

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова, Ю.Е. Щерба.</i> Влияние географического происхождения на репродуктивное развитие кедра сибирского на лесосеменной плантации за 24-летний период.....	7
<i>О.В. Болотов.</i> Информационное обеспечение для планирования рационального лесопользования.....	11
<i>Е.В. Алаудинова, П.В. Миронов.</i> Сосна обыкновенная: особенности метаболизма мембранных липидов живых тканей почек.....	17
<i>А.А. Вайс.</i> Нормативы для определения запасов вырубленных древостоев по пням в условиях Сибири.....	24
<i>Л.Н. Сунцова, Е.М. Иншаков, Е.В. Козик.</i> Оценка состояния городской среды методом фитоиндикации (на примере г. Красноярск).....	29
<i>С.Л. Шевелев, Н.С. Немич, П.В. Михайлов.</i> Совершенствование организации комплексного использования лесов в Красноярском крае.....	33
<i>О.П. Ковылина, Н.В. Ковылин.</i> Изучение состояния и роста полосных и массивных насаждений сосны обыкновенной в условиях сухой степи.....	36
<i>И.Н. Павлов, О.А. Барабанова, А.А. Агеев.</i> Снижение устойчивости пихтово-кедровых лесов Восточного Саяна к корневым патогенам.....	40

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>И.М. Еналеева-Бандура.</i> Построение опорного плана перевозок методом относительной оборачиваемости.....	46
<i>А.Н. Баранов, Н.Д. Гайденок, В.Ф. Чумаков, Р.А. Ясинский.</i> Совершенствование технологии возведения земляного полотна из мерзлого грунта.....	50

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Ш.Г. Зарипов, В.Н. Ермолин.</i> Избыточное давление в листовидных пиломатериалах при низкотемпературной конвективной сушке.....	52
<i>С.Г. Елисеев, В.Н. Ермолин.</i> Свойства водослойной древесины осины.....	58
<i>Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма.</i> Зависимость коэффициента уплотнения древесины от гидротермических факторов.....	63
<i>А.В. Мелешко, Г.О. Манулик, С.С. Романова, А.И. Скрипальщиков.</i> Проблема отделки изделий из древесины хвойных пород водными материалами.....	69
<i>В.А. Лозовой, И.А. Балдаков.</i> Синхронизация скоростей перемещения древесного сырья механизмами поточных линий.....	75
<i>А.В. Мелешко, Ю.В. Хлоптунова, Г.А. Логинова.</i> Использование лакокрасочных материалов с объемным светорассеивающим эффектом для прозрачной отделки изделий из древесины хвойных пород.....	80

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Б.Д. Руденко.</i> Исследование режимных факторов изготовления плит из коры и вторичного полиэтилена.....	85
<i>В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич.</i> Определение угла скрещивания режущих кромок прямолинейных ножей при двухстороннем исполнении гарнитур ножевых размалывающих машин.....	89
<i>Н.А. Войнов, С.М. Воронин, О.П. Жукова, С.А. Ледник.</i> Результаты внедрения и исследования контактных ступеней бражных колонн.....	93
<i>И.А. Воронин, Ю.Д. Алашкевич, А.А. Дирацуян, Н.С. Решетова.</i> Влияние конструктивных параметров инерционных тел на размол волокнистых материалов.....	99

<i>А.А. Дирацян, Е.Е. Нестеров, Ю.Д. Алашкевич, И.А. Воронин.</i> Новый технологический параметр процесса размола волокнистых материалов.....	104
<i>А.В. Ермолина, П.В. Миронов.</i> Получение и свойства теплоизоляционного материала на основе вторичной волокнистой массы.....	109
<i>А.А. Ерофеева, В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич.</i> Определение коэффициента динамической вязкости макулатурной массы.....	115
<i>Е.В. Исаева, Т.В. Рязанова.</i> Исследование состава СО ₂ -экстракта вегетативной части тополя бальзамического методом хромато-масс-спектрометрии.....	119
<i>Б.Д. Руденко.</i> Моделирование статического состояния цементно-древесного композита в процессе эксплуатации.....	125
ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА	
<i>С.О. Медведев, Р.А. Степень, С.В. Соколов.</i> Развитие современного лесопромышленного кластера в Красноярском крае.....	131
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ	
<i>О.С. Артемьев.</i> Методика оценки показателей, определяемых при ландшафтной таксации, с применением материалов наземной цифровой фотосъемки.....	137
<i>В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич.</i> Определение коэффициента скольжения прямолинейных ножей размольной гарнитуры.....	139

 CONTENTS

FORESTRY

<i>R.N. Matveeva, O.F. Butorova, Yu.E. Shcherba.</i> Geographical Provenance Effect on Reproductive Development of Siberian Cedar on Seed Orchard over 24-year Period....	7
<i>O.V. Bolotov.</i> Informational Support for Planning Rational Forest Management.....	11
<i>E.V. Alaudinova, P.V. Mironov.</i> Scotch Pine: Membrane Lipids Metabolism of Bud Live Tissues.....	17
<i>A.A. Vice.</i> Standards for Determination of Cut Stands Resources according to Stumps in Condition of Siberia.....	24
<i>L.N. Suntsova, E.M. Inshakov, E.V. Kozik.</i> Assessment of Urban Environment State by Phytoindication Method (based on example of Krasnoyarsk).....	29
<i>S.L. Shevelev, N.S. Nemich, P.V. Mikhailov.</i> Improvement of Multipurpose Forest Use in Krasnoyarsk Krai.....	33
<i>O.P. Kovylin, N.V. Kovylin.</i> Study of Growth and State of Strip and Massive Plantations of Scotch Pine in Dry Steppe Conditions.....	36
<i>I.N. Pavlov, O.A. Barabanova, A.A. Ageev.</i> Resistance Reduction of Fir-Cedar Forests of Eastern Sayan Mountains to Root Pathogens.....	40

WOODEXPLOITATION

<i>I.M. Enaleeva-Bandura.</i> Building of Basic Transportation Plan by Relative Turnover Method.....	46
<i>A.N. Baranov, N.D. Gaidenokh, V.F. Chumakov, R.A. Yasinsky.</i> Improvement of Technology for Road Bed Building from Frozen Soil.....	50

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>Sh.G. Zaripov, V.N. Ermolin.</i> Overpressure in Hardwood Sawn Timber under Low-Temperature Convective Drying.....	52
<i>S.G. Eliseev, V.N. Ermolin.</i> Characteristics of Frost-Heart Aspen Wood.....	58
<i>N.V. Vishurenko, I.S. Korchma.</i> Dependence of Wood Compression Rate on Hydrothermal Factors.....	63
<i>A.V. Meleshko, G.O. Manulik, S.S. Romanova, A.I. Skripalshchikov.</i> Problem of Furnishing Products Made of Coniferous Wood by Aqueous Materials.....	69
<i>V.A. Lozovoy, I.A. Baldakov.</i> Synchronization of Traverse Speeds of Wood Raw Material by Production Line Mechanism.....	75
<i>A.V. Meleshko, Yu.V. Khloptunova, G.A. Loginova.</i> Use of Paint-and-lacquer Materials with Volume Light-scattering Effect for Transparent Finishing of Softwood Products.	80

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>B.D. Rudenko.</i> Operation Factors Investigation of Board Production Made of Bark and Secondary Polyethylene.....	85
<i>V.I. Kovalev, Yu.D. Alashkevich.</i> Crossing Angle Determination for Cutting Edge of Straightline Knives in Two-faced Configuration of Blade Milling Machines.....	89
<i>N.A. Voinov, S.M. Voronin, O.P. Zhukova, S.A. Lednik.</i> Introduction and Investigation Results for Contact Stages of Brew Columns.....	93
<i>I.A. Voronin, Yu.D. Alashkevich, A.A. Diratsuyan, N.S. Reshetova.</i> Influence of Design Parameters of Inertial Bodies on Fibrous Materials Grinding.....	99
<i>A.A. Diratsuyan, E.E. Nesterov, Yu.D. Alashkevich, I.A. Voronin.</i> New Technological Parameter of Fibrous Materials Grinding Process.....	104
<i>A.V. Ermolina, P.V. Mironov.</i> Production and Properties of Heat-insulating Material Based on Secondary Fiber.....	109

<i>A.A. Yerofeeva, V.I. Kovalyov, Yu.D. Alashkevich.</i> Determination of Wastepaper Dynamic Viscosity Coefficient.....	115
<i>E.V. Isayeva, T.V. Ryasanova.</i> Research on the Carbon Dioxide Extract Composition of Balsam Poplar (<i>Populus Balzamifera</i> L.) Vegetative Part Using the Method of Chromato-Mass-Spectrometry.....	119
<i>B.D. Rudenko.</i> Static Condition Simulation of Cement-Wood Composite in Operational Process.....	125
<i>ECONOMICS AND MANAGEMENT</i>	
<i>S.O. Medvedev, R.A. Stepen, S.V. Sobolev.</i> Development of Modern Forest-industrial Cluster in Krasnoyarsk Territory.....	131
<i>SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING</i>	
<i>O.S. Artemiev.</i> Assessment Technique for Indicators Determined under Landscape Inventory by Using Materials of Ground Digital Survey.....	137
<i>Y.I. Kovalev, Yu.D. Alashkevich.</i> The Determination of the Coefficient of Sliding Knife Rectilinear Typefaces of the Grinding.....	139



УДК 630*228.7

Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова, Ю.Е. Щерба

Сибирский государственный технологический университет

Матвеева Римма Никитична родилась в 1942 г., окончила в 1965 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой селекции и озеленения Сибирского государственного технологического университета, академик РАЕН, заслуженный лесовод РФ. Имеет 415 печатных работ в области искусственного лесовыращивания, лесной селекции интродукции древесных растений.

E-mail: selekcia@sibstu.kts.ru



Буторова Ольга Федоровна родилась в 1944 г., окончила в 1967 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции и озеленения Сибирского государственного технологического университета, академик РАЕН. Имеет 330 печатных работ в области интродукции древесных растений, искусственного лесовыращивания, лесной селекции.

E-mail: selekcia@sibstu.kts.ru



Щерба Юлия Евгеньевна родилась в 1989 г., студентка 5-го курса Сибирского государственного технологического университета. Имеет 5 печатных работ в области лесной селекции.

Тел.: 8(391) 2-48-11-34



ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА РЕПРОДУКТИВНОЕ РАЗВИТИЕ КЕДРА СИБИРСКОГО НА ЛЕСОСЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ ЗА 24-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Рассмотрены особенности репродуктивной деятельности кедров сибирского разного географического происхождения в возрасте от 19 до 42 лет. Проанализирована изменчивость размеров и массы шишек. Отсекалированы экземпляры, отличающиеся обильным и регулярным семеношением.

Ключевые слова: кедр сибирский, шишки, изменчивость, плантация, Сибирь.

Одним из перспективных направлений в развитии Единого генетико-селекционного комплекса является создание плантационных культур. Лесосеменные плантации кедров сибирского позволяют получать высокие урожаи семян, а также являются базой для выделения перспективных генотипов в целях дальнейших селекционных исследований [2, 4].

В зеленой зоне г. Красноярск в 1979 г. под руководством проф. Р.Н. Матвеевой заложены плантационные культуры кедровых сосен (участковое Караульное лесничество учебно-опытного лесхоза СибГТУ) [1, 3]. Они формировались посадкой 15-летних растений кедров сибирского, выращенных из семян (посев 1964 г.) разного географического происхождения из популяций Красноярского края (ярцевская популяция), Кемеровской области (тисульская), Республик Алтай (атушкенская)

и Казахстан (лениногорская). В качестве местного экотипа (контроля) посажено потомство популяции из Бирюсинского участкового лесничества учебно-опытного лесхоза СибГТУ (бирюсинская).

Схема посадки 5 × 5 м. Урожайность деревьев находили по числу и массе шишек [4]. Форму шишек устанавливали согласно классификации С.А. Мамаева [2] по отношению диаметра шишки к ее длине: цилиндрическая – не более 0,80; яйцевидная – 0,81...0,90; округлая – 0,91...1,00. Определяли также размеры, окраску шишек, форму апофиза, количество и размеры чешуй, семян.

Единичные экземпляры кедр сибирского атушкеньского, бирюсинского, лениногорского, тисульского, ярцевского происхождений вступили в репродуктивную стадию уже в 19–20-летнем биологическом возрасте, образовав по 1-2 шишки или макростробилы.

К 30-летнему возрасту семеношение наблюдалось у 13 % деревьев. На побеге (в пучке) было по 1-2, у дерева № 6-3 (Ярцево) – по 3 шишки. В первые годы семеношения шишки в основном мелкие, однако были обнаружены экземпляры и с относительно крупными шишками: № 5-94 (атушкеньское происхождение), 8-25, 8-27 (бирюсинское), 8-44 (тисульское), 4-51, 4-107 (лениногорское).

В 39-летнем возрасте средняя урожайность отдельных деревьев кедр сибирского варьировала от 10,1 до 16,7 шишек. Исследования показали относительно равномерное распределение среднего числа шишек на деревьях изученных происхождений. Уровень изменчивости признака очень большой (45...84 %). В среднем на дерево приходится от 0,614 до 1,056 кг шишек, однако очень большое варьирование не позволило математически подтвердить различия данного показателя. Если судить только по средним показателям, то наиболее урожайными оказались растения тисульского происхождения (превышение над бирюсинским 86 %).

В 40-летнем возрасте растения атушкеньского, тисульского и бирюсинского (местного) происхождений имели стабильное превосходство по данному показателю. У потомства атушкеньского и лениногорского происхождений урожайность, оцениваемая количеством шишек на одно семеносящее дерево, оказалась идентичной. Микростробилы образовались только у 3...6 % деревьев в обоих вариантах в количестве 21,6...170,6 шт. Длина шишек варьировала в пределах 4,4...9,2 см при средних значениях 5,3...6,8 см. Среди сравниваемых происхождений шишки большей длины были у потомств ярцевской и бирюсинской популяций, наименьшей (на 28,3 % меньше) – у атушкеньской, что подтверждается t-критерием ($t_{\phi} > t_{05}$).

Диаметр шишек на 18...26 % меньше их длины и составил 3,7...4,6 см при средних значениях 4,5...5,4 см, т. е. различие между популяциями не превышало 20,0 %. Изменчивость показателя оценивалась как низкая (8,6...12,4 %).

По форме шишки распределились следующим образом: округлая преобладала у шишек тисульского происхождения, яйцевидная – у ярцевского. У бирюсинского потомства не выявлено четкого преобладания какой-либо формы. Окраска шишек варьировала от фиолетово-серой до коричневой. У деревьев тисульского и бирюсинского происхождений преобладали шишки темно-коричневые (50,0 и 26,3 %) и светло-коричневые (30,0 и 47,7 %). Шишки коричневой окраски имели наименьшую представленность во всех вариантах, кроме ярцевского (21,4 %).

По направлению спирали чешуй шишек в потомстве бирюсинской популяции преобладает правая форма (68 %). У шишек тисульского и ярцевского происхождений не выявлено достоверного преимущества какой-либо формы.

Число витков спиралей у шишек варьирует от 3 до 6 при средних значениях 3,9...4,6. Достоверно меньше их у шишек в тисульском варианте по сравнению с местным (бирюсинским) и ярцевским. В потомстве ярцевского экотипа отмечена высокая изменчивость (20,9 %) данного показателя. Длина чешуй шишек в зависимости от происхождения варьировала от 1,1 до 1,3 см. Больше она была у шишек лениногорского, атушкеньского и ярцевского происхождений, наименьшей – тисульского. Ширина чешуй характеризуется низким уровнем изменчивости. В потомстве бирюсинской и ярцевской популяций она практически одинакова ($t_{\phi} = 1,49$), тисульской – на 14,3...19,0 % меньше. Различие с местным (бирюсинским) экотипом достоверно.

Индивидуальная и межпопуляционная изменчивость массы шишек выше, чем у линейных размеров (до 46,9 %). Шишки бирюсинских экземпляров крупнее ярцевских и тисульских, но мельче лениногорских, атушкеньских на 16,1...34,6 %.

В 42-летнем возрасте количество шишек на дереве варьировало от 1 до 87 шт. при средних значениях 19,1...25,0 шт. (см. таблицу).

Семеношение кедра сибирского в 42-летнем возрасте

Происхождение	Число шишек, шт.			
	на дереве		на побеге (в пучке)	
	max	среднее	max	среднее
Атушкеньское	57	19,7	5	1,9
Бирюсинское	82	20,9	5	1,8
Лениногорское	87	25,0	5	2,0
Тисульское	79	24,3	5	2,0
Ярцевское	50	19,1	6	1,9

Более урожайными (на 16,3...19,6 %) оказались растения тисульского и лениногорского происхождений в сравнении с местными (бирюсинскими). Растения атушкеньской и ярцевской популяций имели показатели, близкие к бирюсинским. По 50 и более шишек сформировалось у экземпляров 4-73, 4-122, 4-146 (лениногорские), 5-9, 5-117 (атушкеньские), 6-41 (ярцевский), 8-4, 8-19 (бирюсинские), 8-53, 8-66, 8-68, 8-92, 8-99 (тисульские).

В потомстве каждой популяции имелись экземпляры, у которых образуются по 4...6 шишек на побеге (в пучке). Это 3 % деревьев лениногорского происхождения, 7 % – ярцевского, 13 % – тисульского, 15 % – атушкеньского и 19 % – бирюсинского. По пять шишек на побеге сформировались у экземпляров № 4-31, 4-53, 4-156, 4-170 (лениногорское происхождение), 5-4, 5-143 (атушкеньское), 8-30 (бирюсинское), 8-48, 8-53, 8-68 (тисульское), шесть – только у экземпляра № 6-39 (ярцевское).

В результате исследований были отобраны экземпляры по регулярности семеношения (4-107, 5-44, 5-123 и др.) и обилию шишек (4-131, 4-144, 5-18 и др.), образовавшие за 24-летний период наблюдений по 208...465 шишек с наименьшей периодичностью семеношения (6 – 11 раз).

Отбор отдельных генотипов кедр сибирского по урожайности позволит повысить эффективность создаваемых лесосеменных плантаций культур следующих поколений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изменчивость семенного потомства экотипов, плюсовых деревьев и формирование плантационных культур кедровых сосен в пригородной зоне Красноярска / Р.Н. Матвеева [и др.]. Красноярск: СибГТУ, 2006. 268 с.
2. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
3. *Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф.* Генетика, селекция, семеноводство кедра сибирского. Красноярск: СибГТУ, 2000. 243 с.
4. *Некрасова Т.П.* Биологические основы семеношения кедра сибирского. Новосибирск: Наука. СО АН СССР, 1972. 274 с.

R.N. Matveeva, O.F. Butorova, Yu.E. Shcherba
Siberian State Technological University

Geographical Provenance Effect on Reproductive Development of Siberian Cedar on Seed Orchard over 24-year Period

Peculiarities of reproductive activity of Siberian cedar of different geographical provenance of 19-42 years old are considered. Cone size and mass variability is analyzed. Trees characterized by rich and regular seed bearing are considered.

Keywords: Siberian cedar, cones, variability, plantation, Siberia.



