таллового масла (по 200 ... 400 г каждой пробы) из исходного и облагороженного сульфатного мыла марок С и Л.

В настоящее время предприятия, работающие на таком сырье, ограничиваются выпуском только одного продукта – дистиллированного таллового масла. Получение канифоли из такого сырья невозможно из-за низкой массовой доли смоляных кислот (менее 20 %). Пек, отбираемый в пековой ванне в количестве 38 ... 40 % от массы сырья, направляется на сжигание.

Из таллового масла, полученного из исходных и облагороженных образцов сульфатного мыла, отгоняли летучие компоненты при расходе водяного пара 1 кг/кг ТМ, остаточном давлении 2 кПа и температуре 260 °С в течение трех часов. Результаты разгонки таллового масла, из

Таблица 2

Показатели	Численные значения показателей процесса	
	без облагораживания	с облагораживанием
	Сырое талловое масло	
Кислотное число, мг КОН/г	116,0	131,0
Массовая доля, %:		
нейтральных веществ	27,5	10,0
лигнина	2,8	1,8
	Дистиллят	
Кислотное число, мг КОН/г	145,0	171,0
Массовая доля, нейтральных веществ %	13,0	10,7
	Пек	

Кислотное число, мг КОН/г	20,0	45,6
Температура размягчения, °С	28,0	18,5
Выход пека, %	37,0	10,9

исходного и облагороженного сульфатного мыла Соломбальского ЦБК, приведены в табл. 2.

Как показали результаты разгонки, качество дистиллята, полученного из облагороженного масла, значительно выше обычного по кислотному числу и доле нейтральных веществ. Кислотное число таллового масла возросло в результате облагораживания на 26 ед., массовая доля нейтральных веществ в нем снизилась до 10 %.

При разгонке листовного облагороженного таллового масла выход пека составил 15 %, кислотное число пека – 20 мг КОН/г, температура размягчения – более 70 °С, кислотное число дистиллята – 167 мг КОН/г.

Выход пека сократился втрое. Это можно объяснить тем, что предварительно были удалены нейтральные вещества, в основном спирты, при нагревании легко вступающие в реакцию этерификации с жирными кислотами и образующие эфиры с молекулярной массой более 600, а также снижением доли лигнина в талловом масле.

Показатели качества дистиллята, полученного из пекоотделителя, и пека не отличаются от среднезаводских показателей таллового масла.

Выводы

Облагораживание сульфатного мыла методом отгонки нейтральных веществ позволяет значительно улучшить его качество, снизить содержание нейтральных веществ на 75 % без значительных эксплуатационных затрат.

Последующее разложение мыла на 50 ... 90 % сокращает потери таллового масла с лигнином при гравитационном расслаивании; улучшается качество таллового масла, уменьшается выход пека и увеличивается выход дистиллята на 15 % по сравнению с применяемыми методами переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов А.С. Современное состояние технологии синтетических жирных кислот и перспективы ее усовершенствования. – М.: ЦНИТЭнефтехим, 1980. – 57 с.
2. Ковалев В.Е., Некрасова В.Б. Нейтральные вещества сульфатного мыла. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1982. – С. 1–48.
3. Коптелов А.Е., Селянина Л.И. Изучение процесса выделения нейтральных веществ из сульфатного мыла методом отгонки с водяным паром. // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. / АГТУ. – 1997. – Вып. III. – С. 56–64.
4. Коптелов А.Е., Селянина Л.И. Повышение качества таллового масла путем отгонки нейтральных веществ из сульфатного мыла // Охрана окружающей сре-

ды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. / АГТУ. – 1998. – Вып. IV. – С. 80–85.

5. Пат. США 723996, кл. 260/97.6, C 09 F 8/07. Process for recovering high purity fatty acids and/or rosin acids Japan Synthetic Rubber. / *Horado Tetsuya, Guamoto Tunetasa*. (Япония) – № 3887537; Заявлено 6.09.74; Опубл. 18.09.73, Бюл. № 50 – 114492 // Реф. журн. «Химия». – 1976.

6. *Сийрде Э.К., Теаро Э.Н., Миккал В.Я.* Дистилляция. – М.: Химия, 1971. – 216 с.

7. *Славянский А.К., Медников Ф.А.* Технология лесохимических производств. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 391 с.

8. *Циборовский Я.* Процессы химической технологии / Пер. с польск. под ред. П.Г. Романкова. – Л.: Гос. науч.-техн. изд-во хим. лит-ры, 1958. – 636 с.

9. *Koebner A.* Separation of tall oil head fraction into fatty acids and unsaponifiables // *J. Wood. Chem.* – 1983. – 3 (4), 413 – 20; *Chemical Abstracts.* – 1984. – 101, 87509.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 30.01.01.

L. I. Selyanina, A.E. Koptelov

Steam Distillation - Effective Method of Regulating Tall Oil Quality

The possibility of increasing the output and improving the quality of distilled tall oil is demonstrated during sulfate soap processing from which neutral substances are removed before decomposition by the method of their distillation in the water steam flow under vacuum.

УДК 676.2

***В.Г. Лисиенко, А.И. Бабин, В.А. Лискин,
С.Г. Овчинников, Е.И. Дукки***

Лисиенко Владимир Георгиевич родился в 1933 г., окончил в 1956 г. Уральский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии инженерных наук и Международной энергетической академии, Союза научных и инженерных обществ, вице-президент Академии инженерных наук РФ, президент Регионального уральского отделения АИН РФ, заслуженный деятель науки и техники РФ, заведующий кафедрой автоматизации и управления в технических системах Уральского государственного технического университета. Имеет более 600 печатных трудов в области математического моделирования, управления и совершенствования высокотемпературных энерготехнологических процессов, энергосбережения и экологии.



Лискин Виктор Александрович родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Уральскую государственную лесотехническую академию, аспирант УГЛТА.



Дукки Евгений Иванович родился в 1946 г., окончил в 1971 г. Соликамский целлюлозно-бумажный техникум, главный энергетик АО «Соликамскбумпром».



МЕТОДИКА ПОЛНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТОПЛИВНЫХ ЧИСЕЛ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ

Предложен метод энергетического анализа с использованием технологических топливных чисел.

производство бумаги, энергозатраты, анализ, топливные числа.

Отличительной особенностью ЦБП является высокая энергоемкость, что ощутимо отражается на себестоимость продукции.

В этой связи перед отраслью стоит проблема рационального использования энергии и энергосбережение. При этом важным инструментом анализа энерготехнологических процессов служит методика расчета сквозных энергетических затрат в форме технологических топливных чисел (ТТЧ), рассмотренная ранее [1, 2]. Эта методика позволяет свести расход всех энергетических носителей к единому универсальному показателю энергоемкости – ТТЧ, который учитывает все материальные и энергетические потоки про-

изводства, раскрывает структуру потребления энергии и материалов с выявлением лимитирующих звеньев по величине максимального энергопотребления.

Данный показатель рекомендовано рассчитывать по формуле

$$ТТЧ = Э_1 + Э_2 + Э_3 - Э_4, \quad (1)$$

где $Э_1$, $Э_2$, $Э_3$, $Э_4$ – первичная энергия, энергия производственных энергоносителей, скрытая энергия, энергия вторичных ресурсов, кг условного топлива/ед. продукции.