УДК 630.6:504.062

О.В. Болотов

Сибирский государственный технологический университет

Болотов Олег Вадимович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры использования водных ресурсов Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 печатных работ по методам расчета и планирования непрерывного и неистощительного пользования лесом, эколого-экономической оценке и доступности лесных ресурсов, оптимизации размещения лесозаготовительного и лесохозяйственного производства.
E-mail: bolotstar@ya.ru



ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

Разработаны математический аппарат для определения динамики лесного фонда, размера расчетной лесосеки, проектирования рациональной схемы сети лесных дорог и соответствующее программное обеспечение. Результаты исследований апробированы на целом ряде лесных участков Нижнего Приангарья, переданных в аренду для заготовки древесины.

Ключевые слова: лесное планирование, информационное обеспечение, математическое моделирование и программирование, лесные дороги, расчетная лесосека.

В соответствии с действующим в Российской Федерации Лесным кодексом в качестве основного инструмента государственного управления лесами установлена новая система лесного планирования. В связи со значительной длительностью цикла «рубка леса – восстановление» становится очевидной необходимость установленный период планирования дополнить разработкой долгосрочных прогнозных сценариев развития на срок аренды лесных участков для заготовки древесины и оборот рубки. Целесообразность такого продолжительного подхода к лесному прогнозированию и планированию отмечалась многими учеными, неоднократно обосновывалась и в наших работах [2, 3, 6 и др.].

Проект освоения лесов (лесных участков, переданных в аренду для заготовки древесины) должен содержать сведения об участке, организации использования лесов, лесной инфраструктуре, которая обеспечит эффективное выполнение как лесозаготовок, так и комплекса мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов на весь период планирования. При этом должны разрабатываться соответствующие карты-схемы, в том числе размещения существующих и проектируемых объектов лесной инфраструктуры. Прогнозные показатели о состоянии лесного фонда требуется привести к окончанию срока действия проекта по кварталам и преобладающим породам. Более того, в приказе Минсельхоза РФ от 08.02.2010 г. № 32 «Об утверждении проекта освоения лесов и порядка его разработки» предусматривается планирование освоения лесных участков и проведение лесохозяйственных мероприятий не на весь десятилетний период, а по годам.

Для качественного составления проектов совершенно необходимо иметь систему специального, адаптированного к современным технологиям информационного обеспечения, которое должно сопровождать разработку не только хорошо известных и использовавшихся ранее при выполнении лесоустроительных проектов вопросов, но и новых, достаточно сложных задач. Среди них отметим наиболее сложные и

имеющие, на наш взгляд, до настоящего времени недостаточную проработку и апробацию: 1) проектирование и оптимизация сети лесных (лесовозных и лесохозяйственных) дорог с учетом динамики лесного фонда и основных природных и технико-экономических факторов; 2) определение экономической эффективности освоения лесных ресурсов; 3) корректировка расчетной лесосеки с учетом экономической доступности лесных ресурсов, несвоевременного и/или некачественного лесовосстановления, возможных потерь лесных ресурсов от негативных природных или антропогенных воздействий (пожары, вредители, болезни леса и др.).

В Сибирском государственном технологическом университете разработаны алгоритмы, математические и графо-аналитические модели и соответствующее программное обеспечение (три программы для ЭВМ, зарегистрированные в государственном реестре: «Проектирование рациональной схемы сети лесовозных дорог» (№ 2008614147 и 2009610561); «Расчет оптимальной величины расчетной лесосеки по прогнозируемым запасам древесины» (№ 2009613237). На их основе разработаны методики (информационное обеспечение), позволяющие отдельно или в комплексе, оперативно и на многовариантной основе решать указанные выше задачи [1–6 и др.].

Первая и вторая задачи решены на основе теории графов с использованием алгоритма Дейкстры. Блок-схема алгоритма для проектирования рациональной схемы сети лесных дорог и одновременного определения экономической эффективности освоения лесного участка представлена на рис. 1, где обозначено:

1) ввод матрицы стоимостей строительства и ремонта дорог;

2) ввод данных, характеризующих вершины графа – укрупненные выделы (координаты центров выделов, группа класса возраста, преобладающая порода);

3) ввод данных о существующих дорогах, рельефе и других особенностях местности (реки, болота и т. п.);

4) формирование первоначальной матрицы весов ребер;

5) создание списка неосвоенных выделов для данного этапа;

6) построение схемы сети лесовозных дорог;

7) нахождение дополнительных вершин на всех ребрах графа и поиск кратчайших путей до центров всех неосвоенных ранее выделов с одновременным определением рентабельности их освоения;

8) добавление в транспортную сеть выделов с минимальными транспортными затратами и неотрицательной рентабельностью (вершина исключается из списка неосвоенных выделов), если таких вершин нет, то переход к пункту 11;

9) фиксирование пути до выдела как построенного, корректировка матрицы весов ребер;

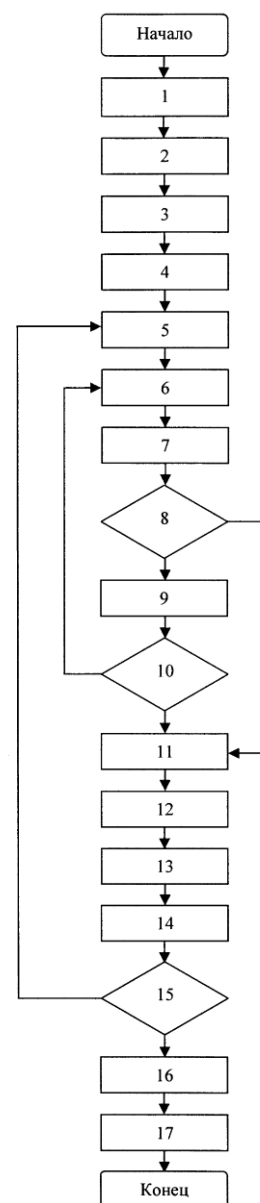


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

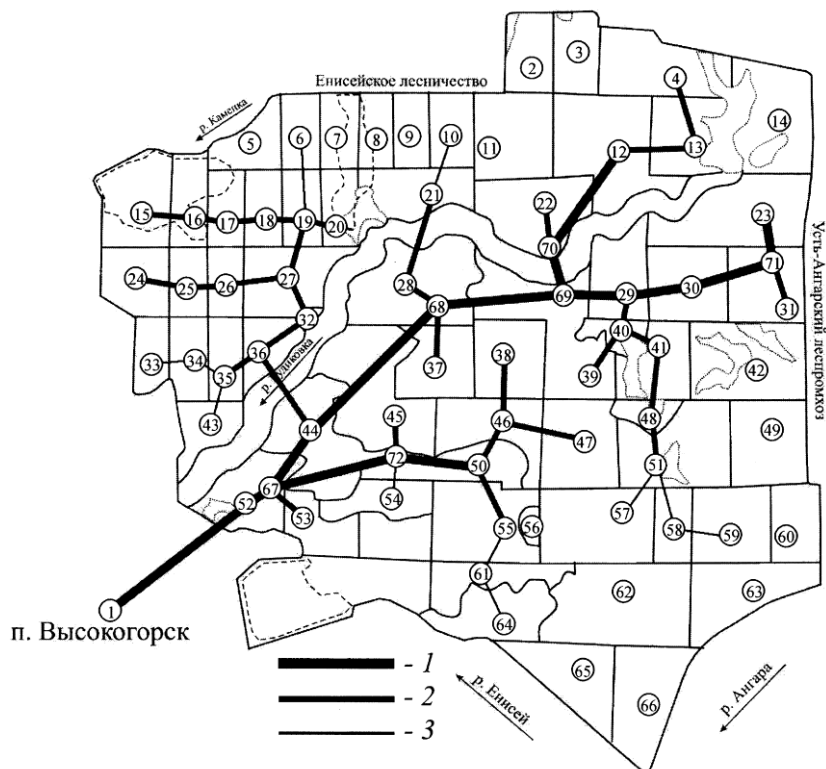


Рис. 2. Схема сети лесных дорог

- 10) переход к пункту 6 при наличии неосвоенных выделов;
- 11) определение грузопотока для всех дорог сети;
- 12) выбор типа дороги, построенной на текущем этапе;
- 13) определение показателей экономической эффективности (прибыль, рентабельность) освоения укрупненных выделов для текущего этапа;
- 14) перенос всех нерентабельных выделов текущего этапа в список неосвоенных следующего этапа;
- 15) переход к рассмотрению очередного временного этапа;
- 16) построение сети лесохозяйственных дорог;
- 17) сохранение всех полученных данных.

Подготовка данных и реализация алгоритма с помощью указанных выше программ (№ 2008614147 и 2009610561) занимают незначительное время, что позволяет оперативно рассмотреть и проанализировать несколько альтернативных вариантов и выбрать наиболее эффективный. В качестве примера на рис. 2 приведена схема сети лесных дорог, спроектированная по нашей методике для арендного участка Высокогорского филиала Лесосибирского ЛДК-1, расположенного в Рудиковском участковом лесничестве Енисейского лесничества Красноярского края. На рисунке изображены существующие и спроектированные лесовозные, а также лесохозяйственные дороги. Спроектированные лесовозные дороги проложены до кварталов, в которых расположены экономически доступные ресурсы древесины. Сеть проектируется для всего арендного участка и на весь период эксплуатации, а реализовываться будет дискретно, с расчетом на 1, 5, 10 и т. д. лет в соответствии с регламентируемыми требованиями заказчика. Лесохозяйственные дороги проектируются для лесных участков, где запланированы мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов. При этом на любом этапе проектирования или использования лесов можно опера-

тивно произвести корректировку схемы и пересчет экономических показателей в зависимости от изменившихся условий лесопользования.

Третья задача решается на основе моделирования динамики лесного фонда [3]. На его базе разработана модель для определения расчетной лесосеки [2, 6]:

$$\sum_{p=1}^P X_{m+1;p} - \sum_{p=1}^P X_{m;p} \geq 0, \quad (m = \overline{1, d}; p = \overline{1, P}); \quad (1)$$

$$X_{m+1;p} - X_{m;p} \geq 0, \quad (m = \overline{1, d}; p = \overline{1, P}); \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^m X_{k;p} \leq \sum_{k=1}^m \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S'_{g-k+1;p} + \alpha \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S'_{g-m;p};$$

$$(m = \overline{1, d-1}, d < g; p = \overline{1, P}); \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{i;p} - \alpha_p \beta_p X_{d-g+1;p} - \beta_p \sum_{j=1}^{m-g} X_{j;p} \leq \sum_{i=1}^g \eta_{g-k+1;p} \mu_{g-k+1;p} S'_{i;p};$$

$$(m = \overline{g, d}; d \geq g; p = \overline{1, P}); \quad (4)$$

$$(1 - \alpha) \beta_p X_{p;d-g} \geq S_p^{\min}; \quad (5)$$

$$F = \sum_{p=1}^p \sum_{k=1}^d X_{p;k} C_p \rightarrow \text{MAX}, \quad (6)$$

где p – номер хозяйственной секции;

P – их число;

m – номер расчетного десяти- или двадцатилетия (далее для краткости – десятилетия);

d – число расчетных десятилетий;

η, μ – коэффициенты риска, учитывающие вероятность потерь ресурсов древесины, связанных с пожарами, лесными вредителями и другими негативными факторами;

S'_g – площадь лесосеки g -й возрастной градации в первом десятилетии (двадцатилетии);

$X_{i;p}$ – расчетная лесосека i -го десятилетия p -й хозяйственной секции;

α – коэффициент, учитывающий переход приспевающих лесов в категорию спелых;

β – коэффициент, характеризующий процесс лесовосстановления;

$S_{i;p}$ – площадь лесосеки i -й возрастной градации p -й хозсекции;

S_p^{\min} – минимально допустимая с экологической точки зрения площадь спелых лесов p -й хозяйственной секции;

C_p – товарная продукция, которая может быть получена с 1 га p -й хозяйственной секции;

S_g – площадь спелых и перестойных лесов;

g – число возрастных градаций древостоя;

k – расчетное десятилетие (двадцатилетие).

Ограничение (1) характеризует требование общей неубываемости (равномерности) лесопользования. Ограничение (2) может применяться к лесосекам с хозяйственно-ценным древостоем, неубываемость которых обусловлена экономическими или экологическими требованиями. Ограничениями (3) и (4) учитываются:

возможные потери ресурсов древесины от негативных природных или антропогенных воздействий (пожары, вредители, болезни леса и др.) и несвоевременного и/или некачественного лесовосстановления соответственно. Для сохранения биологического разнообразия можно исключить возможность истощения определенных пород древостоя системой ограничений (5). В полученной модели в качестве целевой функции (6) принято требование максимизации товарной продукции. Следует отметить, что данная математическая модель дает широкие возможности для уточнения и конкретизации задачи путем введения дополнительных ограничений. На основе этой модели разработано соответствующее программное обеспечение (№ 2009613237).

Таким образом, представленный инструментарий позволяет комплексно и достаточно оперативно проектировать варианты схем сети лесных дорог и находить оптимальный, планировать размещение и очередность освоения участков леса на заданные периоды времени, определять экономическую доступность и эффективность освоения каждой лесосеки. При необходимости можно установить экономически доступную расчетную лесосеку с учетом прогнозируемого результата лесовосстановления, возможных потерь лесных ресурсов от воздействия различных негативных природных и антропогенных факторов.

К сожалению, по причине ограничения объема публикации не предоставляется возможности привести здесь все алгоритмы, модели, полученные с их помощью графики и аналитические зависимости и программы для ЭВМ, а также примеры практической реализации. Они опубликованы нами ранее в работах, указанных в списке литературы и ряде других.

Следует отметить, что лесные экосистемы являются исключительно сложными природными объектами. С учетом кризисной ситуации в лесном комплексе и продолжающегося процесса реформирования законодательной и нормативной базы задача разработки надежных информационных средств для лесного планирования и поддержки принятия решений по устойчивому управлению лесами неизбежно попадает в условия значительной неопределенности и риска. Кроме того, ряд вопросов, таких как экологическая доступность лесных ресурсов, определение коэффициентов риска и некоторых других параметров, требуют дальнейшего изучения и уточнения. Это предусматривается в планах нашей дальнейшей работы и позволит повысить точность и достоверность результатов.

Предлагаемые нами разработки апробированы на ряде лесных участков Нижнего Приангарья, переданных в аренду для заготовки древесины, в бывших (до 2007 г.) лесничествах и лесхозах в целом, а также и их групп (например расположенных в Кежемском, Богучанском и части Мотыгинского районов Красноярского края, в которых сосредоточено более 100 арендных лесных участков). Результаты исследований неоднократно обсуждались на конференциях, семинарах, при рецензировании наших статей и монографий, выполнении научно-исследовательских хозяйственных тем и получили положительные рекомендации и отзывы. Апробация предлагаемого информационного обеспечения показала его работоспособность и эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотов О.В. Оценка эколого-экономического потенциала и доступности лесных ресурсов // Вестн. КрасГАУ. Производство товаров и услуг. Красноярск: КрасГАУ, 2006. № 8. С. 79–82.

2. Болотов О.В., Ельдеништейн Ю.М., Болотова А.С. Моделирование и оптимизация размеров главного пользования лесом: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2004. 80 с.

3. Болотов О.В., Ельдеништейн Ю.М., Колесник А.А. Математическое моделирование динамики лесного фонда и оптимизация лесопользования // Лесн. журн. 1999. № 6. С. 27–31. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Болотов О.В., Ельдеништейн Ю.М., Привалихин А.И. Оптимизация лесопользования Нижнего Приангарья // Тр. первой науч.-практ. конф. по реализации Федеральной целевой программы освоения Нижнего Приангарья. Красноярск, 1997. С. 178–180.

5. Болотов О.В., Мохирев А.П. Экономическая доступность лесных древесных ресурсов // Вестн. КГУ. Естественные науки. Красноярск: КГУ, 2006. № 5/1. С. 5–9.

6. Основы расчета и планирования устойчивого управления лесопользованием: монография / О.В. Болотов [и др.]. Красноярск: СибГТУ, 2005. 183 с.

O.V. Bolotov

Siberian State Technological University

Informational Support for Planning Rational Forest Management

Mathematical tools for determining forest resources dynamics, allowable cutting area and designing rational scheme of forest roads network are developed, as well as related software. The study results are tested on forest sites of Lower Pre-Angara area leased for logging.

Keywords: forest planning, informational support, mathematical simulation and programming, forest roads, allowable cutting area.

УДК 630*181.324

Е.В. Алаудинова, П.В. Миронов

Сибирский государственный технологический университет

Алаудинова Елена Владимировна родилась в 1955 г., окончила в 1978 г. Сибирский технологический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии древесины и биотехнологии Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 100 печатных работ в области химии древесины, биохимии и физиологии растений.
E-mail: alaudinovaev@yandex.ru



Миронов Петр Викторович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Красноярский государственный университет, доктор химических наук, профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 200 печатных работ в области химии древесины, биохимии и физиологии растений.
E-mail: mpv@sibsty.kts.ru



СОСНА ОБЫКНОВЕННАЯ: ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЗМА МЕМБРАННЫХ ЛИПИДОВ ЖИВЫХ ТКАНЕЙ ПОЧЕК

Исследована сезонная изменчивость состава жирных кислот типа C_{18} диглицеридной части молекул гликолипидов сосны обыкновенной. Выявлены закономерности биосинтеза олеиновой, линолевой и линоленовой кислот посредством оценки изменения сезонной активности жирнокислотных $\omega 9$ -, $\omega 6$ - и $\omega 3$ -десатураз.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, гликолипиды, жирные кислоты, жирнокислотные $\omega 9$ -, $\omega 6$ - и $\omega 3$ -десатуразы.

Более 80 % лесного фонда Красноярского края представлено хвойными древесными видами, являющимися основой бореальных лесов. Среди хвойных по богатству видов и занимаемой ими территории выделяется семейство *Pinaceae*. Основной объект лесозаготовок – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Экономическое значение сосны определяется, главным образом, широким использованием ее древесины. В свою очередь, продуктивность ксилогенеза во многом обусловливается деятельностью фотосинтетического аппарата, обеспечивающего образование первичных продуктов фотосинтеза, преобразующихся впоследствии в высокомолекулярные компоненты древесины.

В Центральной Сибири морфо- и органогенез фотосинтетического аппарата хвойных начинается с закладки почек более чем за 10 месяцев до их распускания. Период экстремально низких зимних температур может быть достаточно продолжительным (например, зимой 2009/10 гг. морозы 30...40 °С держались с конца декабря до начала марта, в отдельные дни температура опускалась еще ниже). Вместе с тем, изучению разнообразных аспектов метаболизма живых тканей (зачаточных тканей хвои и побегов), сохраняющих жизнеспособность в таких условиях, до сих пор не уделяется должного внимания.

Известно, что, адаптируясь к сезонному снижению температуры окружающей среды, растения выработали механизмы, позволяющие регулировать жидкое фазовое

состояние мембран живых клеток через изменение жирнокислотного состава мембранных липидов. С уверенностью можно сказать, что изменчивость данного признака зависит не только от факторов окружающей среды, но и определяется генотипом. Ввиду большого видового разнообразия растений, специфичности каждой растительной ткани, сведений по данному вопросу до сих пор недостаточно, а по меристемам почек морозоустойчивых хвойных видов их практически нет. При этом необходимо отметить, что способность живых растительных тканей переносить низкие зимние температуры напрямую зависит от структуры липидных компонентов клеточных мембран.

Ранее [1], исследуя фракционный состав липидов меристем почек и его сезонные изменения у основных лесообразующих хвойных пород Красноярского края, мы обратили внимание на то, что у сосны в зимний период содержание гликолипидов было практически в четыре раза выше, чем у лиственницы сибирской и ели сибирской, а значит, у сосны эта липидная форма, наравне с фосфолипидами, имеет существенное значение в структурной организации мембран. Данный факт явился еще одним стимулом для дальнейшего изучения гликолипидов сосны.