Первичная энергия включает в себя химическое тепло топлива, равное при принятой системе единиц удельному расходу топлива B_T (кг у.т./ед. продукции), а также технологические топливные числа добычи, подготовки и транспортировки топлива:

$$Э_1 = B_T + ТТЧ_{\text{под}} + ТТЧ_{\text{доб}} + ТТЧ_{\text{тр}}. \quad (2)$$

Таким образом, величина первичной энергии больше, чем химическая энергия топлива. Например, затраты энергии на добычу, транспортировку и подготовку могут составлять соответственно до 2, 10 и 1 ... 2 % от химической энергии топлива.

Каждая форма энергозатрат определяется следующим образом:

$$Э_i = \sum ТТЧ_i \varphi_i, \quad (3)$$

где $ТТЧ_i$ – технологическое топливное число i -го энергоносителя, кг у.т./ед. энергоносителя;

φ_i – удельный расход соответствующего энергоносителя, ед. энергоносителя/ед. продукции.

Наибольшей величиной в затратах энергии на получение производственных теплоносителей является, как правило, расход первичной энергии. При расчете величины $Э_2$ по (3) все расходы теплоносителей списывают на так называемую «отпущенную энергию», т.е. из произведенной энергии вычитают расходы на собственные нужды, потери в сетях, утечки и т.д.

При расчете скрытой энергии $Э_3$ необходимо учитывать $ТТЧ$ сырьевых материалов в соответствии с их расходными коэффициентами ($ТТЧ_M$), инструмента также в соответствии с расходными коэффициентами ($ТТЧ_I$), оборудования и капитальных сооружений в соответствии с нормативным коэффициентом амортизации ($ТТЧ_{об.с}$), ремонтов с учетом межремонтных сроков ($ТТЧ_{рем}$), транспортных перевозок ($ТТЧ_{тр}$) и других вспомогательных расходов энергии ($ТТЧ_{вс}$), т.е.

$$Э_3 = ТТЧ_M + ТТЧ_I + ТТЧ_{об.с} + ТТЧ_{рем} + ТТЧ_{тр} + ТТЧ_{вс}. \quad (4)$$

Энергия вторичных энергоресурсов $Э_4$ складывается из фактически сэкономленных энергозатрат при использовании топливных $Э_{хим}$, тепловых $Э_{теп}$ и материальных $Э_{мат}$ ресурсов:

$$Э_4 = Э_{хим} + Э_{теп} + Э_{мат}. \quad (5)$$

При этом учитывается сумма химической энергии вторично используемых топлив, а также сумма технологических топливных чисел тепловой энергии (пара), материальных ресурсов на том переделе, на котором заменяются первичные ресурсы с учетом коэффициентов использования вторичных ресурсов.

Такой наглядный алгоритм расчета и базирующийся на нем анализ дают возможность достаточно объективно оценить наиболее энергоемкие звенья в технологических процессах и определить пути рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

Исходя из этой структурированной методики, получена обобщенная формула для расчета $ТТЧ$ продукции, которая наглядно раскрывает основные факторы, определяющие величину $ТТЧ$ продукта, произведенного за n технологических операций при наличии p компонентов в ней.

Эта обобщенная формула для $ТТЧ$ продукции имеет следующий вид:

$$ТТЧ = \sum_{i=1}^n \sum_{\varepsilon=1}^p \frac{\Delta q_{i\varepsilon}}{\eta_{i\varepsilon}} \psi_{i\varepsilon}, \quad (6)$$

где $\Delta q_{i\varepsilon}$ – удельная полезная теплота для i -й операции и ε -й компоненты в данной операции, кг у.т./ед. энергоносителя;

$\eta_{i\varepsilon}$ – соответствующий топливно-энергетический КПД;

$\psi_{i\varepsilon}$ – обобщенный расходный коэффициент, определяемый как произведение элементарных коэффициентов $\varphi_{i\varepsilon}$ при изменении i от 1 до n , составляющих последовательную цепочку (при этом в каждой i -й операции номер параллельного звена ε выбирается именно для последовательно включенных звеньев во всей цепочке), ед. энергоносителя/т продукта.

Таким образом, обобщенный расходный коэффициент вычисляют по формуле

$$\psi_{i\varepsilon} = \varphi_{1\varepsilon} \dots \varphi_{i\varepsilon} \dots \varphi_{n\varepsilon}. \quad (7)$$

Отношение

$$b_{i\varepsilon} = \frac{\Delta q_{i\varepsilon}}{\eta_{i\varepsilon}} \quad (8)$$

называют утилизационным удельным расходом энергии в обобщенном виде.

Отношение

$$f_{i\varepsilon} = \frac{\varphi_{i\varepsilon}}{\eta_{i\varepsilon}} \quad (9)$$

в (6) может быть названо расходно-энергетическим коэффициентом на каждом звене технологической цепочки. Оно демонстрирует одновременно действие двух факторов – расходного коэффициента $\varphi_{i\varepsilon}$ и топливно-энергетического КПД $\eta_{i\varepsilon}$. Чем выше значение $f_{i\varepsilon}$, тем при данной величине удельной полезной теплоты $\Delta q_{i\varepsilon}$ больше локальный удельный расход условного топлива b_{φ} для данного звена $i\varepsilon$:

$$b_{\varphi} = \Delta q_{i\varepsilon} f_{i\varepsilon}. \quad (10)$$

Величина

$$b_i = \frac{\Delta q_{i\varepsilon}}{\eta_{i\varepsilon}} \psi_{i\varepsilon} \quad (11)$$

представляет собой обобщенный удельный расход энергии, определяющий вклад i -й операции в $ТТЧ$ конечной продукции. Из (6) наглядно видно, что

при определении $ТТЧ$ технологической цепочки, состоящей из n последовательных звеньев, происходит двойное суммирование величин как по технологическим цепочкам i от 1 до n (последовательное включение звеньев), так и по числу компонентов технологического процесса внутри каждого звена ϵ от 1 до ρ (параллельное включение компонентов).

Как видно, важнейшими факторами, определяющими величину $ТТЧ$, являются удельная полезная теплота Δq , необходимая для протекания процесса, топливно-энергетический КПД η и обобщенные расходные коэффициенты ψ . Снижение Δq и ψ и увеличение η приводят к уменьшению $ТТЧ$ продукции.

Использование технологических топливных чисел в их иерархической последовательности позволяет выявлять те узловые области технологической цепи, где расход энергии резко увеличивается и содержатся основные резервы по ее экономии, а также объективно анализировать, какие энергосберегающие мероприятия отдельных технологических переделов (операций) приводят в конечном счете к понижению энергоемкости национального дохода, а какие – к противоположному результату.

Рассмотрим пример применения данного метода энергетического анализа при производстве бумаги на АО «Соликамскбумпром».

На целлюлозно-бумажное предприятие заготовленная в лесу древесина поступает со своим топливно-технологическим числом, в которое входят затраты на валку, обрезку сучьев и транспортировку древесины до предприятия.

Поступившая на предприятие древесина разделяется на два потока: один идет на производство окоренного баланса для древесно-дефибрерной массы (ДДМ), а другой – на производство технологической щепы для сульфитной целлюлозы (СФИ) и термомеханической массы (ТММ).

Помимо материальных потоков (ДДМ, СФИ, ТММ), в каждом переделе участвуют также дополнительные материальные потоки (химикаты) и сами топливные энергоносители (электроэнергия, пар, вода, воздух и т.д.).

Каждый материальный и энергетический поток в любом переделе имеет свои $ТТЧ$, коэффициент полезного действия и расходный коэффициент. Расходный коэффициент показывает, сколько данного вида энергоносителя было затрачено в данном технологическом переделе.

Полученные в процессе производства материальные потоки поступают на бумажное производство, где они смешиваются в машинном бассейне. Полученная в результате смешивания бумажная масса при взаимодействии с различного вида энергоносителями идет на производство газетной бумаги в бумагоделательной машине.

Технологический процесс разделен на переделы в соответствии со структурной схемой расщепления технологической цепочки (см. рисунок).

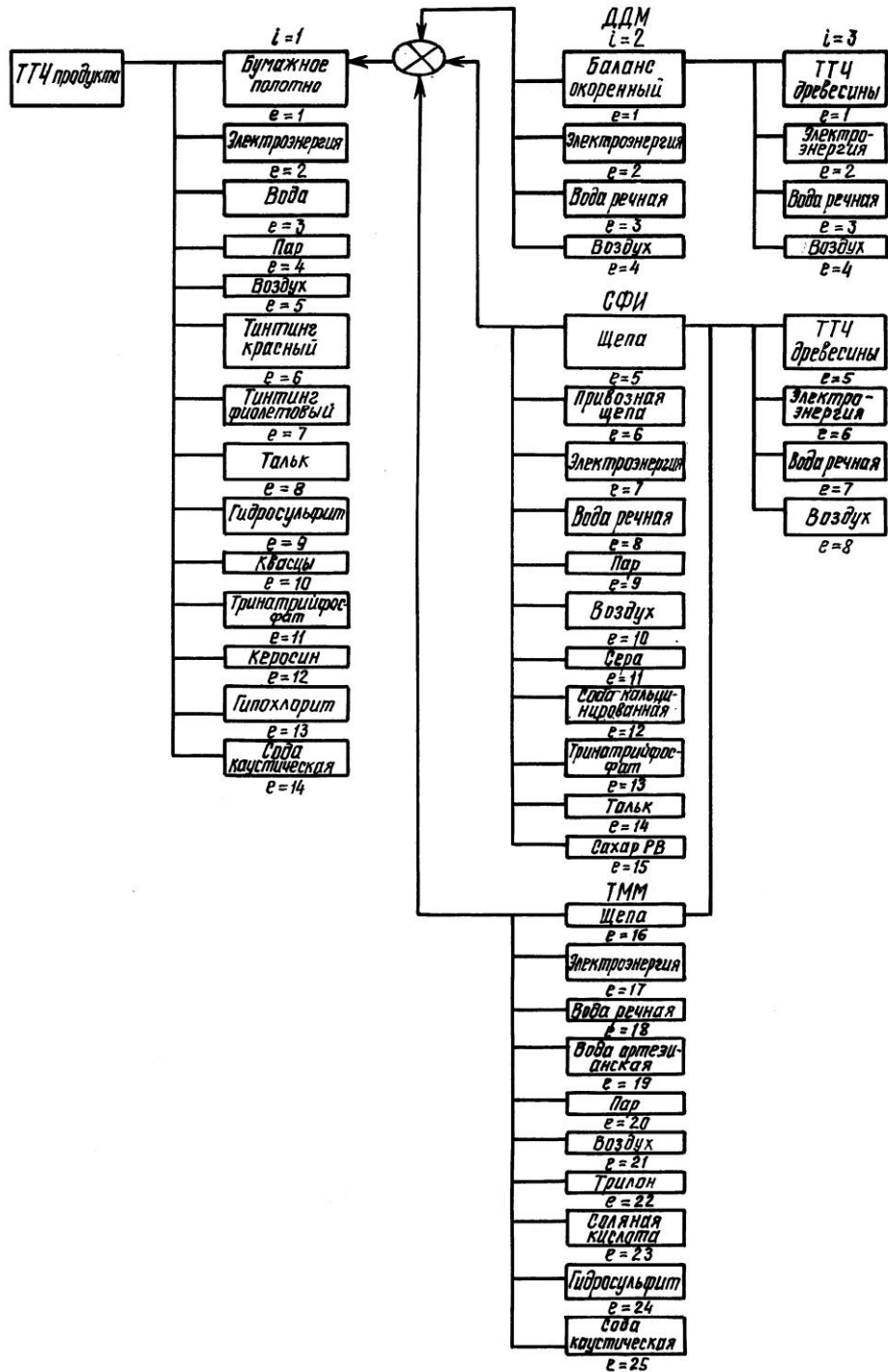


Схема расщепления технологической цепочки производства бумаги

Процесс производства бумаги разделен на три технологических звена: 1 – производство бумаги в бумагоделательной машине; 2 – производство составляющих бумажной массы; 3 – производство щепы, окоренного баланса. Значения удельных полезных затрат теплоты, термических и энергетических кпд, расходных коэффициентов приняты по [1–4]. В соответствии с рисунком производится расчет *ТТЧ* бумаги по формуле (11). Результаты расчета занесены в табл. 1.

Полученный готовый продукт (бумага) имеет после всех технологических переделов свое *ТТЧ*.

Из произведенного расчета имеем: *ТТЧ* бумаги – 921,049 кг у.т./т; удельная полезная теплота $q_{\Sigma} = 287,143$ кг у.т./т; эндоэнергетический кпд $\eta_{\text{э}} = 0,312$.

Энергетические затраты на производство целлюлозно-бумажной продукции весьма значительны и составляют в среднем 10 ... 12 % цеховой себестоимости, однако этим влияние системы энергосбережения и эффективность производства не ограничиваются. Надежность энергосбережения, стабильность параметров энергоносителей существенно влияют на качество продукции.

Самым энергоемким является передел производства бумаги, наибольший вклад в энергетические затраты вносят энергоносители: электроэнергия и воздух. Основные резервы экономии заключены на переделах ТММ, СФИ, производства бумаги. Таким образом, из расчета видно, что именно на этих переделах скрываются наиболее ощутимые резервы снижения *ТТЧ*. Небольшая величина кпд $\eta_{\text{э}} = 0,312$ объясняется широким использованием энергоносителей с низким кпд. Рекордсменом по вкладу в *ТТЧ* продукта является электроэнергия. Экономия, прежде всего, этого энергоносителя вносит ощутимый вклад в снижение энергозатрат.

Более рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов будет способствовать энергетический анализ, основанный на расчетах сквозных затрат по всем технологическим цепям – *ТТЧ* в их определенной иерархической последовательности. Технологические топливные числа целесообразно применять при экономическом анализе наряду с себестоимостью, удельными капитальными затратами, окупаемостью, фондоотдачей, прибылью и экологическими факторами.