Настоящая работа является продолжением изучения метаболизма меристем почек основных лесообразующих хвойных пород Центральной Сибири и посвящена исследованию сезонной изменчивости состава жирных кислот типа C₁₈ диглицеридной части молекул гликолипидов сосны обыкновенной и выявлению закономерностей их биосинтеза посредством оценки изменения сезонной активности жирнокислотных ω⁹-, ω⁶- и ω³-десатураз. Жирнокислотный состав изучали в различных фенологических фазах развития почек, соответствующих состоянию глубокого покоя осенью, вынужденного покоя и низкотемпературной устойчивости в зимний период, а также при переходе к активной вегетации весной.

Объект исследования – зачаточные (меристематические) ткани хвои и побега сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Побеги последнего года (по 10 шт. с 10 деревьев) отбирали на территории Мининского лесничества (пригородная зона г. Красноярск) с различных мест кроны деревьев II–III классов возраста. После удаления почечных чешуй меристематические ткани вегетативных почек срезали по границе с ксилемой побега. Полученные образцы фиксировали смесью хлороформ – изопропиловый спирт в соотношении 1:2 по объему [9, 12] с добавлением 1 %-го ионола. Гомогенизацию зачаточных тканей и экстракцию липидов проводили при температуре 0...2 °С, используя охлажденную лабораторную посуду и реактивы. Общую фракцию липидов очищали от нелипидных примесей гель-фильтрацией через колонку с сефадексом G-25. Очищенный липидный экстракт упаривали на ротационном вакуумном испарителе (РВИ) при температуре 36...38 °С и разделяли на индивидуальные фракции с помощью препаративной колоночной хроматографии [3]. В качестве адсорбента использовали силикагель Bio-Sil A 100-200 mesh. Колонку с нанесенным липидным экстрактом последовательно промывали хлороформом, ацетоном, изопропанолом. Скорость элюирования составляла около 3 мл/мин. При этом последовательно вымывались вещества нейтрального характера, гликолипиды и фосфолипиды. Выход липидных фракций контролировали методом ТСХ, массу определяли гравиметрически. Ацетоновый экстракт, содержащий гликолипиды, упаривали на РВИ при температуре 36...38 °С.

Жирные кислоты анализировали в виде их метиловых эфиров, полученных переэтерификацией фракции гликолипидов метанолом [10]. Для этого упаренный ацетоновый экстракт растворяли в 3 мл 1 %-го метанольного раствора NaOH и

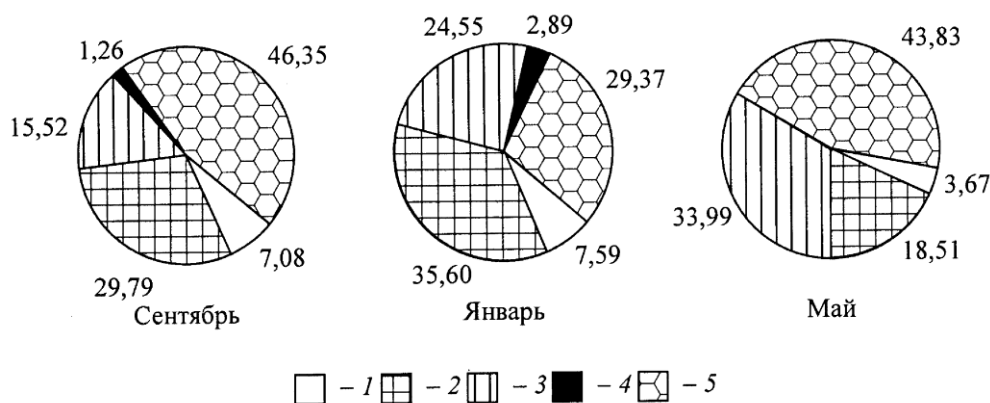


Рис. 1. Содержание жирных кислот в составе гликолипидов, %: 1 – моноеновые; 2 – диеновые; 3 – триеновые; 4 – тетраеновые; 5 – насыщенные

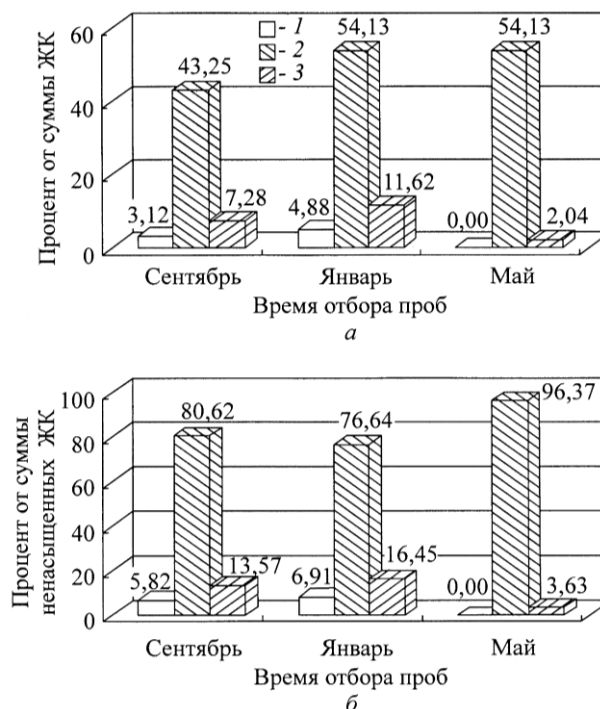
нагревали на водяной бане при 55 °С в течение 30 мин. Смесь охлаждали, подкисляли 5 %-м метанольным раствором HCl и вновь инкубировали при 55 °С. После охлаждения добавляли дистиллированную воду (1/2 объема смеси) и трижды экстрагировали метиловые эфиры жирных кислот гексаном. Гексановый экстракт также концентрировали на РВИ при температуре 36...38 °С, а затем очищали метиловые эфиры жирных кислот методом ТСХ, используя стеклянные пластинки с силикагелем марки КСК (размер частиц 100...200 меш.) Воскресенского химкомбината. В качестве проявителя применяли бензол. Метиловые эфиры жирных кислот анализировали на газожидкостном хроматографе Agilent Technologies фирмы «Хьюлетт-Паккард» (США) с масс-селективным детектором, работающим в режиме электронного удара, и регистрацией разделенных компонентов по полному ионному току. Использовали кварцевую капиллярную колонку HP-5МС (длина 30 м, диаметр 0,25 мм, толщина слоя пленки фазы 0,33 мкм); начальная температура термостата колонок +150 °С в изотермическом режиме 3 мин, затем температура термостата колонок увеличивалась со скоростью 20 °С/мин; конечная температура термостата колонок – 280 °С; газ-носитель – гелий.

Жирные кислоты идентифицировали по масс-спектрам (библиотека масс-спектров NIST 02.L) и индексам удерживания. Приведены результаты средних арифметических значений трех биологических и трех аналитических повторностей. Различия достоверны при 95 %-м уровне значимости. Активности ацил-липидных ω9-, ω6- и ω3-десатураз рассчитывали на основании содержания компонентов типа C₁₈ [14].

Изучение состава жирных кислот гликолипидов показало, что в их структуре постоянно присутствовали ненасыщенные компоненты – моноеновые, диеновые, триеновые и тетраеновые, составляющие биосинтетические семейства жирных кислот с нормальной структурой и *cis*-конфигурацией двойных связей (рис. 1).

В зимующих почках содержание диеновых жирных кислот было наибольшим и значительно (на 10 % от их суммы) превышало содержание триеновых; в набухших почках, наоборот, максимально увеличивалось содержание триеновых и снижалось – диеновых. В целом в зимний период общая доля ненасыщенных компонентов возрастала, весной – уменьшалась. Анализ содержания ненасыщенных жирных кислот, различающихся по числу углеродных атомов, показал, что вклад этих компонентов в структурную организацию гликолипидов в различные сезоны года неодинаков (рис. 2).

Рис. 2. Содержание основных групп ненасыщенных жирных кислот в гликолипидах: *a* – от суммы жирных кислот; *б* – от суммы ненасыщенных; 1, 2, 3 – сумма C₁₆, C₁₈ и C₂₀ ненасыщенных



Вместе с тем в общем составе постоянно преобладали ненасыщенные кислоты с 18 атомами углерода. Зимой их число возрастало до максимума и оставалось на этом уровне до распускания молодой хвои. Несмотря на то, что эти же кислоты доминировали и в составе ненасыщенных кислот, до максимума (96 %) их доля возрастала только весной.

Анализируя сезонную динамику содержания индивидуальных соединений ненасыщенных жирных кислот типа C₁₈, нужно отметить, что уровень олеиновой кислоты в осенне-зимний период был стабилен – около 6 % от суммы жирных кислот, а весной в набухших почках снижался в 1,6 раза. Динамика содержания линоленовой кислоты оказалась противоположной: с сентября по май (в ходе органогенеза почек) ее количество в составе гликолипидов возрастало от 12 до 34 %.

Содержание линолевой кислоты в различные сезоны года изменялось от 16 до 30 %, возрастая до максимума зимой в состоянии низкотемпературной устойчивости меристем и снижаясь весной в набухших почках. По нашим данным, гликолипидам сосны в различные сезоны года присуще более высокое по сравнению с другими породами содержание линолевой кислоты (например, у лиственницы сибирской оно изменялось в пределах 6...22 %).

На рис. 3 наглядно продемонстрировано сезонное изменение соотношения олеиновая : линолевая : линоленовая кислоты в составе гликолипидов.

Совершенно очевидно, что эта группа ненасыщенных жирных кислот играет определяющую роль не только в структурной организации гликолипидов, но и в функциональном состоянии клеточных мембран в целом.

Известно, что повышение вязкости мембран при снижении температуры сопровождается индукцией экспрессии десатуразных генов, повышающих в клетке уровень ферментов – десатураз [5]. На сегодняшний день наиболее детально изучена экспрессия генов десатураз у цианобактерий [8, 13]. В адаптации высших растений к изменяющимся условиям окружающей среды десатуразы также играют важную роль, поскольку устойчивость растений к низкотемпературному воздействию коррелирует с наличием полиненасыщенных жирных кислот в структуре мембранных липидов [2, 6].

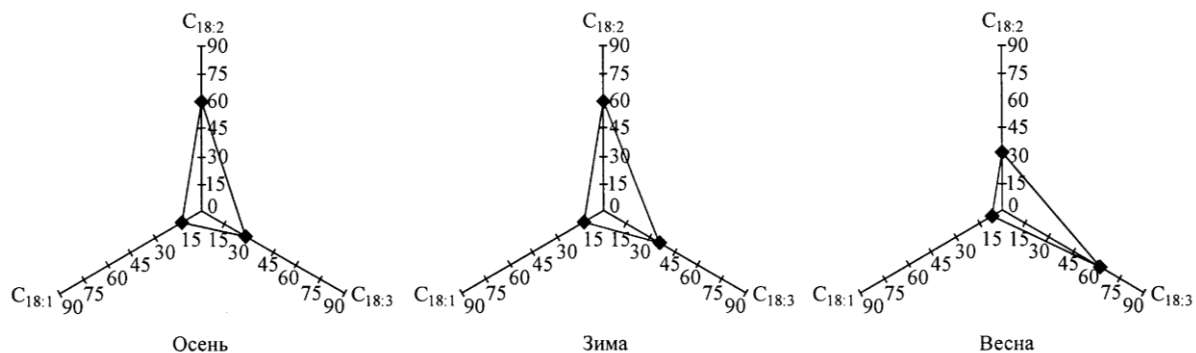


Рис. 3. Соотношение олеиновой ($C_{18:1}$), линолевой ($C_{18:2}$) и линоленовой ($C_{18:3}$) кислот в гликолипидах, % от их суммы

Роль жирнокислотных десатураз заключается в регуляции текучести липидного бислоя мембран посредством ускорения синтеза полиненасыщенных жирных кислот в мембранных липидах. Рассматривая текучесть мембран в качестве основного параметра, обеспечивающего их нормальное функционирование при низких зимних температурах, необходимо оценивать активность жирнокислотных десатураз. На сегодняшний день существует практика ее косвенной оценки на основании состава жирных кислот мембранных липидов [7, 11, 14].

Для выявления закономерностей биосинтеза важнейшей группы ненасыщенных жирных кислот гликолипидов исследовано изменение сезонной активности жирнокислотных $\omega 9$ -, $\omega 6$ - и $\omega 3$ -десатураз, катализирующих введение двойных связей в углеводородные цепи олеиновой ($C_{18:1}$), линолевой ($C_{18:2}$) и линоленовой ($C_{18:3}$) кислот. Величины стеароил- (SRD), олеил- (ORD) и линолеил- (LRD) десатуразных отношений приведены в таблице (относительная стандартная ошибка опыта не превышала 5 %).

К зиме стеароил- (SRD) десатуразное отношение повышалось до 0,63, следовательно, в состоянии низкотемпературной устойчивости для меристем сосны характерно определенное соотношение количества стеариновой и олеиновой кислот. Изменение соотношения стеариновой и олеиновой кислот в пользу стеариновой, наблюдавшееся в набухших почках, и, соответственно, снижение SRD до 0,38 в данном случае не свидетельствуют о снижении весной активности $\omega 9$ -ацил-АПБ-десатуразы.

Кажущееся противоречие легко объяснимо. В период вегетации в почках возрастала скорость введения третьей двойной связи в линолевую кислоту, поскольку количество последней увеличивалось до максимума.

Состав жирных кислот с 18 атомами углерода, % от суммы жирных кислот

Жирная кислота (десатуразное отношение)	Время отбора проб		
	Сентябрь	Декабрь	Май
Стеариновая ($C_{18:0}$)	5,58	3,50	5,93
Олеиновая ($C_{18:1}$)	5,65	5,93	3,67
Линолевая ($C_{18:2}$)	25,82	29,78	16,47
Линоленовая ($C_{18:3}$)	11,78	18,42	33,99
SRD	0,50	0,63	0,38
ORD	0,87	0,90	0,91
LRD	0,32	0,38	0,68

Одновременно на высоком уровне (0,92) оставалось и олеил- (ORD) десатуразное отношение. Но без высокой активности ацил-АПБ-десатуразы, обеспечивающей субстратом ω 3- и ω 6- ацил-липидные (мембранные)-десатуразы, последовательно образующие полиненасыщенные жирные кислоты с двумя и тремя связями, процессы дальнейшей десатурации жирных кислот просто невозможны. Поэтому весной снижение SRD связано, в первую очередь, с тем, что образующаяся олеиновая кислота быстро расходовалась на биосинтез высоконенасыщенных жирных кислот с 18 атомами углерода.

На протяжении всего периода исследования для сосны характерны высокие и относительно стабильные значения олеил- (ORD) десатуразных отношений (0,87...0,91), поскольку сумма линолевой и линоленовой кислот в гликолипидах в различных фенологических фазах развития почек значительно превосходила уровень содержания олеиновой кислоты.

В зимний период отмечалось некоторое увеличение ORD. Такая динамика показывает, что у сосны, как и у других высших растений [4], гены, кодирующие ω -ацил-липидную-десатуразу, активируются низкими температурами. Весной в набухших почках показатель несущественно отличался от зимнего значения (разница составляла менее 5 %), т. е. активность ω -ацил-липидной-десатуразы сохранялась на прежнем уровне.

Линолеил- (LRD) десатуразное отношение в осенне-зимний период у сосны было невысоким (0,32...0,38), что связано со значительно большей долей линолевой кислоты. Существенное изменение LRD происходило весной при набухании почек и формировании молодой хвои. Оно увеличивалось почти в два раза, что свидетельствует об экспрессии генов ω 3-ацил-липидной-десатуразы, ответственной за синтез линоленовой кислоты. В результате скорость введения третьей двойной связи в линолевою кислоту возрастала – количество линоленовой кислоты увеличивалось.

Таким образом, исследование индивидуального состава и содержания жирных кислот типа C₁₈ гликолипидов меристем сосны обыкновенной, анализ его сезонных изменений показали, что наиболее существенные трансформации в диглицеридной части молекул гликолипидов происходят при смене зимней фенологической фазы развития почек и связаны с переходом дерева от состояния покоя к активной вегетации:

в состоянии низкотемпературной устойчивости меристем уровень линолевой кислоты в 1,6 раза превышает уровень линоленовой, в 5 раз – олеиновой и составляет около 30 % от суммы жирных кислот. Вероятно, у сосны количество линолевой кислоты в составе гликолипидов является определяющим для формирования криозащищенной структуры мембран;

у сосны на мембранные механизмы криорезистентности меристем, регулирующие жирнокислотный состав гликолипидов, наиболее существенное влияние оказывает ω -ацил-липидная десатураза, ответственная за синтез линолевой кислоты. Сравнение величин олеил- (ORD – 0,89) и линолеил- (LRD – 0,38) десатуразных отношений показывает, что в зимний период ω 6-ацил-липидная-десатураза катализирует введение второй двойной связи в олеиновую кислоту вдвое интенсивнее, чем ω 3-ацил-липидная-десатураза – третьей двойной связи в линолевою;

весной у сосны в меристемах почек экспрессия генов ω 3-ацил-липидной-десатуразы, ответственной за синтез линоленовой кислоты, вызывает увеличение скорости введения третьей двойной связи в линолевою кислоту, в набухших почках LRD увеличивается практически вдвое. В результате гликолипиды, синтезирующие-

ся *de novo* при формировании фотосинтетического аппарата молодой хвои, преимущественно аккумулируют линоленовую кислоту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Сравнительная характеристика липидов меристем почек *Picea obovata* L. и *Pinus sylvestris* L. // Химия природных соединений. 2009. № 6. С. 666–669.
2. Ветчинникова Л.В. Карельская береза и другие редкие представители рода *Betula* L. М.: Наука, 2005. 269 с.
3. Кейтс М. Техника липидологии. М.: Мир, 1975. 322 с.
4. Лось Д.А. Десатуразы жирных кислот: Адаптивная экспрессия и принципы регуляции // Физиология растений. 1997. Т. 44. С. 528–540.
5. Лось Д.А. Молекулярные механизмы холодоустойчивости растений // Вестн. РАН. 2005. Т. 75. № 4. С. 338–345.
6. Фуксман И.Л., Саукконен А.А., Степанов А.А. Динамика жирнокислотного состава липидов почек сосны обыкновенной в связи с ее ростом // Химия древесины. 1987. № 6. С. 89–93.
7. Характеристика жирнокислотного состава липидов митохондриальных мембран некоторых видов злаков, различающихся устойчивостью к низким температурам / С.П. Макаренко [и др.] // Биологические мембраны. 2003. Т. 20. № 4. С. 301–306.
8. Alteration of Low-Temperature Susceptibility of the Cyanobacterium *Synechococcus* sp. PCC7002 by Genetic Manipulation of Membrane Lipid Unsaturation / T. Sakamoto [et al.] // Arch. Microbiol. 1998. Vol. 169. P. 20–28.
9. Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiology. 1959. Vol. 37. P. 911–917.
10. Carreau V.P., Dubaeq J.P. Adaptation of a Macro-Scale Method to the Micro-Scale for Fatty Acid Methyl Trans-esterification of Biological Lipid Extracts // J. Chromatogr. 1978. Vol. 151. P. 384–390.
11. Comparison of sense and antisense methodologies for modifying the fatty acid composition of *Arabidopsis thaliana* oilseed / M. E. Cartea [et al.] // Plant Science. 1998. Vol. 136. P. 181–194.
12. Folch J., Lees M., Stanley G.H. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem. 1957. Vol. 226, N 1. P. 497–509.
13. Los D.A., Murata N. Structure and Expression of Fatty Acid Desaturases // Biochim. Biophys. Acta. 1998. Vol. 1394. P. 3–15. 6
14. Yaworski, J.G., Stumpf P.K. Fat metabolism in higher plants properties of a soluble stearyl-acyl carrier protein desaturase from maturing *Carthamus tinctorius* // Arch. Biochem. Biophys. 1974. Vol. 162. P. 158–162. 7.