Для повышения эффективности энергосбережения существенным представляется совершенствование учета энергетических затрат в производстве. В настоящее время учет и нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов на производство продукции в отрасли осуществляется по технологическим стадиям производства – переделам. Предлагаемый переход к оценке энергоемкости конечной продукции позволяет оптимизировать технологию получения этой продукции по критерию минимальных энергетических затрат на ее производство, оценивать сырье и полуфабрикаты по энергетическим затратам на их переработку, что, в свою очередь, дает

Расчет энергозатрат на производство бумаги по технологическим пределам

Энерго-потребитель	Размерность	Δq_{iE} , кг у.т./ед.	η_{iE}	φ_{iE} ед./т	b_{iE} , кг у.т./т	f_{iE} , ед./т	b_o , кг у.т./т	Ψ_{iE} , ед./т	b_r , кг у.т./т	$\Delta q_{iE} \cdot \Psi_{iE}$, кг у.т./ед.
Бумага										
ТММ	т	0,743	0,937	0,290	0,793	0,309	0,230	0,290	0,230	0,215
СФИ	т	0,681	0,937	0,249	0,727	0,266	0,154	0,249	0,181	0,170
ДДМ	т	1,411	0,937	0,516	1,506	0,551	0,777	0,516	0,777	0,728
Электроэнергия	МВт · ч	122,7	0,32	0,590	383,437	1,844	226,259	0,590	226,228	72,393
Воздух	тыс. м ³	9,45	0,32	7,881	29,531	24,628	232,735	7,881	232,734	74,475
Вода	м ³	0,038	0,32	24,8	0,120	77,500	2,945	24,8	2,976	0,924
Пар	ГДж	34,18	0,75	0,502	45,573	0,669	22,866	0,502	22,878	17,158
Химикаты	т	–	–	0,094	37,53	–	–	0,094	3,528	–
ТММ										
Щепа	м ³	–	–	3,11	1,35	–	–	0,902	1,218	–
Вода речная	м ³	0,038	0,32	12,97	0,120	40,531	1,540	3,761	0,451	0,143
Вода артезианская	м ³	0,038	0,32	4	0,120	12,500	0,475	1,160	0,139	0,044
Электроэнергия	МВт · ч	122,7	0,32	2,480	383,437	7,750	950,925	0,719	275,691	88,221
Пар	ГДж	34,18	0,75	0,067	45,573	0,089	3,042	0,019	0,866	0,649
Воздух	тыс. м ³	9,45	0,32	0,251	29,531	0,784	7,401	0,073	2,156	0,690
Химикаты	т	–	–	0,009	37,53	–	–	0,003	0,113	–
СФИ										
Щепа	м ³	–	–	4,613	1,35	–	–	1,149	1,551	–
Привозная щепа	м ³	–	–	0,067	1,35	–	–	0,017	0,023	–
Электроэнергия	МВт · ч	122,7	0,32	0,270	383,437	0,844	103,559	0,067	25,690	8,221
Вода речная	м ³	0,038	0,32	106,55	0,120	332,969	12,653	26,531	3,184	1,008
Пар	ГДж	34,18	0,75	0,275	45,573	0,367	12,544	0,068	3,099	2,324
Воздух	тыс. м ³	9,45	0,32	0,186	29,531	0,581	5,490	0,046	1,358	0,435
Химикаты	т	–	–	0,408	37,53	–	–	0,102	3,828	–

Продолжение табл.

Энерго-потребитель	Размерность	$\Delta q_{i\text{в}}$, кг у.т./ед.	$\eta_{i\text{в}}$	$\varphi_{i\text{в}}$ ед./т	$b_{i\text{в}}$, кг у.т./т	$f_{i\text{в}}$, ед./т	$b_{\text{о}}$, кг у.т./т	$\psi_{i\text{в}}$, ед./т	$b_{\text{т}}$, кг у.т./т	$\Delta q_{i\text{в}} \cdot \psi_{i\text{в}}$, кг у.т./ед.
ДДМ										
Баланс окоренный	м ³	–	–	2,57	1,35	–	–	1,326	1,790	–
Электроэнергия	МВт · ч	122,7	0,32	0,152	383,437	0,475	58,282	0,078	29,908	9,571
Вода речная	м ³	0,038	0,32	6,5	0,120	20,312	0,772	3,354	0,402	0,127
Воздух	тыс. м ³	9,45	0,32	0,095	29,531	0,297	2,807	0,049	1,497	0,463
Баланс окоренный										
Древесина	м ³	–	–	1,016	1,35	–	–	1,347	1,818	–
Электроэнергия	МВт · ч	122,7	0,32	0,014	383,437	0,044	5,399	0,019	7,285	2,331
Вода речная	м ³	0,038	0,32	1,46	0,120	4,563	0,173	1,936	0,232	0,074
Воздух	тыс. м ³	9,45	0,32	0,095	29,531	0,297	2,807	0,126	3,721	1,191
Щепа										
Древесина	м ³	–	–	1,036	1,35	–	–	2,125	2,869	–
Электроэнергия	МВт · ч	122,7	0,32	0,016	383,437	0,050	6,135	0,033	12,653	4,049
Вода речная	м ³	0,038	0,32	1,46	0,120	4,563	0,173	2,994	0,359	0,114
Воздух	тыс. м ³	9,45	0,32	0,095	29,531	0,297	2,807	0,195	5,759	1,843
ВЭР	кг у.т./т	–	–	–	–	–	–	–	43,857	–

возможность исходя из энергоемкости производства конечной продукции формировать композицию бумаги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисиенко В.Г., Дружинина О.Г., Зайнулин Л.А. Программное обеспечение для энергоанализа энерготехнологических процессов как элемент экспертной системы // Энергетика. – 1998. – № 2. – С. 3–10.
2. Лисиенко В.Г., Розин С.Е., Щелоков Я.М. Методика расчета и использования технологических топливных чисел // Черная металлургия. – 1987. – № 2. – С. 108–112. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Слуцкий А.В. Экономика энергосбережения в целлюлозно-бумажной промышленности. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 160 с.
4. Технологический регламент производства ЦБК г. Соликамска (книга 1). – 1982. – 600 с.

Уральский государственный
политехнический университет

Уральская государственная
лесотехническая академия

АО «Соликамскбумпром»

Поступила 30.10. 2000 г.

V.G. Lisienko, A.I. Babin, V.A. Liskin, S.G. Ovchinnikov, E.I. Dukki
**Technique of Complete Energy Analysis and Calculation
of Technological Fuel Values in Paper Production**

Technique of energy analysis is suggested using technological fuel values.



МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК 378

Я.Ф. Молнар

Молнар Янош Ференцевич родился в 1937 г., окончил в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат экономических наук, профессор кафедры менеджмента, директор Института экономики, финансов и бизнеса Архангельского государственного технического университета. Имеет около 60 печатных работ в области менеджмента, экономики и организации лесной промышленности.

**ОПЫТ АТТЕСТАЦИИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЗАКАЗАМ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Изложены современные подходы к организации и проведению аттестации специалистов на крупном промышленном предприятии с участием экономического вуза на предмет соответствия занимаемым должностям, определения перспектив профессионального роста и продвижения.

предприятие, специалисты, экономический вуз, аттестация, профессиональный рост.

Современная наука и практика менеджмента трактуют аттестацию как оценку уровня квалификации работников. Совершенно очевидно, что определение квалификации не самоцель, а важнейший элемент кадровой политики предприятия.