E.V. Alaudinova, P.V. Mironov
Siberian State Technological University

Scotch Pine: Membrane Lipids Metabolism of Bud Live Tissues

The seasonal variability of C₁₈ fatty acids composition of the molecule diglyceride part of Scotch pine glycolipids is investigated. The biosynthesis regularities of oleic, linoleic and linolenic acids are revealed by assessment of seasonal activity changes of ω9-, ω6- and ω3- fatty-acid desaturases.

Keywords: Scotch pine, glycolipids, fatty acids, ω9-, ω6- and ω3-fatty-acid desaturases.

УДК 630*521.3

А.А. Вайс

Сибирский государственный технологический университет

Вайс Андрей Андреевич родился в 1965 г., окончил в 1987 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геодезии Сибирского государственного технического университета. Имеет более 190 печатных работ в области таксации растущего дерева и экологического образования.
E-mail: vais6365@mail.ru

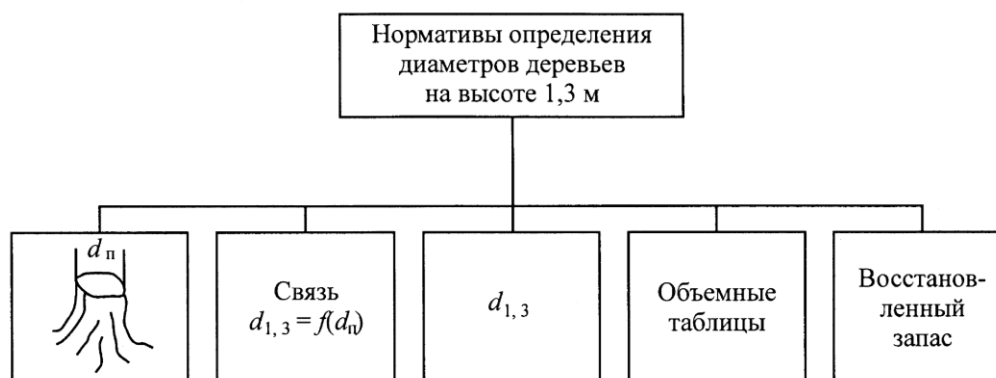


НОРМАТИВЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ ВЫРУБЛЕННЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПО ПНЯМ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ

Изучена регрессионная связь диаметров на высоте 1,3 м и на высоте пня для основных лесообразующих пород Сибири. Данная зависимость позволяет определить по пням запасы вырубленных древостоев, в том числе при незаконных рубках.

Ключевые слова: незаконные рубки, нормативы определения запасов, лесообразующие породы Сибири.

В последние годы широкое распространение получили незаконные рубки. В связи с этим остро стал вопрос об определении запаса срубленной древесины для наложения адекватных штрафных санкций. Для этого необходимо установить связь диаметров на высоте пня и на высоте 1,3 м, чтобы вычислить толщину срубленных деревьев и в дальнейшем с помощью стандартных таксационных методов определить запас (см. рисунок).



Цепочка определения запаса вырубленного древостоя по пням

Кроме того, необходимость составления нормативов для перехода от диаметров на высоте пня к диаметрам на высоте 1,3 м обусловлена другими целями: восстановления таксационной характеристики древостоя, произраставшего до рубки; приобретения навыков в глазомерном определении процента запаса и полноты удаленного при рубке древостоя [6]; установления объемов хлыстов и среднего диаметра [7]; изучения комлевого сбega [1]; проектирования мероприятий по обработке почвы на вырубках, обоснования конструктивных параметров лесохозяйственных машин и орудий [2, 5]; учета пневого осмола [4].

Таблица 1

Порода	Место взятия моделей	Число моделей, шт.
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	Зиминский, Эхирит-Булагатский районы Иркутской области; Енисейский район Красноярского края	1075
Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i> Ldb.)	Дзержинский, Пировский, Тасеевский, Бирилюсский районы Красноярского края; Эхирит-Булагатский, Ольхонский районы Иркутской области; Тоджинский, Туранский районы Республики Тыва	820
Пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i> Ldb.)	Северо-Енисейский, Абанский, Казачинский, Канский, Курагинский, Большемуртинский, Козульский, Дзержинский районы Красноярского края	1816
Ель сибирская (<i>Picea obovata</i> Ldb.)	Абанский, Казачинский, Большемуртинский, Тасеевский, Дзержинский районы Красноярского края	980
Береза пушистая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	Асиновский район Томской области; Большемуртинский район Красноярского края; Эхирит-Булагатский район Иркутской области	678
Осина (<i>Populus tremula</i> L.)	Емельяновский, Большемуртинский районы Красноярского края; Карасукский, Красноозерский районы Новосибирской области	421

Объекты и методы исследования. Данная статья посвящена изучению вопроса, связанного с разработкой норматива для определения диаметров на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$) по диаметрам на высоте пня (d_n). Решались следующие задачи:

- получение регрессионных моделей по лесорастительным районам;
- сравнение полученных результатов с данными других авторов.

В основу составленных таблиц положены данные обмеров учетных моделей основных лесообразующих пород Западной и Восточной Сибири, собранных по ступеням толщины в муниципальных районах [3] (табл. 1).

Экспериментальные исследования. На основе линейных моделей ($d_{1,3} = a + + bd_n$) получены местные нормативы (по муниципальным районам). Наибольшая разница в значениях по ступеням толщины у деревьев сосны составила 5, лиственницы – 19, пихты – 12, ели – 5, березы – 4, осины – 4 см. С изменением диаметров пней различия в значениях диаметров на высоте 1,3 м увеличиваются. На различия по муниципальным районам значительное влияние оказывают таксационные особенности древостоев. При объединении материала и построении единых нормативов по лесным районам помимо более устойчивой зависимости получены данные, которые характеризуют укрупненный лесной массив (лесной район) [3]. Параметры уравнений по лесным районам приведены в табл. 2 (в скобках приведены значения d_n).

Выровненные линии зависимости $d_{1,3} = a + bd_n$ из различных лесных районов Сибири и древесных пород были сопоставлены с данными других авторов.

Сосна. С возрастанием диаметров пней различие диаметров на высоте 1,3 м увеличивается. Самыми закомелистыми с учетом формы нижней части стволов оказались деревья в сосняках Среднесибирского подтаежно-лесостепного, затем Западно-Сибирского равнинно-таежного района. Для сосняков Иркутской области и европейской части России линии на графике фактически совпали. Наиболее полнодревесными являются деревья в сосняках бассейна р. Ангары.

Таблица 2

Порода	Лесной район	Параметры модели		
		Вид линейного уравнения	Основная ошибка, см	Коэффициент корреляции
Сосна обыкновенная	Среднесибирский подтаежно-лесостепной	$d_{1,3} = 1,6 + 0,777d_n$ (12...92 см)	3,4	0,960
	Западно-Сибирский равнинно-таежный	$d_{1,3} = 0,9 + 0,800d_n$ (12...88 см)	2,6	0,962
Лиственница сибирская	Среднесибирский подтаежно-лесостепной	$d_{1,3} = 2,7 + 0,675d_n$ (16...140 см)	4,8	0,941
	Алтае-Саянский горнолесостепной	$d_{1,3} = -0,7 + 0,909d_n$ (20...80 см)	3,1	0,976
	Байкальский горный	$d_{1,3} = -1,2 + 0,750d_n$ (16...40 см)	1,1	0,984
Пихта сибирская	Приангарский	$d_{1,3} = 2,7 + 0,717d_n$ (8...72 см)	2,7	0,958
	Среднесибирский подтаежно-лесостепной	$d_{1,3} = 2,9 + 0,717d_n$ (8...48 см)	3,1	0,933
	Алтае-Саянский горно-таежный	$d_{1,3} = -2,7 + 0,909d_n$ (12...60 см)	2,6	0,952
Ель сибирская	Приангарский	$d_{1,3} = 2,5 + 0,611d_n$ (8...68 см)	2,5	0,948
	Среднесибирский подтаежно-лесостепной	$d_{1,3} = 2,2 + 0,681d_n$ (12...72 см)	2,8	0,939
Береза пушистая	Среднесибирский подтаежно-лесостепной	$d_{1,3} = -0,1 + 0,0750d_n$ (8...60 см)	2,3	0,950
	Западно-Сибирский равнинно-таежный	$d_{1,3} = 5,5 + 0,512d_n$ (16...32 см)	1,5	0,899
Осина	Западно-Сибирский подтаежно-лесостепной (колковые леса)	$d_{1,3} = -2,0 + 0,822d_n$ (6...52 см)	1,2	0,988
	Среднесибирский подтаежно-лесостепной	$d_{1,3} = -0,6 + 0,906d_n$ (4...40 см)	1,1	0,991

Примечание. Коэффициенты a и b значимы, так как $p_i < 0,05$. Все модели достоверны по критерию Фишера ($F_{\text{ф}} > F_{\text{таб}}$).

Лиственница. Форма графиков аналогична сосне. Самыми закомелистыми были стволы лиственницы Среднесибирского подтаежно-лесостепного района, наиболее полнодревесными – деревья Алтае-Саянского горно-лесостепного района.

Пихта. Линии на графике имели координату пересечения ($d_{п} = 28$ см, $d_{1,3} = 22$ см). Самыми закомелистыми являлись деревья пихты Приангарского лесного района, наиболее полнодревесными – Алтае-Саянского горно-таежного лесного района.

Ель. Зависимости аналогичны сосне и лиственнице. Самыми закомелистыми оказались деревья ели Приангарского района, наиболее полнодревесными – стволы ели европейской части России.

Береза. Наблюдалась высокая степень совпадения сравниваемых линий.

Осина. Линии на графике расположились компактно. Самыми полнодревесными были стволы южно-таежной зоны Средней Сибири, произрастающие в смешанных естественных насаждениях. Деревья колковых лесов порослевого происхождения характеризовались максимальной сбежистостью. Остальные линии занимали промежуточное положение.

Выводы

1. В настоящее время нормативы для определения диаметров на высоте 1,3 м приобретают большое значение в связи с ростом числа незаконных рубок.
2. По отдельным муниципальным районам различия в диаметрах, рассчитанные по уравнению $d_{1,3} = a + bd_{п}$, могут быть значительными.
3. Целесообразно разрабатывать нормативы по укрупненным лесным районам.
4. Сравнительный анализ показал, что создание единых нормативов возможно только для маломерных и среднемерных стволов, для крупномерных деревьев необходимо использовать местные таблицы.
5. Применительно к листовным породам (береза и осина) можно использовать единые нормативы в зависимости от происхождения (семенные, порослевые) и категории лесов (естественные, колковые).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев И.И. Форма древесных стволов ели Европейского Севера и ее математическая модель // Лесная таксация и лесоустройство: межвуз. сб. науч. тр. по лесн. хоз-ву. Красноярск, 1975. С. 3–10.
2. Марцинковский Л.А. О зависимости между диаметрами деревьев лиственницы на высоте пня и на высоте груди // Лиственница: сб. науч. тр. Красноярск: СТИ. 1964. № 39. С. 15–17.
3. Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации: Приказ МПР РФ от 28 марта 2007 г. № 68. 12 с.
4. Серяков А.П. Сырьевые ресурсы пневого осмола и их таксация на вырубках среднетаежных сосняков Иркутской области: автореф. дис. ... канд. с-х. наук: Красноярск, 1987. 20 с.
5. Титаренко Ю.А. Определение некоторых параметров пней на вырубках горных дубрав // Молодые ученые к юбилею ин-та: тр. науч. конф. М.: ВНИИлесоводства и механиз. лесн. хоз-ва. Деп. в ЦБНТИлесхоз от 23 дек. 1983 г. № 263 лх-83.

6. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. Л.: Гослесбумиздат, 1952. 852 с.

7. Фалалеев Э.Н. Пихтовые леса Сибири и их комплексное использование. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 189 с.

A.A. Vice
Siberian State Technological University

Standards for Determination of Cut Stands Resources according to Stumps in Condition of Siberia

The regression dependence of diameters at 1.3 m height and stump height for the main forest species is studied. The given dependence allows to determine the cut stands resources including the volume cut under illegal cutting.

Keywords: illegal cutting, standards for determining resources, forest species of Siberia.

УДК 630*181.28

Л.Н. Сунцова, Е.М. Иншаков, Е.В. Козик

Сибирский государственный технологический университет

Сунцова Людмила Николаевна родилась в 1956 г., окончила в 1979 г. Красноярский государственный университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры дендрологии Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 70 печатных работ по проблеме влияния условий городской среды на состояние древесных растений.
Тел.: 8 (391) 2-271-928



Иншаков Евгений Михайлович родился в 1962 г., окончил в 1984 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой дендрологии, декан лесохозяйственного факультета Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 50 печатных работ по проблеме влияния условий городской среды на состояние древесных растений.
Тел.: 8 (391) 2-271-928



Козик Евгения Викторовна родилась в 1986 г., окончила в 2009 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант, ассистент кафедры дендрологии СибГТУ. Имеет 11 печатных работ по проблеме состояния древесных растений в насаждениях общего пользования г. Красноярска.
Тел.: 8 (391) 2-271-928



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ МЕТОДОМ ФИТОИНДИКАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ г. КРАСНОЯРСКА)

Изучено влияние техногенной среды на физиологические особенности некоторых видов древесных растений. Обнаружена зависимость между водоудерживающей способностью листьев и степенью загрязнения мест произрастания растений. Выявлены наиболее информативные виды для целей фитоиндикации в условиях Красноярска, определены районы с наиболее интенсивной степенью техногенного воздействия.

Ключевые слова: древесные растения, фитоиндикация, листья, водоудерживающая способность, экологическое загрязнение, адаптация.

В настоящее время особенно остро стоит проблема улучшения качества среды обитания в крупных промышленных центрах. Общеизвестна роль зеленых насаждений как основного фактора стабилизации экологической обстановки в городе. С этой точки зрения весьма актуальна разработка методов оценки состояния древесных насаждений и методов оценки состояния окружающей среды для анализа экологических ситуаций [4, 5, 7, 8].

В задачу мониторинга состояния зеленых насаждений входит прогноз вероятного развития, с одной стороны, ситуации по сохранению жизнеспособности растений, с другой – экологической опасности. Используя методы фитоиндикации, можно осуществлять экологическое зонирование урбанизированных территорий, т. е. выявлять зоны сильного загрязнения среды.

Уровень загрязнения атмосферы г. Красноярска характеризуется как «очень высокий», преобладают в больших среднегодовых концентрациях бензаперен, формальдегид, сероуглерод, оксид углерода, диоксид азота, фенол, фтористый водород, аммиак, бензол, ксилол, толуол и взвешенные вещества [1]. Содержание многих вредных веществ в атмосфере города существенно превышает ПДК, так, взвешен-

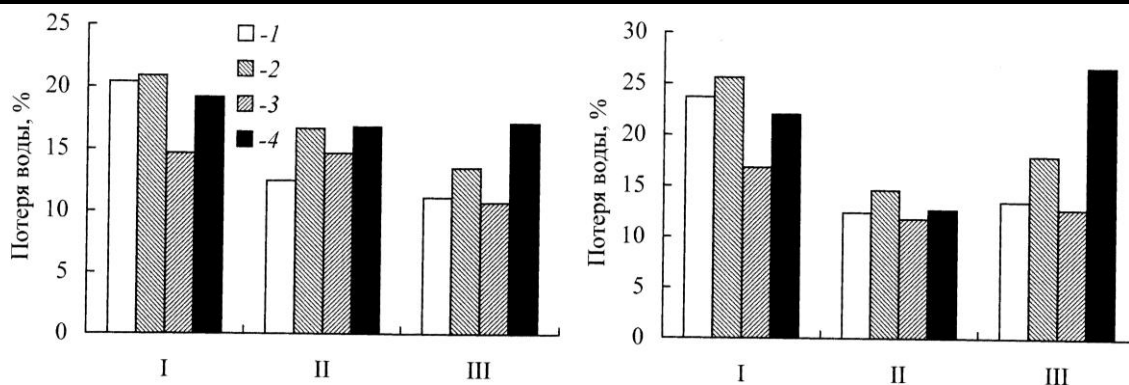
ных частиц, сероводорода, диоксида азота, оксида углерода, хлористого водорода, формальдегида, бензола, толуола больше в 5–10 раз [1]. Основными источниками загрязнения являются предприятия теплоэнергетики, металлургии, деревообработки, химической промышленности, автотранспорт.

Устойчивость растений к техногенному загрязнению определяется способностью к изменению физиологических процессов, играющих основную роль в адаптации к экстремальным факторам окружающей среды. В условиях урбанизированной среды у растений снижается ассимиляционная активность, содержание хлорофилла, изменяется кислотность клеточного сока и активность ферментов, нарушается водный режим [4, 9]. Установлено влияние вредных газов на проницаемость клеточных мембран [5]. Промышленные газы вызывают окислительное разрушение биомембран клеток мезофилла, и листья быстрее теряют воду. На стабилизации внутриклеточных структур существенно сказывается способность клеток удерживать воду. В этом случае говорят о водоудерживающей способности листьев растений, которая находится в обратной зависимости от проницаемости мембран. Содержание и состояние воды в клетках и тканях могут выступать критерием оценки устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды [5].

Рядом авторов показано, что скорость потери воды изолированными листьями растений коррелирует со степенью загрязнения воздуха и может служить показателем качества среды [5, 7, 9]. Исследованиям по фитомониторингу городской среды в России посвящен ряд работ [3, 5, 8, 9], однако для регионов Сибири этот вопрос исследован недостаточно. Очевидно, что выбор наиболее информативного биоиндикационного признака и вида-фитоиндикатора должен решаться с учетом специфических экологических и физико-географических условий произрастания.

Целью настоящих исследований явилось изучение влияния техногенной среды на водоудерживающую способность листьев некоторых видов древесных растений в условиях г. Красноярска, выявление наиболее информативных видов для целей фитоиндикации. Объектами исследования служили зеленые насаждения общего пользования, расположенные в различных районах города, отличающихся уровнем техногенного загрязнения. Парки «Космонавтики» и «Троя» находятся соответственно в микрорайонах Зеленая роща и Октябрьский, характеризующихся как густонаселенные, с большим транспортным потоком. Сквер «Баджей» (микрорайон Ленинский) расположен на правом берегу р. Енисей, где в основном сосредоточены промышленные предприятия г. Красноярска. Контролем служили посадки дендрария Института леса, находящегося в условно экологически чистом районе города, удаленном от выбросов промышленных предприятий.

Водоудерживающую способность листьев устанавливали по методике В.С. Николаевского, основанной на определении скорости потери воды изолированными листьями в течение некоторого периода времени [5]. На аналитических весах взвешивали пробы листьев через 3 ч после их изолирования и рассчитывали потерю воды в процентах от первоначальной массы. Материал собирали в два этапа (июль, август 2010 г.). На каждой пробной площади было выбрано по 10 средневозрастных генеративных модельных деревьев яблони сибирской (*Malus sylvestris* Mill.), черемухи Маака (*Padus maackii* Kom.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.), возраст которых определяли по методике Т.А. Работнова и А.А. Уранова [6]. У всех модельных деревьев с южной стороны средней части кроны срезали по 5 годичных побегов, с каждого из них отбирали по 5 листьев.



Потеря воды листьями исследуемых видов через 3 ч после изолирования в июле (а) и августе (б): I – яблоня сибирская; II – черемуха Маака; III – береза повислая; 1 – парк «Космонавтики»; 2 – парк «Троя»; 3 – сквер «Баджей»; 4 – дендрарий Института леса

В результате проведенных исследований выявлено, что водоудерживающая способность листьев исследуемых видов в июле находится в тесной зависимости от места произрастания (рис. а). В условиях интенсивного промышленного загрязнения (сквер «Баджей») потеря воды листьями березы повислой составила 62,6 % от контроля, у яблони сибирской и черемухи Маака – 76,6 и 87,5 % соответственно.

Для насаждений, произрастающих в парке «Троя», увеличение водоудерживающей способности относительно контроля обнаружено только у березы повислой. У яблони сибирской и черемухи Маака данный показатель снизился. В парке «Космонавтики» скорость потери воды листьями яблони сибирской возросла, в то время как у березы повислой и черемухи Маака снизилась (рис. а).

Обнаружена и видовая специфичность адаптации растений к условиям произрастания. Водоудерживающая способность листьев березы повислой относительно контроля увеличилась на всех объектах исследования и зависела от района произрастания (рис. а). Наименьшая потеря воды листьями яблони сибирской отмечена только в сквере «Баджей», а у черемухи Маака еще и в парке «Космонавтики».

Особенности потери воды листьями исследуемых видов сохранились и в августе (рис. б). Увеличение водоудерживающей способности листьев в различные периоды вегетации в парках «Космонавтики», «Троя» и в сквере «Баджей» характеризует возможности адаптации растений к условиям загрязнения.

Тем не менее, в конце вегетационного периода водоудерживающая способность листьев яблони сибирской и березы повислой снизилась. Потеря воды листьями этих пород по сравнению с данными июля в парке «Космонавтики» возросла на 3,3 и 2,4 %, в парке «Троя» – на 4,7 и 4,5 %, в сквере «Баджей» – на 2,1 и 1,1 %, в контроле – на 2,8 и 9,6 % соответственно. Это обусловлено как процессами естественного старения клеточных мембран, которые к концу вегетационного периода уже не способны эффективно контролировать процесс потери воды, так и загрязнением мембран и клеток токсичными соединениями, накопленными в течение вегетационного периода.

Напротив, у черемухи Маака по окончании вегетационного периода водоудерживающая способность листьев увеличилась. По данным В.С. Николаевского, у видов, устойчивых к загрязнению воздуха, уменьшается апертюра устьиц и снижается скорость потери воды, а у неустойчивых очень слабо изменяется апертюра устьиц и резко увеличивается потеря воды [3, 4]. Повышение водоудерживающей способности листьев у черемухи Маака свидетельствует о большей устойчивости данного вида к условиям городской среды.

Исследованиями показано, что водоудерживающую способность листьев можно использовать как метод фитоиндикации. В качестве биоиндикаторов предложены наиболее чувствительные виды – ясень пенсильванский и жимолость татарская [4]. Согласно нашим данным наиболее чувствительным к фитотоксикантам, а значит, и более информативным видом для целей фитоиндикации в условиях г. Красноярска, является береза повислая. Этот вид обладает большой пластичностью (способен адаптироваться к условиям произрастания) и высокой чувствительностью к загрязнению [2, 5]. По степени увеличения экологического загрязнения исследуемые территории г. Красноярска распределились следующим образом: Октябрьский район (парк «Троя») – Зеленая роща (парк «Космонавтики») – Ленинский район (сквер «Баджей»).

Таким образом, в результате проведенных исследований обнаружена тесная зависимость между водоудерживающей способностью листьев и степенью загрязнения мест произрастания растений. Наиболее чувствительным биоиндикатором оказалась береза повислая, а водоудерживающую способность листьев можно использовать в качестве показателя экологической ситуации городов Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2007 году»
2. Козик Е.В., Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М. Физиологические особенности древесных растений в условиях урбанизированной среды г. Красноярска // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. Брянск: БГТА, 2010. Вып. 26. С. 139–141.
3. Неверова О.И., Еремеева Н.И. Опыт использования биоиндикаторов в оценке загрязнения окружающей среды: аналит. обзор. Новосибирск, 2006. 88 с.
4. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 280 с.
5. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
6. Работнов Т.А. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии // Проблемы ботаники. 1950. Вып. 1. С. 465–483.
7. Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М. Древесные растения в условиях техногенной среды // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 1. С. 95–99.
8. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
9. Чернышенко О.В. Древесные растения как аккумуляторы и показатели загрязнения атмосферы // Мониторинг состояния лесных и городских экосистем: моногр. / под ред. В.С. Шалаева, Е.Г. Мозолева. М.: МГУЛ, 2004. С. 219–230.

L.N. Suntsova, E.M. Inshakov, E.V. Kozik
Siberian State Technological University

Assessment of Urban Environment State by Phytoindication Method (based on example of Krasnoyarsk)

The effect of anthropogenic environment on physiological peculiarities of some species of woody plants is studied. The dependence between water retentivity of leaves and pollution degree of plants growth places is detected. The most informative species are revealed for phytoindication in the conditions of Krasnoyarsk, the districts with the highest degree of anthropogenic effect are determined.

Keywords: woody plants, phytoindication, leaves, water retentivity, environmental pollution, adaptation.

УДК 630*5

С.Л. Шевелев, Н.С. Немич, П.В. Михайлов

Сибирский государственный технологический университет

Шевелев Сергей Леонидович родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и геодезии Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 печатных работ в области таксации и лесоустройства.
E-mail: taksator@sibstu.kts.ru



Немич Николай Семенович родился в 1949 г., окончил в 1975 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геодезии Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 50 печатных работ в области таксации и лесоустройства.
E-mail: nns-11@yandex.ru



Михайлов Павел Владимирович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры лесной таксации, лесоустройства и геодезии СибГТУ. Имеет 2 печатные работы в области таксации и лесоустройства.
E-mail: taksator@sibstu.kts.ru



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

Рассмотрен ряд мероприятий правового, научного и практического характера, необходимых для совершенствования основ эксплуатации недревесных ресурсов леса.

Ключевые слова: комплексное использование лесов, недревесные ресурсы, таксация, лесоустройство.

Для Красноярского края проблема комплексного использования лесов весьма актуальна, так как он считается одним из наиболее лесных регионов России, но в то же время не обладает достаточно отработанной системой ведения хозяйства, позволяющей эффективно использовать недревесные ресурсы леса.

В сельской местности Красноярского края серьезной *социально-экономической проблемой является наличие свободной рабочей силы*. Расширение заготовки пищевых и лекарственных ресурсов леса послужит экономически эффективным способом повышения доходов населения, обеспечения сезонной и частично постоянной занятости, будет способствовать развитию мелкого товарного производства, малого предпринимательства.

Наиболее перспективными видами для заготовки являются: кедровый орех, съедобные грибы, папоротник, брусника, черника, клюква, жимолость алтайская, малина обыкновенная, смородина красная, смородина черная, бадан толстолистный, левзея сафлоровидная и др. Биологические запасы сырья достаточны для организации промысловых заготовок продуктов из дикорастущих растений, о чем свидетельствуют исследования ученых СибГТУ [2, 5–8]. Однако организация этой деятельности невозможна без ряда мероприятий правового, научного и практического харак-

тера, реализация которых позволит усовершенствовать правовые основы эксплуатации недревесных ресурсов леса, разработать методы учета сырья и прогнозирования потенциальной продуктивности промышленных зарослей дикоросов, предложить технологические схемы и оборудование по переработке пищевого и лекарственного сырья.

Согласно ст. 32 и 34 Лесного кодекса 2006 г. (далее ЛК) [1] заготовка и сбор недревесных лесных ресурсов, а также пищевых ресурсов и сбор лекарственных растений представляют собой предпринимательскую деятельность. Она возможна только на основании аренды лесных участков. Так как лесной участок рассматривают, прежде всего, как земельный и объект недвижимости, то его аренда возможна только один раз. Поэтому если участок взят в аренду для заготовки древесины, то на нем нельзя организовать, например, промысловую заготовку пищевых лесных ресурсов и сбор лекарственных растений.

Выход из этого юридического и хозяйственного тупика нам видится в передаче лесных участков в аренду только для комплексного их использования. Арендный договор должен предусматривать все целесообразные и возможные его виды. Только в этом случае при проектировании участков и составлении планов освоения возможно согласование взаимоисключающих вариантов использования лесов. Осуществлять все виды арендатор может самостоятельно, или передать один из них в субаренду, или заключить договоры на выполнение отдельных видов работ, например сбор ягод, грибов, лекарственных растений.

Важным аспектом в организации эксплуатации недревесных ресурсов леса является разработка критериев выделения лесных участков, передаваемых в аренду для осуществления многоцелевого лесопользования. Размер арендной платы можно установить только на основе точных сведений о возможных объемах заготовки. Их можно получить натурной таксацией при лесоустройстве или в ходе специальных обследований. Данные, определенные по косвенным показателям, – тип леса, характеристика древостоя (состав, возраст, полнота), количество подроста – будут достаточно усредненными и не пригодными для установления арендной платы за конкретный участок.

В «Лесостроительной инструкции» [3] говорится, что «при таксации лесов может осуществляться учет пищевых лесных и лекарственных растений». Эта необязательность привела к тому, что подобные работы проводятся очень редко. Так как значительную часть лесостроительных работ (в частности таксацию леса) предполагается передать на региональный уровень, необходимо разработать правила по проведению лесоустройства для отдельных субъектов федерации, в которых учет недревесных и пищевых ресурсов, лекарственных растений был бы обязателен. Там же следует изложить перечень показателей, отражаемых в таксационных описаниях, приемлемые для данного региона методы и нормативы, по которым должен проводиться учет.

Для определения арендной платы важно разделение выделов на доступные и недоступные, промысловые и непромысловые. Методика [4] не учитывает местных природных и экономических условий, поэтому необходимо разрабатывать региональные критерии.

Положения ст. 11 ЛК [1] по-прежнему не имеют однозначного толкования. Многие юристы считают, что граждане, заготовившие для собственных нужд недревесные, пищевые ресурсы и лекарственные растения, вправе распоряжаться ими по собственному усмотрению, а именно продать, сдать на заготовительный пункт и т. п.

Также оспаривается как противоречащее федеральным законам положение местных законов о предельных объемах заготовки для собственных нужд. Выход видится только один – внесение в ЛК положений о запрете заготовки и сбора недревесных и пищевых лесных ресурсов и сбора лекарственных растений для собственных нужд на лесных участках, переданных в аренду для этих целей

Для решения поставленных задач необходимо создать основы нормативной базы оценки и учета сырья и прогнозирования потенциальной продуктивности дикоросов, разработать схемы зонирования лесов Красноярского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесной кодекс Российской Федерации/Рослесхоз. М: Рослесхоз, 2006. Режим доступа: <http://rosleshoz.gov.ru>.
2. Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири / сост. С.Л. Шевелев [и др.]; науч. ред. С.Л. Шевелев. М.: ВНИИЛМ, 2002. 166 с.
3. Лесоустроительная инструкция/Рослесхоз. М.: Рослесхоз, 2008. Режим доступа: <http://rosleshoz.gov.ru>.
4. Методика выявления дикорастущих сырьевых ресурсов при лесоустройстве. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1987. 56 с.
5. Палкин А.И. Продуктивность ягодных растений и грибов в сосновых лесах левобережья Енисея в связи с экологическими условиями: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1974. 16 с.
6. Шевелев С.Л. Таксация некоторых видов недревесного сырья в кедровниках орехопромысловой зоны Хакасии // Лесн. таксация и лесоустройство: межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1989. С. 4–10.
7. Шевелев С.Л. Ресурсы лекарственных и пищевых растений в кедровниках юга Красноярского края и Хакасии // Тр. первой Всерос. конф. по ботанич. ресурсоведению. СПб., 1996. С. 62–63.
8. Шевелев С.Л., Подколзин А.В., Немич Н.С. Пути организации многоцелевого лесопользования в новых экономических условиях // Лесн. таксации и лесоустройство. Красноярск, 2005. С. 32–35.

S.L. Shevelev, N.S. Nemich, P.V. Mikhailov
Siberian State Technological University

Improvement of Multipurpose Forest Use in Krasnoyarsk Krai

A number measures of legal, scientific and practical nature is considered necessary for improving the basic use of non-wood forest resources.

Keywords: multipurpose forest use, non-wood forest products, inventory, forest management.

УДК 630.232(571.513)

О.П. Ковылина, Н.В. Ковылин

Сибирский государственный технологический университет

Ковылина Ольга Павловна родилась в 1956 г., окончила в 1978 г. Сибирский технологический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры лесных культур Сибирского государственного технологического университета. Имеет 130 печатных работ в области лесных культур, защитного лесоразведения и экологии.

E-mail: ak_747@mail.ru



Ковылин Николай Владимирович родился в 1956 г., окончил в 1978 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур Сибирского государственного технологического университета. Имеет 170 печатных работ в области лесокультурного производства.

E-mail: ak_747@mail.ru



ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И РОСТА ПОЛОСНЫХ И МАССИВНЫХ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ СУХОЙ СТЕПИ

Представлены результаты обследования полосных и массивных насаждений сосны обыкновенной, созданных в условиях сухой степи. Показаны различия в сохранности и росте сосны. Культуры находятся в удовлетворительном состоянии, но требуют проведения лесоводственных уходов.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, полосные насаждения, массивные насаждения, сухая степь.

Исследования на юге европейской части страны показали, что в лесостепной зоне не происходит массовой гибели искусственных насаждений сосны обыкновенной, в то время как в степной массовое отмирание культур увеличивается от пояса обыкновенных черноземов к поясу светло-каштановых почв, т. е. по мере сокращения годовой суммы осадков, роста, частоты и продолжительности засушливых периодов [3].

Обследование состояния и роста полосных и массивных насаждений сосны обыкновенной проводилось в условиях Ширинской степи. Первый участок – чистое трехрядное насаждение сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – размещается на границе между пахотными и пастбищными землями. Оно создано весной 1963 г. посадкой 2-летних сеянцев с использованием ручных инструментов по сплошь обработанной примитивной переветренной супесчаной незасоленной почве. Сеянцы выращены из семян Минусинского лесхоза в местном питомнике. Густота посадки 3,3 тыс. шт./га., схема 3 × 1 м. Весной 1964 г., на второй год после посадки, проведено дополнение почти в 50 % посадочных мест, где в течение зимы саженцы погибли из-за засекания хвои ветропесчаным потоком. Ежегодно (вплоть до 1994 г.), один раз за период вегетации, проводили обработку почвы на закрайках насаждения с применением сельскохозяйственных плугов, в основном в противопожарных целях. Второй участок – чистое насаждение сосны обыкновенной, созданное весной 1964 г. густой посадкой 2-летних сеянцев сосны вручную после сплошной обработки почвы, на неглубоком выдуве. Густота посадки 38,8 тыс. шт./га, схема 0,3 × 0,86 м. Уходы за насаждением не проводились, на 4-й год деревья сомкнулись. Насаждения являются

экспериментальными объектами Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН [2]. Лесоводственно-таксационное описание, расчет текущего и среднего приростов выполняли по общепринятой методике. Биометрические и весовые характеристики побегов и хвои определяли по моделям и модельным ветвям [1].

Изучение особенностей строения искусственных насаждений показало, что опушечные деревья наиболее устойчивы и долговечны. Средняя высота сосны в биологическом возрасте 48 лет достигает $10,1 \pm 0,06$ м, диаметр ствола – 17 ± 1 см, диаметр кроны – $3,7 \pm 0,31$ м, высота очищения от сучьев – $2,1 \pm 0,09$ м. В наветренном ряду полосных насаждений наибольший диаметр ствола на высоте 1,3 м составляет 31,3 см, во втором – 24,3 см, в третьем подветренном – 27,8 см.

Таблица 1

Распределение деревьев, шт./%, по категориям состояния кроны в сосновой полосе

Номер ряда	Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные	Усыхающие и сухостой	Всего
1	$\frac{10}{19,2}$	$\frac{19}{36,5}$	$\frac{23}{44,3}$	–	$\frac{52}{100}$
2	$\frac{3}{4,5}$	$\frac{6}{9,0}$	$\frac{52}{77,5}$	$\frac{6}{9,0}$	$\frac{67}{100}$
3	$\frac{3}{3,7}$	$\frac{13}{16,0}$	$\frac{64}{79,0}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{81}{100}$
Итого	$\frac{16}{8,0}$	$\frac{38}{19,0}$	$\frac{139}{69,5}$	$\frac{7}{3,5}$	$\frac{200}{100}$

Наименьшая сохранность сосны обыкновенной наблюдается в первом наветренном ряду (52,0 %), наибольшая в третьем подветренном (77,1 %), в целом по полосе 64,6 %. У опушечных деревьев толще стволы, лучше развиты кроны и корневые системы, что способствует повышению их жизнеспособности. В опушечных рядах средний диаметр ствола изменяется от $17,0 \pm 0,48$ до $19,8 \pm 0,58$ см, средний диаметр кроны – от $3,7 \pm 0,11$ до $4,2 \pm 0,14$ м, средний объем кроны – от $7,9 \pm 0,33$ до $9,5 \pm 0,38$ м³; в среднем ряду соответственно $15,2 \pm 0,50$ см, $3,1 \pm 0,12$ м и $6,7 \pm 0,37$ м³. Оценка жизненного состояния деревьев по кроне среднего ряда составляет 53,2 %, опушечных рядов 57,7...68,9 %. При анализе сохранности деревьев в насаждении важно не только общее число сохранившихся деревьев, но и распределение их по категориям состояния, которое зависит от расположения в ряду. Количество здоровых деревьев в полосе изменяется от 3,7 до 19,2 %, ослабленных от 9,0 до 36,5 %, сильно ослабленных от 44,3 до 79,0 %, усыхающих и сухостоя от 1,3 до 9,0 % (табл. 1).

Наибольшее количество здоровых деревьев наблюдается в первом наветренном ряду (19,2 %), в то же время в нем сохраняется меньше деревьев, чем в других рядах полосы, что связано с интенсивным отпадом деревьев низших классов роста и развития на начальном этапе формирования насаждения. Количество сильно ослабленных деревьев больше во втором и третьем рядах (77,5...79,0 %). К категории здоровых деревьев по высоте можно отнести 62,0 % всех деревьев в полосе, по диаметру и площади сечения ствола – 48,5 %, по площади и объему кроны – соответственно 42,0 и 48,0 %. Исследования также показали, что изреживание культур способствует увеличению размеров крон и массы ассимилирующего аппарата древесных растений. Особенно чутко на улучшение светового режима реагирует хвоя прошлых лет [4].