Руководители предприятий всегда (правда, в разной степени) проявляли интерес к аттестации своих работников. В ближайшей перспективе роль аттестации будет возрастать хотя бы потому, что Трудовой кодекс РФ, вступивший в силу 1 февраля 2002 г., предусматривает возможность расторжения трудового договора по инициативе работодателя, в том числе и в случае «недостаточной квалификации, подтвержденной результатами аттестации» (подпункт «б» п. 3 ст. 81). Это положение серьезно повышает требования к проведению аттестации работников предприятий.

За последние годы в Институте экономики, финансов и бизнеса (ИЭФБ) АГТУ накоплен определенный опыт проведения аттестации руководителей и специалистов по заказам предприятий. Наши заказчики обычно понимают аттестацию своих работников как установление уровня их профессиональной компетентности и соответствия ее предъявляемым требова-

ниям. Результаты аттестации используются при назначениях на должности, создании резерва на руководящие посты, определении основных направлений повышения квалификации и переподготовки кадров в будущем.

Аттестация руководителей и специалистов по заказу предприятий, согласно договору между заказчиком (предприятие) и исполнителем (ИЭФБ АГТУ), проводится по следующему сценарию.

1. На предприятии издается приказ о проведении аттестации работников. Назначается председатель комиссии.
2. Исполнитель разрабатывает программу аттестации и в установленном порядке согласовывает ее с заказчиком.
3. Заказчик и исполнитель заключают договор на проведение аттестации.
4. Создается аттестационная комиссия из числа ведущих специалистов предприятия и экспертов исполнителя.
5. Аттестационная комиссия после обработки всех материалов аттестации на заключительном заседании подводит итоги, вырабатывает рекомендации о соответствии уровня квалификации работников занимаемым должностям.
6. Исполнитель составляет подробный отчет об исполнении договора по согласованной с заказчиком методике.

Ключевым моментом является программа аттестации. Она, естественно, не может быть раз и навсегда установленной и зависит от многих факторов, таких как категория аттестуемых, цели и задачи аттестации, наконец, интересы заказчика.

Так, при аттестации руководителей коммерческих служб (отделы экспорта, импорта, сбыта, снабжения) Котласского ЦБК программа аттестации предусматривала следующие разделы:

- 1) изучение комиссией личностной характеристики аттестуемого работника на основании опросного листа;
- 2) публичное выступление аттестуемого на заданную тему;
- 3) оценка личных и деловых качеств работника;
- 4) оценка профессиональной компетентности работника.

*Место и роль опросного листа
в системе оценки аттестуемого работника*

Опросный лист служит не только для выявления анкетных данных аттестуемых работников, что само по себе актуально, но и для следующих целей:

- установление объема выполняемых работником функций по занимаемой должности;
- определение степени соответствия фактически выполняемых работником функций должностным инструкциям;
- выяснение требуемых направлений повышения квалификации и т. д.

Ответы на первые восемь вопросов дают социальный портрет аттестуемого, позволяют судить о степени его соответствия требованиям по за-

нимаемой должности и служат исходной информацией для руководителей отделов.

Объективный ответ на девятый вопрос может раскрыть творческий потенциал работника, понимание им проблем развития своей организации. Отсутствие ответа говорит о неосведомленности работника, ограниченности его кругозора, неумении высказываться и видеть перспективу. Для такого работника больше подходит роль исполнителя и не более.

Вопросы 10 и 13 поставлены так, чтобы узнать направление повышения квалификации, актуальное для данного работника.

Последний вопрос 14 предусматривает чистосердечное высказывание работника о перспективах своего роста, что является ценной информацией для кадровых служб, руководителей при решении о новых назначениях, ротации кадров и т. д.

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ

1. Фамилия, инициалы _____
2. Год рождения _____
3. Образование (высшее, среднее специальное, общее среднее)
4. Учебное заведение, которое Вы окончили, и год окончания _____
5. Приобретенная квалификация _____
6. Занимаемая в настоящее время должность _____
7. Когда, где и по какой специальности повышали квалификацию _____
8. Перечислите свои достижения в профессиональной сфере: награды, хронология служебного роста, внедренные в производство предложения _____
9. Какие пути повышения эффективности своей работы Вы можете назвать _____
10. В каких сторонах своей профессиональной деятельности испытываете затруднения _____
11. Выполняемые Вами функции приведите в табл. 1 (отметьте +, –).

Таблица 1

Функция	Периодичность выполнения			
	Ежедневно	Еженедельно	Ежемесячно	Ежеквартально

12. Составьте отчет о проделанной Вами в 200_ г. работе по форме, приведенной в табл. 2.

Таблица 2

Что сделано	Затраченные на это ресурсы (время, деньги, материалы)	Полученный результат

13. Каких знаний Вам не хватает для Вашей успешной работы

14. На какой рост по службе рассчитываете в ближайшие 5 ... 10 лет

Оценка личных и деловых качеств

На действующем предприятии оценка личных и деловых качеств сотрудника отдела, службы находится в компетенции начальника соответствующего подразделения.

К разряду личных деловых качеств работников, как правило, относят инициативность, отношение к людям, лидерство, ответственность, организаторские способности, решительность, упорство и т. д.

В целях объективной оценки личных и деловых качеств работников включают в комиссию и привлекают дополнительно в качестве экспертов руководителей различного уровня. По каждой группе аттестуемых должно быть не менее трех экспертов.

Чтобы руководитель мог определить степень наличия приведенных качеств у своего подчиненного, предлагается тест (табл. 3). Пользуясь тестом, руководитель находит в каждой из горизонтальных строк определение личных и деловых качеств аттестуемого работника. Для этого он оценивает степень присутствия анализируемого качества и зачеркивает квадрат на пересечении горизонтальной строки и вертикальной графы.

Например, при сочетании двух качеств – «Лидерство» и «Умело руководит подчиненными» – следует зачеркнуть квадрат на пересечении строки В и графы 3 и поставить цифру 3 в графу В «Лидерство» в табл. 4 против фамилии аттестуемого работника. Суммированием выставленных оценок по всем качествам заполняется графа «Сумма баллов».

Руководитель отдела, службы, производственного подразделения, оформив таблицу, подписывает ее и передает председателю аттестационной комиссии. Итоговая оценка личных и деловых качеств производится аттестационной комиссией по 4-балльной системе. Отличная оценка выставляется при сумме баллов 25 ... 28, хорошая при 21 ... 24, удовлетворительная при 17 ... 20, неудовлетворительная при 16 баллах и менее.

Публичное выступление аттестуемого на заданную тему

Техническое обеспечение:

- 1) запись выступления видеокамерой;
- 2) демонстрация выступления по телевизору.

Методическое обеспечение:

- 1) инструктаж аттестуемого;
- 2) подготовка к выступлению (до 20 мин);
- 3) выступление (до 3 мин).

Содержание выступления.

Тема и вопросы для выступления даются накануне в рамках профессиональной деятельности аттестуемого.