В полосных посадках за последние пять лет прирост боковых ветвей изменялся от $2,5 \pm 0,50$ до $5,4 \pm 0,98$ см. Число пучков хвои на боковых побегах в среднем составляет 23...26 шт., наибольшее на побегах текущего года (1-го порядка – $39,0 \pm 3,1$ шт., 2-го порядка – $31,7 \pm 3,0$ шт.), длина хвои изменяется от $4,5 \pm 0,15$ до $4,9 \pm 0,16$ см. В засушливые годы длина хвои уменьшается в 1,5–2,0 раза, на побегах 1-го порядка до $3,4 \pm 0,13$ см, 2-го порядка – до $2,8 \pm 0,17$ см. Соотношение массы побегов 2-го и 1-го порядков составляет 1:2,6; массы хвои – 1:1,3.

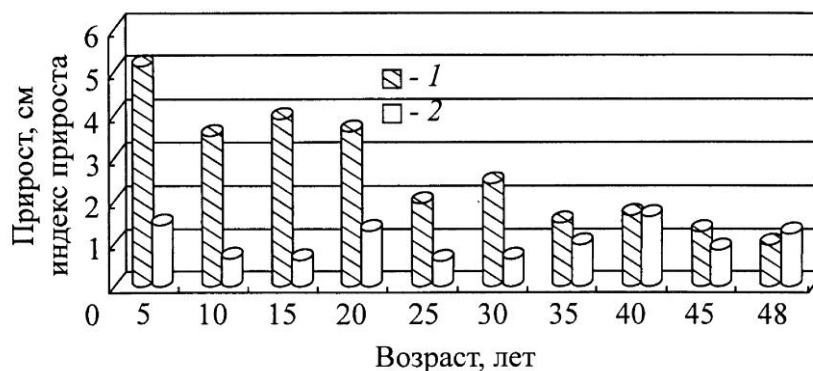
В массивных насаждениях сохранность сосны обыкновенной ниже, чем в полосных, и составляет 57,3 % (табл. 2). Наибольшая она в шестом и седьмом рядах (67,8...72,4 %), наименьшая во втором и третьем (40,2...44,0 %). Отсутствие деревьев в центральной части насаждения связано с их отпадом от снеголома в первые годы создания насаждения. Низкая сохранность вызвана реакцией растений на загущение (небольшую площадь питания). При изучении строения древостоев большой интерес представляет варьирование высот, диаметра и других показателей. Средняя высота деревьев изменяется от $6,2 \pm 0,64$ до $8,7 \pm 0,23$ м, средний диаметр от $8,3 \pm 1,09$ до $10,7 \pm 0,99$ см, средняя высота очищения от сучьев от $2,0 \pm 0,08$ до $4,2 \pm 0,38$ м. В целом по насаждению наибольший коэффициент варьирования отмечается у высоты очищения от сучьев, наименьший у высоты дерева.

Таблица 2

Сохранность сосны в массивных посадках

№ ряда	Сохранность		№ ряда	Сохранность	
	шт.	%		шт.	%
1	14	60,9	5	18	64,3
2	11	44,0	6	19	67,8
3	10	40,2	7	21	72,4
4	13	48,1	Всего	106	57,3

Прирост боковых ветвей в массивных насаждениях изменяется от $5,9 \pm 0,57$ до $6,7 \pm 0,92$ см. Число пучков хвои на боковых побегах 1-го порядка составляет 51 шт., 2-го порядка – 30 шт., средняя длина хвои соответственно $5,6 \pm 0,14$ и $5,5 \pm 0,15$ см. Наибольшее число пучков хвои на боковых побегах наблюдается в массивных посадках – 74 шт., в полосных – 56 шт. Соотношение массы побегов 2-го и 1-го порядков составляет 1:1,4, массы хвои – 1:1,2. В массивных посадках уменьшается соотношение массы боковых побегов и хвои по сравнению с полосными насаждениями.



Динамика роста сосны по диаметру у основания ствола: 1 – прирост, 2 – индекс прироста

В изменении текущего и среднего приростов таксационных показателей деревьев с возрастом проявляются определенные закономерности. Прирост измеряли по четырем взаимно перпендикулярным радиусам. Интенсивность прироста по диаметру закономерно снижалась в зависимости от возраста культур (см. рисунок).

Расчет среднего индекса прироста за пятилетний период показал, что в биологическом возрасте 48 лет он остается больше 1,0, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии искусственных насаждений. Индекс прироста диаметра на высоте 1,3 м имеет ту же тенденцию.

К искусственным насаждениям, произрастающим в условиях сухой степи, на переветренных супесчаных почвах и выдувах предъявляются определенные требования. Они должны быстро расти в высоту, быть долговечными и устойчивыми, сохранять архитектуру кроны, обладать способностью к возобновлению. Средний показатель семеношения полосных насаждений составляет 3,1 балла. Однако в настоящее время исследуемые полосные и массивные насаждения не имеют естественного возобновления. Они находятся в удовлетворительном состоянии, выполняют основные защитные, экологические и рекреационные функции. Загущенные массивные посадки приводят к ухудшению сохранности и роста сосны обыкновенной, в настоящее время они требуют проведения лесоводственных уходов в несколько этапов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхунов П.М., Черных В.Л.* Таксация леса: учебное пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 396 с.
2. Выращивание лесных полос в степях Сибири / Е.Н. Савин [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 102 с.
3. *Манаенко А.С.* Основа устойчивости сосны при неустойчивом увлажнении // Лесн. хоз-во. 2002. № 4. С. 35–38.
4. *Штукин С.С.* Лесовосстановление и лесовыращивание на дренированных почвах // Лесн. хоз-во. 2001. № 4. С. 14–15.

O.P. Kovylyna, N.V. Kovylin
Siberian State Technological University

Study of Growth and State of Strip and Massive Plantations of Scotch Pine in Dry Steppe Conditions

The analysis results of strip and massive plantations of scotch pine created in the dry steppe conditions are provided. The differences in the pine conservation and growth are shown. The state of forest cultures is satisfactory but silvicultural operations are required.

Keywords: Scotch pine, strip plantations, massive plantations, dry steppe.

УДК 630*443.3

И.Н. Павлов¹, О.А. Барабанова², А.А. Агеев¹¹Сибирский государственный технологический университет²Сибирский федеральный университет

Павлов Игорь Николаевич родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Сибирский технологический институт, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесных культур Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 130 печатных работ в области лесовосстановления, экологии, дендрохронологии, патологии леса.
E-mail: forester24@mail.ru



Барабанова Ольга Александровна родилась в 1981 г., окончила в 2004 г. Сибирский государственный технологический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и природопользования Сибирского федерального университета. Имеет около 20 печатных работ в области лесовосстановления, таксации леса, экологии.
E-mail: delfi20@yandex.ru



Агеев Александр Александрович родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Сибирский государственный технологический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур СибГТУ. Имеет более 20 печатных работ в области дендрохронологии, лесовосстановления, экологии.
E-mail: volchok-sun@yandex.ru



СНИЖЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПИХТОВО-КЕДРОВЫХ ЛЕСОВ ВОСТОЧНОГО САЯНА К КОРНЕВЫМ ПАТОГЕНАМ*

Установлена активизация процессов куртинного усыхания коренных темнохвойных лесов в горах Восточного Саяна, вызванная комплексом корневых патогенов. Снижение биологической устойчивости древесных растений связано с ограничением роста корневых систем пихты и кедра на неглубоких почвах, подстилаемых твердыми горными породами.

Ключевые слова: корневые патогены, устойчивость, Восточный Саян.

С конца XX в. в горах Восточного Саяна наблюдается интенсификация процессов усыхания пихтОВО-кедрОВых лесов, значительно превышающая текущий естественный отпад. Гибель деревьев имеет ярко выраженный очаговый характер. Очаги усыхания образуются при различной экспозиции склона. Куртинное усыхание не установлено на вершинах сопков с очень мелким, быстро пересыхающим корнеобитаемым слоем (крайне неблагоприятные условия для развития корневых патогенов), а также на пониженных элементах рельефа с глубокими почвами. Площадь очагов изменяется от 1 до 30 га. Усыханию подвержены деревья всех классов Крафта. Возраст погибших деревьев пихты 70...160 лет. Возобновление темнохвойными породами в очагах удовлетворительное. Гибель подроста пихты единична. Очаговый характер поражения, развитие мицелия, характерные признаки деструкции ксилемы корней, основания ствола, истечение смолы позволили нам сделать предположение о воздействии корневых патогенов.

Исследования проведены на юго-западном склоне Восточного Саяна (Кизирское лесничество). Эта территория относится к Алтае-Саянской горной лесорастительной области, Северной Алтайско-Саянской лесорастительной провинции [2].

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 10-04-00663-а.

Таксационная характеристика очагов усыхания

Показатель	№ пробной площади									
	79/3	79/5	80/2	80/11	81/4	110/19	75/35	139/1	138/11	155/9
Абсолютная высота, м	952...970	911...978	998...1073	890...964	841...975	810...933	952...974	834...784	888...757	712...771
Экспозиция склона, уклон, град	Плато	СВ	Ю, 15	ЮЗ, 14	3, 14	СВ, 24	Ю, 16	Ю, 21	Ю, 19	3, 10
Площадь усыхания, га	14,60	5,60	16,20	31,80	25,50	16,10	0,77	0,59	20,20	11,10
Состав леса до усыхания	4П2Е2К2Б	4П1Е1К4Б	9П1К	10П+К	10П+К	10П+К	9П1К	10П, ед.К	9П1К	7П1К2Б
Возраст, лет:										
лихты	160	110	120	120	110	120	140	120	120	130
кедра	260	180	240	240	210	240	220	140	190	220
Класс бонитета	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III
Тип леса	Пвщтз	Пвкт	Пвкт	Пчщтз	Пчзм	осч	Посвз	Пвкт	Посзм	Посч
Почва	Горно-таежная средне-подзолистая легкая суглинистая свежая средне-могшая	Бурая оподзоленная зеленная легко-суглинистая влажная средне-могшая	Бурая оподзоленная зеленная легко-суглинистая сухая средне-могшая	Бурая оподзоленная легко-суглинистая сухая средне-могшая	Горно-таежная с Al, Fe легко-суглинистая сухая средне-могшая	Дерново-подзолистая супесчаная очень сухая мало-могшая	Горно-таежная слабо-подзолистая легко-суглинистая влажная средне-могшая	Бурая оподзоленная средняя суглинистая влажная средне-могшая	Горно-таежная подзолистая средне-суглинистая свежая средне-могшая	Дерново-подзолистая легко-суглинистая сухая средне-могшая
Корневые патогенны, найденные на ИП:										
<i>Heterobasidion parviporum</i>		+		+	+	+	+	+	+	+
<i>Armillaria mellea</i> s.l.	+	+		+	+	+	+	+	+	+
<i>Phellinus sulphurascens</i>	+			+	+		+	+		

В естественных условиях обильное образование плодовых тел корневой губки встречается крайне редко [3, 4], что во многом усложняет диагностику заболевания. Плодовые тела формируются при необходимых для этого увлажнении, затенении, температурном режиме. Неподходящими условиями являются как жаркий, непродолжительный и зачастую засушливый летний период на территории сосняков Сибири, так и избыток влаги при недостатке тепла в темнохвойных лесах. Для стимулирования роста плодовых тел корневой губки [1] на исследуемой территории в начале вегетационного периода в очагах куртинного усыхания была произведена раскопка корней сильно ослабленных и усыхающих деревьев пихты и кедра. Корни накрывались непрозрачным перфорированным полиэтиленом, ветвями, мхом, травой, древесным опадом. Таким образом была смоделирована естественная среда образования плодовых тел корневой губки, создающаяся, например, при вывале деревьев или в норах землеройных животных. При этом следует иметь в виду, что избыток влаги так же вреден для развития базидиом, как и ее недостаток.

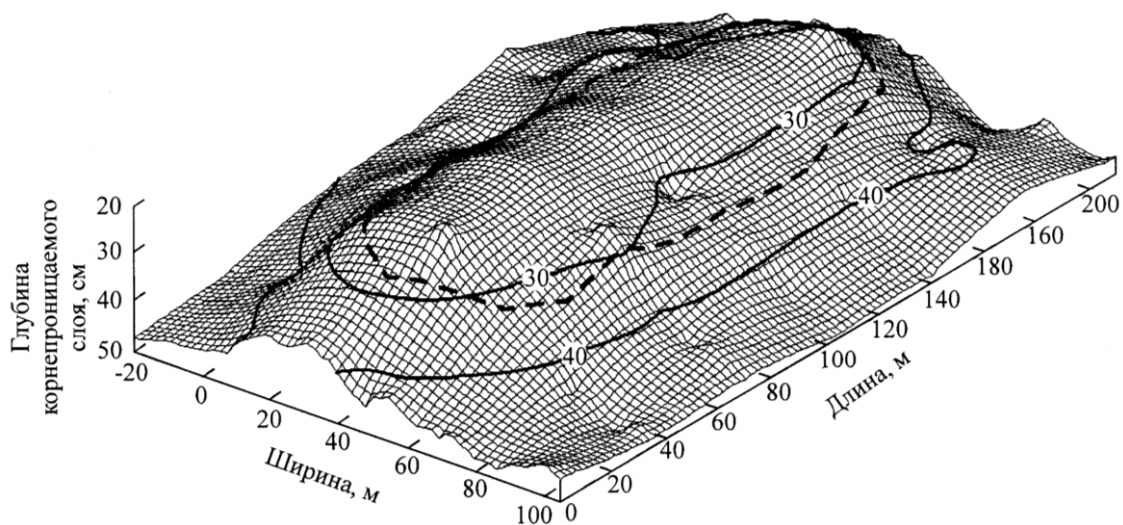
На изучаемой территории распространены маломощные и среднемощные почвы. Наряду с описанием почвенных разрезов, для определения глубины корнеобитаемого слоя был изготовлен металлический щуп (по аналогии с мечом Колесова). Измерения проводились от центра очагов усыхания в нескольких радиальных направлениях с шагом 1...2 м.

При обследовании очагов куртинного усыхания найдено большое количество плодовых тел корневой губки (*Heterobasidion parviporum* Niemelä & Korhonen), веера мицелия опенка (*Armillaria mellea* s.l.) под корой усыхающих деревьев и свежего сухостоя, а также плодовые тела малоизученного в России корневого патогена *Phellinus sulphurascens* Pilat. с характерными признаками деструкции ксилемы *Pinus sibirica* Du Tour и *Abies sibirica* Ledeb. Присутствие корневых патогенов на пробных площадях показано в таблице. Четкой границы поражения древостоя разными корневыми патогенами не установлено.

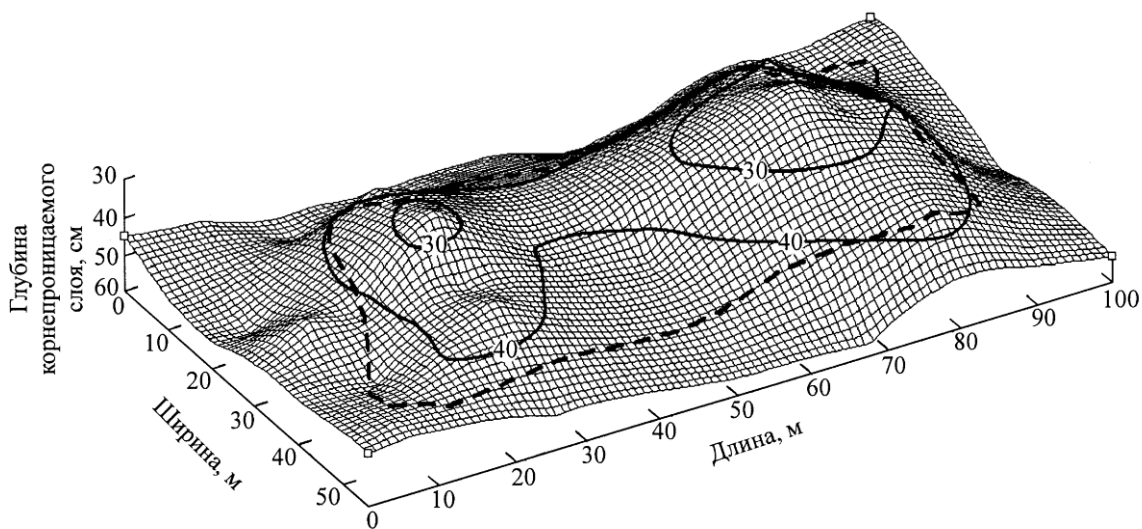
Анализ орографических закономерностей образования крупных очагов куртинного усыхания (инициированных корневыми патогенами) показал их отсутствие на вершинах сопков. Исключением является участок 79/2, представляющий собой плато протяженностью около 1000 м с понижением в центре. Высотным ограничением служит отметка 1 тыс. м над уровнем моря. Причина заключается в недостатке эффективной температуры для развития корневых патогенов. Только один кластер усыхания располагается на высоте 1000...1080 м, где недостаток тепла компенсируется южной экспозицией очага. Температура – исключительно важный фактор, определяющий не только распространение корневых патогенов, но и их агрессивность. Так, ризоморфы опенка растут в диапазоне температуры почвы 5...28 °С [5]. При средней температуре верхнего 15-сантиметрового слоя почвы 10 °С скорость распространения достигает 1,5 м в год. Даже незначительное повышение температуры приземного слоя воздуха в условиях недостатка тепла в горных условиях значительно влияет на патогенные свойства корневых патогенов.

В пониженных элементах рельефа (в том числе в поймах ручьев) среди возбудителей корневых гнилей доминирует *A. mellea* s.l., которая является причиной единичной и групповой гибели деревьев пихты, ели, кедра. Чаще всего очаги куртинного усыхания наблюдаются в средней части хорошо освещенных склонов ЮВ-Ю-ЮЗ экспозиции. Установлена устойчивая зависимость появления очагов усыхания на различных элементах рельефа Саян от глубины корнеобитаемого слоя. На вершинах сопков с очень мелким, быстро пересыхающим корнеобитаемым слоем (крайне

неблагоприятная среда для развития корневых патогенов), а также на глубоких почвах (высокая устойчивость хозяина) очаги куртинного усыхания не образуются. Наиболее неблагоприятные для пихты и кедра условия складываются на неглубоких почвах (корнеобитаемый слой 15...25 см), подстилаемых твердыми горными породами, не доступными для освоения корнями (см. рисунок). При этом снижение биологической устойчивости древесных растений из-за недостатка влаги и питательных веществ, хорошая прогреваемость почвы приводят к возрастанию вирулентности, агрессивности корневых патогенов и, как следствие, разрастанию очага усыхания за пределы неблагоприятных эдафических условий.



а



б

Выход материнской твердой горной породы, ведущей к снижению глубины корнеобитаемого слоя: а – очаг 75/35; б – очаг 139/1

Биологическая устойчивость пихтово-кедровых лесов снижается также при массовом размножении стволовых вредителей (*Monochamus urussovi* Fisch.; *Ips typographus* L.; *Pityogenes chalcographus* L.). Рост их численности вызывается агрессивной лесозаготовительной деятельностью в регионе.

Выводы

1. Причиной усыхания пихтово-кедровых лесов служит комплекс корневых патогенов (*Heterobasidion parviporum* Niemelä & Korhonen, *Armillaria mellea* s.l., *Phellinus sulphurascens* Pilat.).

2. Основными факторами активизации возбудителей корневых гнилей и последующего куртинного усыхания пихтово-кедровых лесов являются:

увеличение количества и частоты осадков, приземной температуры воздуха;

рубка деревьев, вызывающая распространение корневых патогенов;

рост ветровой нагрузки на леса (вследствие изменения климата и увеличения площадей вырубок), приводящий к развитию раневых гнилей;

рост численности популяций стволовых вредителей (*Monochamus urussovi* Fisch.; *Ips typographus* L.; *Pityogenes chalcographus* L.). Этому способствуют потепление климата, лесозаготовки, наличие деревьев, ранее погибших от возбудителей корневых гнилей. Значительно ослабленные корневыми патогенами деревья не могут обеспечить успешную защиту от насекомых и погибают в период их массового размножения;

техногенное загрязнение, ведущее к общему снижению устойчивости хвойных лесов.

3. Причиной очагового проявления заболевания является снижение биологической устойчивости древесных растений из-за ограничения роста корневых систем пихты и кедра на неглубоких почвах (корнеобитаемый слой 15...25 см), подстилаемых твердыми горными породами. Дисперсионный анализ показал значимое и достоверное влияние глубины корнеобитаемого слоя на образование очагов усыхания ($P < 0,01$).

4. В дальнейшем при проведении восстановительных мероприятий следует исключить посадку лесных культур на участках с такими почвами. Для этого необходимо заранее, например до проведения различных видов рубок, отметить места куртинного усыхания с помощью GPS. Очаги, в том числе и потенциальные, оставляются под естественное зарастание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закономерности образования очагов *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. str. в географических культурах сосны обыкновенной (Минусинская котловина) / И.Н. Павлов [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1–2. С. 28–36.

2. Коротков И.А. Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск, 1994. С. 29–47.

3. Негруцкий С.Ф. Корневая губка. М.: Агропромиздат, 1986. 196 с.

4. Федоров Н.И. Корневые гнили хвойных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 160 с.

5. Rishbeth J. The growth rate of *Armillaria mellea* // Transactions of the British Mycological Societ. 1968. № 51. P. 67–70.

I.N. Pavlov¹, O.A. Barabanova², A.A. Ageev¹

¹Siberian State Technological University

²Siberian Federal University

Resistance Reduction of Fir-Cedar Forests of Eastern Sayan Mountains to Root Pathogens

The process activation of bed drying for primary dark coniferous forests in the Eastern Sayan Mountains caused by a complex of root pathogens is established. The reduction of biological resistance of woody plants is connected with growth limitation of fir and cedar root systems on shallow soils underlain by hard rocks.

Keywords: root pathogens, resistance, Eastern Sayan Mountains.



УДК 656:65.012.2

И.М. Еналеева-Бандура

Сибирский государственный технологический университет

Еналеева-Бандура Ирина Михайловна родилась в 1976 г., окончила в 2004 г. Сибирский государственный технологический университет, старший преподаватель кафедры промышленного транспорта и строительства СибГТУ. Имеет 28 печатных работ в области транспортной логистики, экономико-математического моделирования.
E-mail: pts@sibstu.kts.ru



ПОСТРОЕНИЕ ОПОРНОГО ПЛАНА ПЕРЕВОЗОК МЕТОДОМ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОБОРАЧИВАЕМОСТИ

Рассмотрена постановка транспортной задачи применительно к процессу перевозки. Приведен анализ опорных решений, предложен новый метод построения опорного плана перевозок, доказаны его преимущества.

Ключевые слова: транспортная задача, итерация, опорное решение, оптимизация.

Транспортная задача впервые была сформулирована и поставлена для решения вопроса о наиболее экономичном плане перевозок однородных или взаимозаменяемых грузов из пунктов производства в пункты потребления, т. е. об оптимальном прикреплении потребителей к поставщикам. Это одна из важнейших частных задач линейного программирования. Первый шаг в ее решении – построение опорного плана перевозок.

Целью транспортной задачи является сокращение затрат на транспортировку либо временного интервала на доставку продукции потребителю от производителя. Пусть имеется n поставщиков однородной продукции (присвоим им имена a_i) и m ее потребителей (b_j). Каждый производитель может поставлять свою продукцию любому из потребителей. Известны затраты C_{ij} на перевозку единицы продукции. Необходимо так распределить перевозки, чтобы суммарные затраты были минимальными. Элементы решения X_{ij} – количество продукции, перевозимой от каждого поставщика к каждому потребителю. Обозначим через A_i возможности поставщиков, через B_j – потребности потребителей. Построим опорное решение транспортной задачи методом относительной оборачиваемости и докажем его преимущества.

Опорным решением транспортной задачи называется любое допустимое решение, для которого векторы-условия, соответствующие положительным координатам, линейно независимы. Поскольку ранг системы векторов-условий транспортной задачи равен $m+n-1$, опорное решение не может иметь отличных от нуля координат более этого значения. Число таких координат невырожденного опорного решения равно $m+n-1$, а для вырожденного меньше его.

Любое допустимое решение транспортной задачи можно записать в таблицу, как и исходные данные. Клетки таблицы, в которых находятся отличные от нуля или базисные нулевые перевозки, называются занятыми, остальные – незанятыми, или

свободными. Клетка, содержащая перевозку x_{ij} , т. е. стоящая в i -й строке и j -м столбце, имеет номер (i, j) . Каждой клетке с таким номером соответствует переменная x_{ij} , которой отвечает вектор-условие A_{ij} .

Для того, чтобы избежать трудоемких вычислений при проверке линейной независимости векторов-условий, соответствующих положительным координатам допустимого решения, вводят понятие цикла. Его также используют для перехода от одного опорного решения к другому. Циклом называется такая последовательность клеток таблицы транспортной задачи $(i_1, j_1), (i_1, j_2), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_1)$, в которой две и только две соседние клетки расположены в одной строке или столбце, причем первая и последняя клетки также находятся в одной строке или столбце. В таблице цикл изображают в виде замкнутой ломаной линии. В любой его клетке происходит поворот звена ломаной линии на 90° . Для того, чтобы система векторов-условий транспортной задачи была линейно зависимой, необходимо и достаточно, чтобы из соответствующих клеток таблицы можно было выделить часть, которая образует цикл.

Пусть система, состоящая из n векторов $A_{i_1 j_1}, A_{i_1 j_2}, A_{i_2 j_2}, \dots, A_{i_k j_1}$, линейно зависима. Тогда существует такой ненулевой набор чисел $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, что справедливо равенство

$$\lambda_1 A_{i_1 j_1} + \lambda_2 A_{i_1 j_2} + \lambda_3 A_{i_2 j_2} + \dots + \lambda_n A_{i_k j_1} = 0. \quad (1)$$

Примем $\lambda_1 \neq 0$. Вектор $A_{i_1 j_1}$ имеет две равные единице координаты с номерами i_1 и $m + j_1$, остальные координаты равны нулю. В равенство (1) должен также входить вектор, у которого одна из этих координат равна единице и который следует умножить на коэффициент λ_1 , чтобы обеспечить равенство нуля этой координаты в линейной комбинации векторов. Пусть это будет вектор $A_{i_1 j_2}$. Однако он имеет, кроме того, координату с номером $m + j_2$, равную единице. Следовательно, в равенство (1) должен также входить вектор с такой же единичной координатой и т. д.

В выбранной подобным образом последовательности векторов должен найтись вектор $A_{i_k j_1}$, у которого второй индекс совпадает со вторым индексом первого вектора. Данной последовательности векторов соответствует совокупность клеток таблицы транспортной задачи $(i_1, j_1), (i_1, j_2), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_1)$, которая образует цикл.

Пусть из соответствующих векторов A_{ij} клеток (i, j) выбрана последовательность клеток, образующих цикл $(i_1, j_1), (i_1, j_2), (i_2, j_2), \dots, (i_k, j_1)$. Нетрудно видеть, что

$$A_{i_1 j_1} - A_{i_1 j_2} + A_{i_2 j_2} - \dots - A_{i_k j_1} = 0. \quad (2)$$

Отсюда следует линейная зависимость рассматриваемой системы векторов. Допустимое решение транспортной задачи $X = (x_{ij})$, $i = 1, 2, 3, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$ является опорным только тогда, когда из занятых им клеток таблицы нельзя образовать ни одного цикла.

Существует ряд методов построения начального опорного решения. Наиболее простым является метод северо-западного угла, в котором запасы очередного поставщика используются для обеспечения запросов очередных потребителей до тех

пор, пока не будут исчерпаны полностью, после чего используются запасы следующего по номеру поставщика. Метод минимальной стоимости, как и метод северо-западного угла, состоит из ряда однотипных шагов. На каждом шаге заполняется только одна клетка таблицы, соответствующая минимальной стоимости $\min\{c_{ij}\}$, и исключается из рассмотрения только одна строка (поставщик) или один столбец (потребитель). Очередную клетку, соответствующую $\min_{i,j}\{c_{ij}\}$, заполняют по тем же

правилам, что и в методе северо-западного угла. При определении опорного плана транспортной задачи методом аппроксимации Фогеля на каждой итерации по всем столбцам и строкам находят разность между двумя записанными в них минимальными тарифами и записывают в специально отведенных для этого строке и столбце в таблице условий задачи. Выбирают минимальную разность. В строке (или столбце), которым она соответствует, определяют минимальный тариф. Клетку, в которой он записан, заполняют на данной итерации. Если минимальный тариф одинаков для нескольких клеток данной строки (столбца), то для заполнения выбирают ту, которая расположена в столбце (строке), соответствующих наибольшей разности между находящимися в них двумя минимальными тарифами. Существуют и другие методы, в статье приведены только самые распространенные, но и они отражают зависимость цены только от объема, реже от расстояния.

Анализируя методы построения опорных решений к транспортной задаче, можно сделать вывод, что в плане перевозок в лучшем случае увязаны лишь два параметра – объем и цена.

В данной статье предлагается ввести третий параметр – время. Предполагается, что у каждого потребителя на предприятии имеется два склада: материалов и готовой продукции. Приобретенный у потребителей материал (например пиловочник) движется по схеме: склад материалов – производство – склад готовой продукции. Время, в течение которого пиловочник со склада материалов уходит в производство, называется оборачиваемостью и измеряется в днях. Их число зависит от производственной программы и согласно ей остается неизменным. Обычно новая партия материалов должна прибыть на склад не позднее 3...5 дн. до ухода остатков предыдущей партии в производство. Поскольку в плане перевозок потребительские запросы и производственные мощности рассчитаны на год, считаем, что за это время оборачиваемость не меняется. При пересмотре производственной программы для вычислений берется среднее значение показателя.

Рассмотрим транспортную задачу, представленную в табл. 1.

Таблица 1

Исходная матрица

Элемент матрицы	Пункты назначения				Запас
	B_1	B_2	B_3	B_4	
Пункт отправления:					
A_1	7	8	1	2	160
A_2	4	5	9	8	140
A_3	9	2	3	6	170
Потребности	120	50	190	110	470
Оборачиваемость, дн.	30	28	26	35	–

Опорное решение методом относительной оборачиваемости

Элемент матрицы	Пункты назначения				Запас
	B_1	B_2	B_3	B_4	
Пункт отправления:					
A_1	0	0	160	0	160
A_2	120	0	0	20	140
A_3	0	50	30	90	170
Потребности	120	50	190	110	470
Оборачиваемость, дн.	30	28	26	35	–

В данном случае исходную матрицу начинают заполнять со столбца с самой низким показателем оборачиваемости, так как предполагается, что предприятие, у которого материалы быстрее уходят в производство, сделает первым заявку поставщику на их приобретение. В этом столбце ищут минимальную цену реализации и в нее проставляют соответствующий объем, если запросы потребителя удовлетворены не полностью, то снова в этом же столбце ищут следующую клетку с минимальной ценой, за исключением предыдущей. Лишь тогда, когда запросы потребителя с наименьшим показателем оборачиваемости полностью удовлетворены, можно перейти к следующему столбцу с наименьшей оборачиваемостью. Распределение объемов перевозок по предложенному методу приведено в табл. 2.

В заключение можно отметить, что метод относительной оборачиваемости является усовершенствованным методом построения экономико-математической модели. В двухмерную задачу удалось ввести третий параметр – временной фактор, что приближает план перевозок к реалиям.

I.M. Enaleeva-Bandura
Siberian State Technological University

Building of Basic Transportation Plan by Relative Turnover Method

The transportation problem statement for the transportation process is considered. The analysis of basic solutions is provided, its advantages are proved.

Keywords: transportation task, iteration, basic solution, optimization.

УДК 625.731

А.Н. Баранов, Н.Д. Гайденок, В.Ф. Чумаков, Р.А. Ясинский

Сибирский государственный технологический университет

Баранов Александр Николаевич родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 печатных работ в области строительства, эксплуатации и ремонта лесовозных автомобильных дорог в условиях Сибири и Дальнего Востока.
Тел.: 8-902-992-58-73



Гайденок Николай Дмитриевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Московский государственный университет, доктор технических наук, профессор Сибирского федерального университета. Имеет более 250 печатных работ.
E-mail: ndgay@mail.ru



Чумаков Владислав Федорович родился в 1972 г., окончил в 1998 г. Сибирский государственный технологический университет, кандидат технических наук, доцент СибГТУ. Имеет более 30 печатных работ в области строительства лесовозных дорог в условиях Красноярского края.
E-mail: 89039200501@mail.ru



Ясинский Роман Александрович родился в 1976 г., окончил в 1999 г. Сибирский государственный технологический университет, директор завода «Чистая вода Сибири». Имеет более 10 печатных трудов в области разработки мерзлых грунтов механическими способами.
E-mail: 2409499@mail.ru



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ИЗ МЕРЗЛОГО ГРУНТА

Выполнено сравнение технологий возведения земляного полотна в зимнее время, дана их энергетическая оценка.

Ключевые слова: земляное полотно, мерзлый грунтовый блок, технология возведения, удельная энергоёмкость.

Экспериментальными исследованиями [1] нами установлено, что при отрыве мерзлого грунтового блока (см. рисунок), имеющего геометрические размеры b (ширина), h (высота) и l (длина), от основного массива по границе талый – мерзлый грунт в процессе экскавации извлекается дополнительная масса грунта за счет образовавшегося уплотненного ядра. В процессе отрыва грунтового блока за счет вращения вокруг ребра A_0B_0 при повороте на нижней грани блока $A_0B_0C_0D_0$ создается уплотненное ядро присоединенной массы (см. рисунок). Возникающий в грунте в первый период нажатия профиля конус при дальнейшем продвижении профиля испытывает давление со стороны окружающего грунта и приобретает устойчивую форму уплотненного полуэллипса или определенного подобия лопасти пропеллера, крыла самолета. В процессе исследования формы дополнительно присоединенной массы грунтового блока были получены оценки отношений h_d/h и b_d/b , где h_d , b_d и

h , b – соответственно квази-высота и квази-ширина присоединенного фрагмента, высота и ширина мерзлого блока. Математическое ожидание данных отношений имеет значения $0,287 \pm 0,035$ и $0,307 \pm 0,041$ при $N = 63$. Затем путем отделения присоединенной массы от блока был определен ее объем, среднее значение которого равно $0,241 \pm 0,027$.

Теоретическим выражением, определяющим объем присоединенной массы (V , м³) от параметров блока, является

$$V = \frac{\operatorname{tg}(\alpha)b^2l}{2} + \frac{\pi \operatorname{tg}^2(\alpha)b^2l}{8},$$

где $\alpha \approx \pi/11,2 \approx 15^\circ$.

Соотношение объемов мерзлого блока и присоединенной массы, рассчитанной по этому выражению, равно 0,259, что говорит о достаточно высокой степени соответствия результатов опытных определений и теоретических исследований.

Полученные результаты используются в процессе оптимизации технологии возведения земляного полотна из мерзлых грунтовых блоков при расчете удельной энергоемкости, которая составляет 0,97 кВт·ч/м³ [3]. В то же время установлено, что удельная энергоемкость при возведении земляного полотна из мерзлых грунтовых блоков и при обосновании их оптимальных параметров [2] равна 1,12 кВт·ч/м³ [3], что на 15 % выше полученных ранее результатов. Следует отметить, что снижение удельной энергоемкости достигается за счет как экскавации дополнительного объема талого грунта, так и уменьшения усилий отрыва по границе мерзлый – талый грунт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайденок Н.Д., Баранов А.Н., Чумаков В.Ф. Исследование процесса разрушения мерзлого грунта при изгибающем усилии // Транспорт в лесном комплексе: сб. науч. тр. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. С. 100–104.
2. Оптимизация процесса возведения земляного полотна из грунтовых блоков в зимнее время / Баранов А.Н. [и др.]. Красноярск: СибГТУ, 2004. С. 8. Деп. в ВИНТИ 06. 08.04, № 1371-В2004.
3. Технология возведения земляного полотна из мерзлого грунта / Баранов А.Н. [и др.] // Дорожно-транспортный комплекс, экономика, экология, строительство и архитектура: материалы междунар. конф. Омск: СибАДИ, 2005. С.173–180.

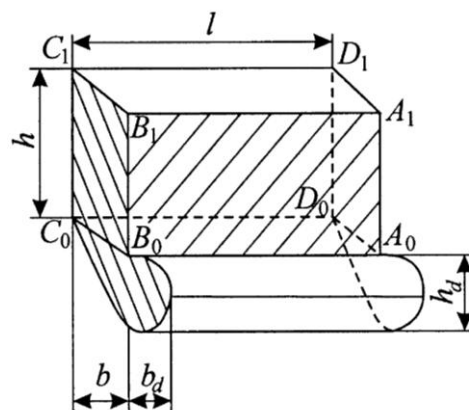
A.N. Baranov, N.D. Gaidenokh, V.F. Chumakov, R.A. Yasinsky

Siberian State Technological University

Improvement of Technology for Road Bed Building from Frozen Soil

The comparison of technologies for road bed building in winter time is carried out, their energy assessment is provided.

Keywords: road bed, frozen soil block, building technology, specific energy capacity.



Грунтовый блок



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.047

Ш.Г. Зарипов, В.Н. Ермолин

Сибирский государственный технологический университет

Зарипов Шакур Гаянович родился в 1955 г., окончил в 1977 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии производств в лесном комплексе Лесосибирского филиала Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 50 печатных трудов в области изучения конвективной сушки пиломатериалов.
Тел.: 8(391)4-56-28-03



Ермолин Владимир Николаевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии композиционных материалов Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 80 печатных трудов в области физики древесины.
Тел.: 8 (391)2-27-96-75



ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ В ЛИСТВЕННИЧНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛАХ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ

Обоснована гипотеза о формировании избыточного давления в лиственничных пиломатериалах в результате образования парогазовой смеси при конвективной сушке низкотемпературными режимами, природой формирования которых являются физико-химические процессы, происходящие в древесине при этих температурах.

Ключевые слова: избыточное давление, лиственница сибирская, конвективная сушка, физико-химические процессы.

Избыточное давление (ИД) как фактор сушки лиственничных пиломатериалов изучен недостаточно полно. Выполненные по данной проблеме работы [1, 2, 4] доказывают наличие ИД внутри древесины при сушке лиственничных пиломатериалов низкотемпературными режимами.

Основопологающим условием возникновения ИД является ограниченная газо- и влагопроницаемость древесинного вещества, с одной стороны, и наличие газа, не имеющего возможности выхода из древесины при нагреве, с другой. Ограниченность газо- и влагопроницаемости древесины лиственницы позволила в работах [1, 4] при изучении кинетики сушки считать пиломатериалы герметичным резервуаром. При этом источником возникновения ИД были приняты пар и воздух, которыми наполнено древесинное вещество. По мнению авторов [1, 4], в указанных условиях даже незначительное повышение температуры древесины приводит к повышению давления за счет энергии пара и воздуха. При сушке высокотемпературными режимами такой подход является обоснованным.