Таблица 3

Качество	4	3	2	1
А Инициатива	Ищет дополнительные задания, очень искренний <input type="checkbox"/>	Находчив, смекалист при выполнении задания <input type="checkbox"/>	Выполняет необходимый объем работ без указаний <input type="checkbox"/>	Безынициативный, ждет указаний <input type="checkbox"/>
Б Отношение к людям	Позитивное начало, дружелюбное отношение <input type="checkbox"/>	Приятный собеседник, вежливый <input type="checkbox"/>	Иногда возникают трудности во взаимоотношениях с коллегами <input type="checkbox"/>	Некоммуникабельный, сварливый <input type="checkbox"/>
В Лидерство	Сильный, внушает уверенность и доверие <input type="checkbox"/>	Умело руководит подчиненными <input checked="" type="checkbox"/>	Ведущий <input type="checkbox"/>	Ведомый <input type="checkbox"/>
Г Ответственность	Проявляет исключительную ответственность в работе <input type="checkbox"/>	Соглашается с поручениями и выполняет их <input type="checkbox"/>	Неохотно соглашается с поручениями <input type="checkbox"/>	Уклоняется от любых поручений <input type="checkbox"/>
Д Организаторские способности	Очень способен вести за собой людей, направлять их действия <input type="checkbox"/>	Способный организатор, подчиненные его слушают <input type="checkbox"/>	Подчиненные нередко уклоняются от выполнения его поручений <input type="checkbox"/>	Не добивается безусловного выполнения поручений. Нередко отказывается выполнять их <input type="checkbox"/>
Е Решительность	Быстрота действий и точная их реализация <input type="checkbox"/>	Основательный, осторожный и осмотрительный в принятии решений <input type="checkbox"/>	Нередко допускает ошибки при выполнении работы <input type="checkbox"/>	Сомневающийся и боязливо действующий <input type="checkbox"/>
Ж Упорство	Целеустремленный, его нелегко обескураживать трудностями <input type="checkbox"/>	Предпринимает постоянные усилия, постоянно в поиске <input type="checkbox"/>	Особым старанием при выполнении заданий не отличается <input type="checkbox"/>	Инертный, трудно настроить на упорную работу <input type="checkbox"/>

Таблица 4

№ п/п	Ф.И.О. сотрудника	Занимаемая должность	Личные и деловые качества							Сумма баллов
			А Инициатива	Б Отношение к людям	В Лидерство	Г Ответственность	Д Организаторские способности	Е Решительность	Ж Упорство	
					3					
Эксперты _____ / _____ /										

Цель публичного выступления состоит в том, чтобы оценить:

- 1) умение ясно излагать свои мысли;
- 2) искусство выступления;
- 3) соответствие содержания выступления заданной теме и вопросу.

По этим критериям производится оценка качества публичного выступления по 4-балльной системе.

*Оценка профессиональной компетентности сотрудников
по полученным ответам на контрольные вопросы*

Оценка профессиональной компетентности занимает центральное место в программе аттестации. Уровень профессиональных знаний оценивается комплексно по всем направлениям деятельности. Для этого предусмотрено собеседование испытуемого с аттестационной комиссией. Работника представляет начальник отдела. На каждого аттестуемого составляется протокол собеседования, содержащий перечень заданных вопросов и оценку полноты и качества ответов. Поскольку задаваемые вопросы формулируются исходя из характера профессиональной деятельности данного работника и в соответствии с его должностными инструкциями, времени на подготовку ответов не отводится. Предлагаемая схема проверки это очные вопросы – ответы в устной форме.

Система оценок уровня профессиональных знаний производится по 4-балльной системе; если правильных ответов 91 % и более – «отлично»; 81 ... 90 % – «хорошо»; 71 ... 80 % – «удовлетворительно»; менее 70 % – «неудовлетворительно».

Система подведения итогов аттестации

Конечная цель аттестации – оценка соответствия каждого аттестуемого работника занимаемой должности и выработка грамотной кадровой политики на предприятии.

Есть два уровня несоответствия занимаемой должности:

- 1) работник претендует на повышение в должности;
- 2) работник в силу своей некомпетентности не может квалифицированно выполнять работу по занимаемой должности.

Для подведения итогов аттестации на основе полученных материалов предлагается следующая методика. Сначала устанавливают средневзвешенную оценку каждого аттестуемого работника по выбранным четырем критериям:

- 1) результаты обработки материалов опросного листа;
- 2) личные и деловые качества;
- 3) уровень профессиональной компетентности;
- 4) оценка публичного выступления.

Поскольку значение этих критериев для подведения итогов аттестации неодинаково, предлагается ввести «весовые» коэффициенты к ним, выраженные в долях единицы (табл. 5).

Таблица 5

№ п/п	Критерии аттестации	Оценка	Весовой коэффициент	Оценка с учетом весового коэффициента
1	Результаты обработки материалов опросного листа	4,0	0,25	1,0
2	Личные и деловые качества	3,0	0,25	0,75
3	Уровень профессиональной компетентности	4,2	0,35	1,47
4	Публичное выступление	5,0	0,15	0,75
	Средневзвешенная оценка	–	–	3,97

Соответствие работника занимаемой должности выражается одним из выводов:

- 1) рекомендуется повысить в должности (средневзвешенный балл 4,8 и выше);
- 2) соответствует занимаемой должности (3,5 ... 4,7);
- 3) не соответствует занимаемой должности (менее 3,5).

Итоги аттестации предлагается оформить по схеме, приведенной в табл. 6.

Таблица 6

№ п/п	Фамилия и инициалы	Занимаемая должность	Средневзвешенная оценка	Уровень соответствия занимаемой должности

Изложенная методика аттестации руководителей и специалистов опробована на ряде предприятий лесного комплекса и получила признание. Мы, в свою очередь, анализируем свой опыт участия в аттестациях, извлекая из него много полезного не только для работы с новыми клиентами, но и для преподавания менеджмента в нашем университете.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 24.06.02

Ya.F. Molnar

Experience of Evaluation of Top Managers and Specialists according to Orders of Companies

Modern approaches to organizing and holding evaluation of specialists at large-scale industrial enterprises with economic higher educational institute involved are presented

regarding conformity with positions occupied, determination of professional growth and promotion prospects.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630*265

Е.Ю. Филимонкова

Филимонкова Елена Юрьевна родилась в 1974 г., окончила в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесных культур АГТУ. Имеет 13 печатных работ в области лесного хозяйства.

**РОСТ И СОСТОЯНИЕ
ЖИВЫХ ЕЛОВЫХ ИЗГОРОДЕЙ
ВДОЛЬ ФЕДЕРАЛЬНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ
ДОРОГИ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Обследовано состояние придорожных насаждений в Шенкурском районе Архангельской области. В целом оно признано удовлетворительным. Живые еловые изгороди, имеющие высокую сомкнутость крон, хорошо выполняют снегозадерживающие и эстетические функции.

культуры ели, живые изгороди, автомобильная дорога, снегозадерживающие функции.

Лесные насаждения естественного и искусственного происхождения служат самым эффективным средством защиты дорог от снежных заносов. В сельскохозяйственных районах юга Архангельской области, где вдоль дорог имеются довольно обширные безлесные территории, создают искусственные насаждения. Наиболее распространены двухрядные еловые посадки плотной конструкции – живые изгороди. Их активно начали создавать в 50-е гг., но когда при прокладке федеральной автомобильной дороги М-8 (Архангельск – Москва) трассу спрямляли, часть ныне существующих живых изгородей оказалась на значительном удалении от нее (90 м и более). Наибольшая протяженность еловых живых изгородей сохранилась в Шенкурском районе (на 374- и 384-м километрах этой автодороги отдельные их фрагменты достигают 1 км).

Поскольку ряд участков федеральной автодороги и других эксплуатируемых и строящихся дорог в Архангельской области в настоящее время не имеет надежной защиты от снежных заносов, здесь необходимо создать искусственные насаждения. В связи с этим актуально изучить рост и состояние существующих придорожных насаждений.

Объектами нашего исследования в 1999–2000 гг. на территории Шенкурского района послужили живые изгороди, расположенные в 30 м от полотна дороги. При обследовании пробных площадей применяли общепринятые методики [1, 2]. Насаждения представляют собой двухрядные полосы плотной конструкции с размещением 0,5 ... 1,0 × 0,6 ... 1,6 м. Краткая обобщенная характеристика насаждений дана в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	Пробные площади					
	1	2	3к	5	7	8
Удаленность от г. Архангельска по М-8, км	384	384	401	402	427	427
Расстояние от бровки полотна дороги до насаждения, м	12	15	98	28	Под углом, 5 м	13
Размер пробы, м	1,4×104	1,2×60	1,2×84	3,2×85	1,5×112	1,2×87
Шаг посадки, м	1,0	0,5	0,6	0,6	1,0	0,6
Ширина междурядий, м	0,7	0,6	0,6	1,6	0,75	0,6
Средний диаметр ствола, см	$\frac{19,7 \pm 0,7}{20,0 \pm 0,7}$	$\frac{15,3 \pm 0,6}{16,5 \pm 0,7}$	$\frac{14,3 \pm 0,6}{15,4 \pm 0,7}$	$\frac{16,0 \pm 0,7}{14,5 \pm 0,7}$	$\frac{18,9 \pm 0,6}{20,1 \pm 0,7}$	$\frac{17,9 \pm 0,5}{15,1 \pm 0,7}$
Средняя высота, м	12,6	12,8	11,9	12,9	11,2	12,4
Высота прикрепления кроны, м	$\frac{0,7 \pm 0,1}{0,8 \pm 0,1}$	$\frac{1,1 \pm 0,1}{1,9 \pm 0,1}$	$\frac{2,1 \pm 0,1}{1,9 \pm 0,1}$	$\frac{1,5 \pm 0,1}{1,5 \pm 0,1}$	$\frac{0,8 \pm 0,1}{0,9 \pm 0,1}$	$\frac{1,6 \pm 0,1}{1,9 \pm 0,1}$
Ширина кроны, м:						
вдоль ряда	$\frac{2,9 \pm 0,2}{3,0 \pm 0,2}$	$\frac{2,2 \pm 0,2}{2,5 \pm 0,3}$	$\frac{1,6 \pm 0,2}{2,1 \pm 0,2}$	$\frac{2,7 \pm 0,1}{2,8 \pm 0,1}$	$\frac{2,6 \pm 0,2}{2,6 \pm 0,1}$	$\frac{2,0 \pm 0,1}{2,3 \pm 0,2}$
поперек ряда	$\frac{3,2 \pm 0,1}{3,4 \pm 0,2}$	$\frac{3,3 \pm 0,1}{3,1 \pm 0,1}$	$\frac{1,6 \pm 0,2}{2,4 \pm 0,2}$	$\frac{3,4 \pm 0,1}{3,6 \pm 0,2}$	$\frac{3,3 \pm 0,1}{3,0 \pm 0,2}$	$\frac{2,6 \pm 0,1}{2,9 \pm 0,2}$
Степень перекрытия крон, %	30	60	40	40	30	40
Сохранность, %	94,7	99,4	100,0	99,3	100,0	99,3
Густота посадки, тыс. шт./га	14	33	27	10	13	27

Примечание. В числителе данные для полевого ряда; в знаменателе – для придорожного.

В качестве контроля выбран участок еловых защитных насаждений в 98 м от автодороги (пробная площадь 3к). Посадку там проводили ручную (под лопату) по сплошь обработанной почве. В качестве посадочного материала использовали 3-летние сеянцы ели.

Как известно, защитные свойства живых изгородей зависят от сомкнутости и приподнятости над землей крон деревьев. Высота прикрепления кроны в обследованных насаждениях колеблется от $0,8 \pm 0,1$ до $2,0 \pm 0,1$ м, зачастую ветви опускаются до самой земли. Этот весьма важный фактор определяет снегозадерживающую способность насаждения, так как во время метели основная масса снега переносится в 2-метровом приземном слое. Статистически доказано, что на всех без исключения участках ширина кроны вдоль ряда меньше, чем поперек. В двухрядных посадках каждый ряд является опушечным, деревья получают достаточно света, и их кроны приобретают флагообразную форму.

К 40–50-летнему возрасту еловые культуры полностью сомкнулись, степень перекрытия крон 30 ... 60 %. Средний диаметр деревьев 17,1 см,

средняя высота 12,3 м. Наименьшие показатели диаметра и высоты отмечены нами на пробе 3к. Возможно, это связано с зарастанием живой изгороди ольхой серой, которая образует сплошной буфер с обеих сторон. Формы крон в основном конусовидные и узкоконусовидные, однако встречаются отдельные деревья с ширококонусовидной формой кроны, но это, как правило, крайние в ряду или отдельно стоящие в просветах дерева. Конструкция полос максимально плотная в нижней части и умеренно плотная в кронах. К моменту обследования насаждений сохранилось от 94,7 до 100,0 % (на контроле) посадочных мест с живыми растениями.

Обследованные культуры по действующим шкалам оценки должны быть отнесены к категории «без повреждения» или «слабо поврежденные» (с очень незначительными признаками повреждения) [4]. Однако на участках, расположенных вблизи автодороги, обнаружена суховершинность деревьев (пробы 5, 7) вследствие загрязнения воздушной среды выхлопными газами автотранспорта, в составе которых преобладает угарный газ, оксиды азота, примеси соединений свинца [3].

Четких различий в таксационных показателях между придорожным и полевым рядами не установлено. В большинстве случаев среднестатистические показатели полевого ряда оказались несколько ниже. В пределах ряда диаметр, высота дерева, высота прикрепления кроны, ее ширина варьируют незначительно.

В целом состояние живых еловых изгородей можно признать удовлетворительным. Процент усыхающих и ослабленных деревьев оказался небольшим, несмотря на близость к проезжей части, сенокосным угодьям, деревьям (табл. 2). Максимальный процент условно здоровых, нормально развитых деревьев наблюдается на контроле, расположенном дальше других участков от автодороги, и на пробной площади 5, где ширина междурядий составляет 1,6 м. Механические повреждения снижают общую устойчивость деревьев и вызывают развитие инфекционных заболеваний. Во всех живых изгородях широко встречаются пороки естественного происхождения (до 23,6 % на пробной площади 5). Зачастую они, как показали образцы древесины, взятые возрастным буравом, сопровождаются раневой (стволовой ядровой) гнилью.

Таблица 2

Номер пробной площади	Процент деревьев разных категорий повреждения						Индекс повреждения
	I	II	III	IV	V	VI	
1	48,7	14,7	15,3	2,7	13,3	5,3	2,39
2	64,9	6,1	4,7	9,5	14,2	0,6	2,08
3к	82,3	1,8	2,7	4,4	8,8	–	1,56
5	86,6	5,4	6,0	–	1,3	0,7	1,27
7	38,4	41,1	8,9	3,4	8,2	–	2,02
8	75,2	18,8	–	1,5	3,8	0,7	1,43

Примечание. Деревья VI категории повреждения не обнаружены.

Опыт выращивания живых еловых изгородей на территории Архангельской области показывает, что 50-летнему возрасту они сохраняют высокую сомкнутость крон по всему вертикальному профилю, предопределяющую хорошие снегозадерживающие свойства. Эти насаждения выполняют также функцию снижения скорости ветра на открытых пространствах и имеют эстетическое значение. При выращивании живых изгородей следует проводить регулярные уходы и контролировать состояние деревьев. При появлении заболеваний и повреждений обязательны санитарные мероприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барабин А.И., Малаховец П.М., Тутыгин Г.С. Лесные культуры: Методич. указания к дипломному проектированию. – Архангельск: РИО АГТУ, 1995. – 40 с.
2. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. – М., 1974. – 24 с.
3. Ролл-Хансен Ф, Ролл-Хансен Х. Болезни лесных деревьев / Под ред. В.А. Соловьева. – СПб.: СПбЛТА, 1998. – 120 с.
4. Санитарные правила в лесах Российской Федерации / Мин-во экологии и природных ресурсов РФ. Комитет по лесу. – М.: Экология, 1992. – 16 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 02.07.01

E.Yu. Filimonkova

Role and State of Green Spruce Fence along Federal Highways of Arkhangelsk Region

The state of roadside planting in Shenkursk region of Arkhangelsk area is investigated. It is recognized as unsatisfactory. Green spruce fence with high canopy density performs well the snow retardation and esthetic functions.



КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630*232(049.3)

*В.В. Цыплаков, П.Н. Проездов, В.Ф. Перов, В.Н. Филатов***НОВЫЙ УЧЕБНИК ПО ЛЕСНЫМ КУЛЬТУРАМ**

Вышла в свет книга проф. А.Р. Родина «Лесные культуры» (М.: МГУЛ, 2002. – 268 с.: ил. 53). Это учебник для студентов специальности 260400.

Автор, несомненно, ставил цель привести учебник в соответствие как с действующим государственным образовательным стандартом, так и с официальными документами, регламентирующими работы в лесокультурном производстве. Эта цель достигнута.

Учебник состоит из введения и трех разделов: лесное семеноводство; выращивание посадочного материала; лесные культуры.

Первый раздел включает шесть глав. В четырех показаны семеношение лесных растений и факторы, его определяющие, состав и содержание работ по организации лесосеменной базы в лесхозах, вопросы теории и практики заготовки, переработки, хранения лесосеменного сырья и семян древесных и кустарниковых пород. В главе 5 описаны теоретические основы подготовки семян к посеву, способы его проведения; в главе 6 – определение посевных качеств семян лесных растений, включая как общие положения семенного контроля, так и конкретные сведения о паспортизации, показателях качества, методах их определения, документы о качестве семян.

В этом разделе довольно полно и четко изложены вопросы организации лесосеменной базы на генетико-селекционной основе, новые сведения об особенностях лесного семеноводства в районах Крайнего Севера и на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Здесь есть недочеты композиционного характера, которые следовало бы исправить при переиздании книги. Главы «Подготовка семян к посеву» и «Определение посевных качеств лесных семян» целесообразно поменять местами, что позволило бы изложить данные мероприятия в последовательности, принятой в лесокультурной практике.

Второй раздел учебника содержит восемь глав. В главах 7–9 изложены общие вопросы лесопитомнического дела: организация лесных питомников, расчет их площади, обработка почвы, применение удобрений и гербицидов при выращивании посадочного материала. На наш взгляд, в начале раздела было бы желательно рассмотреть севообороты питомника (перенести данный материал из главы 10 в главу 8), поскольку расчет площади хозяйственных отделений, обработка почвы, применение удобрений и гербицидов должны рассматриваться в системе типичных севооборотов.

В главах 10 и 11 подробно освещена агротехника выращивания сеянцев и саженцев древесных и плодовых пород. Здесь рассмотрены общие эколого-биологические основы агротехники, а также особенности выращивания сеянцев основных лесобразующих пород страны, что делает излагаемый материал более обоснованным и конкретным.

Вегетативное размножение деревьев и кустарников нашло отражение в главе 12. В ней, наряду с широко известными способами вегетативного размножения, приведены новые интересные материалы по применению методов клеточной и геномной инженерии в процессе получения ценного посадочного материала, а также в селекционной работе.

Перспективному способу выращивания сеянцев и саженцев в закрытом грунте лесного питомника уделено значительное внимание в главе 12, где автор рассматривает типы теплиц, условия их эффективного использования и ряд технологий выращивания посадочного материала как с открытой, так и с закрытой корневой системой. Удачное расположение и состав материала делают главу интересной, а материал легко воспринимаемым.

Глава 14 дает представление о проведении мероприятий по оценке качества работ и результатов выращивания посадочного материала за вегетационный период. Здесь же излагаются вопросы выкопки, особенности и способы хранения семян и саженцев с открытыми и закрытыми корнями. Заканчивается глава и раздел описанием особенностей и требований к транспортировке разных видов посадочного материала. Интересными для студентов будут материалы о физиологическом обосновании способов консервации как искусственном увеличении фазы вынужденного покоя.

Раздел 3 состоит из одиннадцати глав. Первые три посвящены общетеоретическим вопросам, связанным с методологией лесокультурного производства, планированию и проектированию лесных культур, подбору пород и разработке типов лесных культур.

В следующих трех главах рассмотрена агротехника выращивания лесных культур в зависимости от почвенно-климатической зоны и категории лесокультурной площади.

Интересна глава «Выращивание лесных культур на вырубках». В ней с позиции динамической типологии рубок решаются вопросы о времени создания лесных культур после рубки спелого насаждения или целесообразности предварительных культур. Используя последние научные разработки ВНИИЛМ, автор рекомендует наиболее рациональный и экономичный способ создания культур на вырубках, который заключается в узкополосной расчистке площади (полосы шириной 1,5 м) с щадящей корчевкой пней и частичной обработкой почвы в виде площадок размерами 0,8 ... 1,0 × 1,0 ... 1,2 м в количестве 500 ... 700 шт. на 1 га.

При раскорчевке рубок полосами не менее 15 м предлагается создание агролесокультур с предварительным выращиванием сельскохозяйственных культур, что немаловажно в решении продовольственной проблемы.

В главе «Реконструкция малоценных насаждений лесокультурными способами» большое внимание уделено созданию подпологовых культур в низкополнотных насаждениях II и III классов возраста. Площадь таких насаждений постоянно возрастает, особенно в лесостепной и степной зонах, что связано с массовым усыханием дубрав.

К числу недоработок в учебнике следует отнести излишнюю краткость при изложении отдельных вопросов и недостаточное количество рисунков.

В целом учебник написан на хорошем научном и методическом уровне. Высокая адаптивность и доступность материала поможет студентам глубже изучить вопросы лесокультурного производства и подготовиться к самостоятельной работе.

Саратовский государственный
аграрный университет им. Н.И. Вавилова

V.V. Tsyplakov, P.N. Proezdov, V.F. Perov, V.N. Philatov
New Textbook on Forest Cultures

От редколлегии. Редакция располагает также рецензией В.В. Беляева, доктора сельскохозяйственных наук, профессора кафедры географии и геоэкологии Поморского государственного университета.