Вывод, полученный в работах [1, 4], только частично нашел подтверждение при проведении нами экспериментальных исследований [2] по следующим причинам: древесину лиственницы ошибочно относить к абсолютно герметичным объек-

там при сушке низкотемпературными режимами; для поддержания ИД на одном уровне невозможно обходиться длительное время без «подкачки», так как воздух выходит вместе с удаляемой из древесины влагой, а количество испаряемой при сушке низкотемпературными режимами влаги недостаточно для поддержания ИД на относительно высоком уровне длительное время.

Поскольку до настоящего времени остались невыясненными условия возникновения ИД, уровень ИД, состав газа, создающего избыточное давление в древесине при сушке лиственничных пиломатериалов низкотемпературными режимами, и природа его возникновения, эти вопросы явились целью нашего исследования.

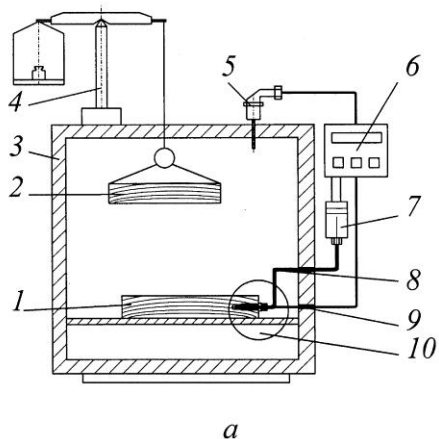


Рис. 1. Схема сушильной камеры для исследования кинетики сушки: *а* – общий вид, *б* – узел; 1, 2 – испытуемый образец; 3 – сушильный шкаф; 4 – весы рычажные; 5 – термопреобразователь сопротивления ДТС 015; 6 – измеритель-регулятор ТРМ 138; 7 – преобразователь избыточного давления ПД 100-Ди-0,5; 8 – трубка медная; 9 – термопреобразователь сопротивления ДТС 014; 10 – узел; 11 – резервуар; 12 – штуцер; 13 – резиновая обжимка

Для уточнения числовых значений ИД была смонтирована сушильная камера (рис. 1). При проведении опытов фиксировали: ИД внутри древесины путем внедрения в образец медной трубки с рабочим диаметром 3 мм и выводом его на преобразователь избыточного давления 7; изменение влажности по массе парного образца 2; температуру в центре образца (термопреобразователь сопротивления 9) и в сушильной камере 5.

Результаты одной серии опытов представлены на (рис. 2, 3). Объектами исследования служили лиственничные образцы сечением 25×100 мм.

Первый подъем ИД наблюдался в начальный период (рис. 2) при температуре в сушильной камере 45 °С в виде всплеска после 4 ч сушки. ИД изменилось от 0,01 до 0,26 кПа за очень короткий период времени (на графике отмечено в виде вертикального отрезка при $\tau_c = 4,0$ ч). В течение последующего часа ИД, скачкообразно

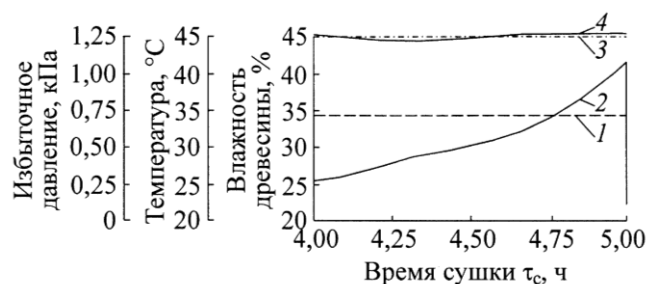


Рис. 2. Подъем давления в лиственничном образце в начальный период сушки: 1 – влажность древесины; 2 – избыточное давление; 3 – температура в сушильной камере; 4 – температура в центре образца

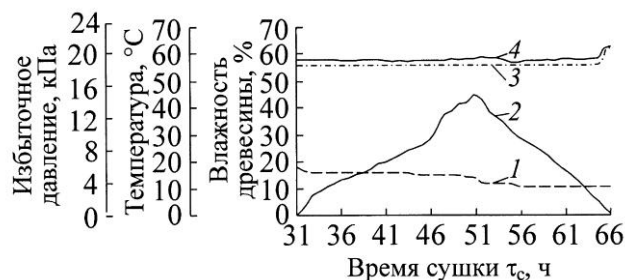


Рис. 3. Подъем давления в лиственничном образце в процессе сушки (см. обозначения на рис. 2)

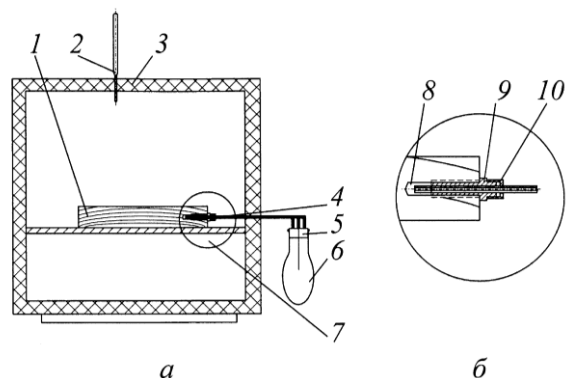
изменяясь относительно некоторого среднего значения, увеличилось до 1,17 кПа, после чего за очень короткий промежуток времени оно вернулось к исходному значению 0,01...0,02 кПа. Подобное явление отмечено и при проведении повторных опытов.

Второй подъем ИД наблюдался через 31 ч сушки (рис. 3). Отличительными особенностями данного подъема от предыдущего являются продолжительность, уровень подъема, форма графика. Подъем ИД был зафиксирован при температуре агента сушки в сушильной камере 56,0 °C и температуре в центре образца 57,5 ... 59,0 °C. Продолжительность этого подъема составляла 35 ч, максимальное значение ИД – 15,04 кПа. Подъем и снижение ИД, как и в предыдущем случае, происходили скачкообразно относительно некоторого среднего значения, которое указано на графике (рис. 3). В целом подъем и последующее снижение ИД проходили в плавном режиме.

Для изучения состава газа, создающего ИД в древесине при сушке лиственничных пиломатериалов низкотемпературными режимами, были проведены специальные исследования в два этапа: на первом этапе извлекали газы из образцов, на втором этапе полученные газы подвергали экспресс-анализу.

Газы извлекали с помощью 4 медных трубок (рис. 4) рабочим диаметром 3 мм каждая. Трубки монтировали на расстоянии 4...5 см одна от другой по длине лиственничного образца 1 сечением 50×100 мм и выводили за пределы сушильного шкафа 3, где их собирали в пучок в коллекторе-сборнике 5. Газовую смесь направляли в резиновый шар 6 при температуре в сушильном шкафу 84 °C. Газ получали из двух образцов. Его объем в охлажденном состоянии в каждой пробе составлял не менее 100 мл. Газ собирали в течение 7 сут, при этом 85 ... 90 % объема газа были получены в первые 30 ... 50 ч нагрева.

Рис. 4. Схема отбора проб газовой смеси из пиломатериалов в процессе сушки: а – общий вид, б – узел; 1 – испытуемый образец; 2 – термометр; 3 – сушильный шкаф; 4 – трубка медная; 5 – коллектор-сборник; 6 – резиновый шар; 7 – узел; 8 – резервуар; 9 – штуцер; 10 – резиновая обжимка



Собранный газ подвергали экспресс-анализу методом ИК-спектроскопии. В общей сложности на ИК-спектре газов из газовой камеры было пронумеровано и отнесено к определенным структурным единицам 139 пиков. ИК-спектр конденсата, полученный на таблетке KBr, имел всего 10 пиков.

На основании результатов экспресс-анализа установлено следующее.

1. В газовой среде присутствует смесь летучих с паром веществ с функциональными группами воды (в том числе кристаллизационной в гидратах), спиртов, фенолов, карбоновых кислот алифатического и ароматического рядов, а также непредельных соединений.

2. В области «отпечатков пальцев» ИК-спектра газов обнаружены полосы поглощения таких структурных единиц молекул, как $-C-S$, $=C-H$, $-C-O$, NO_2 . В газах конденсата присутствуют соединения, в состав которых входят эти структурные единицы.

3. Сахара в газовой смеси не обнаружены.

4. ИК-спектр конденсата на таблетке KBr показывает наличие веществ с функциональными группами органических серосодержащих соединений, воды, спиртов, фенолов, карбоновых кислот.

К основной группе веществ для получения ИК-спектра газов в древесине лиственницы следует отнести воду; органорастворимые экстрактивные вещества [5, 9] (монотерпены), расположенные в смоляных ходах; алифатические соединения, концентрирующиеся главным образом в лучевой и древесной паренхиме; фенольные соединения в ядре.

Механизм перевода в газ части жидких и твердых веществ, входящих в состав древесины, достаточно сложен и приведен в специальной литературе. Для каждого температурного уровня характерны определенные процессы. Так, эфирные масла летучи при комнатной температуре и способны перегоняться с паром [5]. Наличие в древесине различных ферментов [9] и воды в виде радикалов (OH^- , H^+) [7] создают условия мягкого (при температуре 40...50 °С) гидролиза [3] отдельных компонентов древесины лиственницы, преимущественно гемицеллюлоз, и некоторого расщепления лигноуглеводной составляющей.

Таким образом, источником формирования ИД в древесине при низкотемпературных режимах сушки является газ сложного химического состава, включая пар.

В процессе экспериментальных исследований также было установлено значение ИД, при котором наблюдается максимальная скорость обезвоживания. Оно составляет 0,01...0,02 кПа. Аналогичный результат был достигнут при сушке соснового образца, выпиленного из заболонной части дерева. Полученные данные дают основание утверждать, что такое значение ИД соответствует нормальному сопротивлению влагонепроводящей системы древесинного вещества и может быть принято за рабочее давление. Любое превышение рабочего давления указывает на нарушение баланса между количеством газа, полученного в результате физико-химических процессов, и пропускной способностью древесинного вещества.

Первое нарушение баланса, как было указано выше, наблюдалось в начале процесса обезвоживания (см. рис. 2), что привело к повышению ИД в образце. Одной из причин, объясняющих такой всплеск ИД, является наличие природной закупорки влагонепроводящей системы древесинного вещества лиственницы [8]. Скачкообразное изменение ИД дает основание утверждать, что под действием этого фактора происходит прорыв тонких перфораций, препятствующих выходу парогазовой смеси из древесины, что приводит к «расконсервации» ее влагонепроводящей системы.

Второй скачок ИД наблюдался после 31 ч сушки (рис. 3). Ввиду того, что изучаемый скачок ИД отмечен в процессе сушки, то закупоривание влагопроводящей системы древесины формировалось под действием явлений, происходящих в ней при температуре в сушильной камере 45...56 °С.

Проведенные нами ранее исследования выявили факт переноса водорастворимых экстрактивных веществ из центральных слоев в периферийные. Основу водорастворимых экстрактивных веществ в древесине лиственницы составляет арабиногалактан – клейкое мембранотропное вещество, способное образовывать гель. Из этого следует, что влагопроводящая система, которая находится в периферийной зоне доски, закупоривается водорастворимыми экстрактивными веществами.

Перенос парогазовой смеси через сформированный запирающий слой подчиняется законам диффузионной проницаемости [6]: последовательно протекают процессы адсорбции и растворения парогазовой смеси в пограничном слое, диффузии ее через слой и выделения влаги с внешней его стороны. В период подъема ИД средняя удельная скорость сушки снижается от 0,054 до 0,017 кг/(м²·ч).

Выстраивая определенным образом режимы сушки, можно избежать формирования такого нежелательного явления, как закупоривание влагопроводящих путей древесины и, как следствие, повышение ИД. Проведенные опытные сушки лиственничных пиломатериалов в сушильных камерах непрерывного и периодического действия подтвердили правильность вышеприведенных положений.

Выводы

1. По уровню ИД в высушиваемых конвективной сушкой лиственничных пиломатериалах можно оценить степень закупоренности газо- и влагопроводящей системы.
2. ИД формируется сложной по химическому составу парогазовой смесью, которая образуется при протекании физико-химических процессов в древесине, высушиваемой низкотемпературными режимами.
3. ИД в древесине лиственницы при сушке низкотемпературными режимами зависит от баланса между количеством парогазовой смеси, полученной в результате физико-химических процессов, и пропускной способностью древесинного вещества; ИД изменяется от 0,01 до 15,04 кПа.
4. Понимание причин возникновения ИД является основой для совершенствования конвективной сушки лиственничных пиломатериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дзыга Н.В.* Особенности сушки лиственничных пиломатериалов // Инвестиционный потенциал лесопромышленного комплекса Красноярского края: материалы науч.-практ. конф. междунар. выставки-ярмарки «Деревообработка: оборудование и продукция», 5-6 сентября 2001 г. С. 78–81.
2. *Зарипов Ш.Г.* Формирование избыточного давления в лиственничных пиломатериалах в процессе конвективной сушки // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр.; под ред. Е.А. Памфилова. Брянск: БГИТА, 2009. Вып. 24. С. 91–94.
3. *Кондращенко В.А.* Разработка новейших биотехнологий получения ДВП мокрым способом. Режим доступа: www.vniidrev.balabanovo.ru

4. Кротов Л.Н., Ослонович В.Н. Температурные поля, поля влажности и давление в древесине при высокотемпературной сушке // Тр. СТИ. Т. III «Лиственница». Красноярск: СТИ, 1968. С. 408–419.

5. Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы: учеб. пособие для студ. вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 366 с.

6. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов. М.: Химия, 1974. 272 с.

7. Уразаев В.А. Растворители // Технологии электронной промышленности. 2006. № 1. С. 44–49.

8. Харук Е.В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. Новосибирск: Наука, 1976. 189 с.

9. Фенгел Д. Древесина (химия, ультраструктура, реакции). Пер. с англ. Д. Фенгел, Г. Вегенер; под ред. А.А. Леоновича. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 512 с.

Sh.G. Zaripov, V.N. Ermolin
Siberian State Technological University

Overpressure in Hardwood Sawn Timber under Low-Temperature Convective Drying

Hypothesis on overpressure formation in hardwood sawn timber resulting from gas-vapor mixture generation under low-temperature convective drying is substantiated. The nature of overpressure formation refers to physical-and-chemical processes taking place in wood under these temperatures.

Keywords: overpressure, Siberian larch, convective drying, physical-and-chemical processes.

УДК 630*81

С.Г. Елисеев, В.Н. Ермолин

Сибирский государственный технологический университет

Елисеев Сергей Геннадьевич родился в 1983 г., окончил в 2006 г. Сибирский государственный технологический университет, старший преподаватель кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения СибГТУ. Имеет 10 печатных трудов в области древесиноведения.
E-mail: S-555S@yandex.ru



СВОЙСТВА ВОДОСЛОЙНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ОСИНЫ

Исследованы физические, механические свойства и анатомическое строение водослойной древесины осины. Выявлены существенные различия свойств водослойной древесины по сравнению с нормальной.

Ключевые слова: древесина, водослойная древесина, осина, микростроение древесины, свойства древесины.

Водослой – один из распространенных пороков древесины, относящийся по классификации к патологическим окраскам. Он отличается от рядом расположенной нормальной древесины аномально высокой влажностью. Как показала практика, при переработке такой древесины возникает ряд проблем, решение которых затруднено малой изученностью данного порока. Водослойная древесина встречается, как у хвойных, так и у лиственных пород. Из лиственных пород наиболее часто подвержена этому осина. Встречаются осиновые древостои со 100 %-м присутствием водослойного ядра [1].

О причинах возникновения водослойной древесины нет единого мнения. Исследования американских видов тополей и ильмов показали [10–13], что водослой вызван деятельностью бактерий родов *Clostridium* или *Methanobacterium*. В нашей стране бактериальная природа водослоя не нашла своего подтверждения. Выдвинуты лишь гипотезы, что причиной его возникновения является деятельность грибов [4], физиологический механизм всасывания чрезмерного количества воды корнями [2, 6], проникновение внутрь ствола дождевой воды через незаросшие сучки [3, 9]. Но ни одна из этих гипотез не подтверждена экспериментально.

Свойства водослойной древесины осины изучены недостаточно, имеются лишь единичные работы [2, 4, 6], в которых отмечено, что по некоторым свойствам она существенно отличается от рядом расположенной здоровой древесины. Цель наших исследований – всестороннее изучение свойств древесины водослоя.

Результаты исследований физических и механических свойств древесины осины приведены в таблице.

Как видно из таблицы, влажность водослойной древесины отличается от рядом расположенной нормальной более чем в 2 раза. Различия в базисной плотности водослойной древесины и нормальной не существенны и укладываются в вариацию плотности древесины по радиусу ствола [5]. Усушка водослоя значительно превышает этот показатель для нормальной древесины по всем направлениям, достигая наибольших различий (в 2,4 раза) в радиальном. Для предела прочности при сжатии вдоль волокон различия несущественны. Предел прочности при скалывании вдоль волокон водослойной древесины на 35,7 % ниже, чем у нормальной.

Показатели физико-механических свойств древесины осины

Показатель	Статистические характеристики		
	Среднее значение	Точность опыта, %	Различие, %
Влажность в свежесрубленном состоянии, %	107,30/226,40	0,34/1,50	111,0
Базисная плотность, кг/м ³	319,90/301,80	1,04/0,30	6,0
Усушка:			
радиальная	3,56/8,40	1,41/2,50	136,0
тангенциальная	6,38/13,71	1,72/2,63	114,9
объемная	9,72/21,06	1,24/1,57	116,7
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	35,50/34,10	0,79/0,53	4,1
Предел прочности при скалывании вдоль волокон, МПа	5,70/4,20	0,56/4,52	35,7

Примечание. В числителе приведены данные для нормальной древесины, в знаменателе – для водослойной.

Практический опыт показывает, что древесина водослая высыхает гораздо медленнее нормальной, поэтому было решено определить как изменяется гигроскопичность и высыхание древесины водослая.

В ходе исследований гигроскопичности (рис. 1) установлено, что адсорбционная способность водослойной древесины несколько больше нормальной, но различия не существенны и находятся в пределах 6 %.

Для исследования динамики высыхания водослойной древесины осины и рядом расположенной нормальной древесины изготавливали образцы размерами 50×100×150 мм (соответственно ширина×высота×длина), торцы которых изолировали от действия влаги. Затем их помещали в сушильную камеру и сушили в одинаковых условиях при температуре 60 °С. Результаты этого эксперимента приведены на рис. 2.

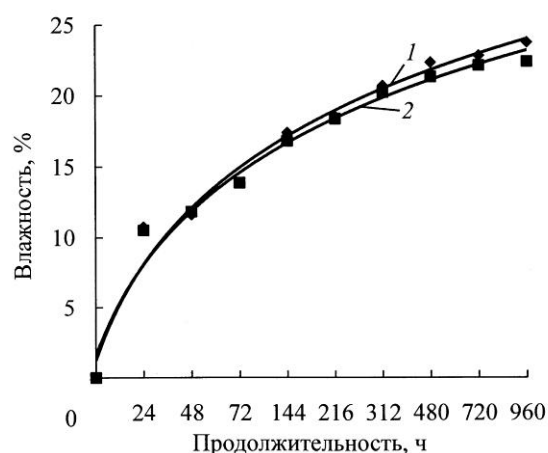


Рис. 1. Динамика влагопоглощения древесины осины: 1 – водослойной ($y = 9,8853 \times \ln(x) + 1,2348$; $R^2 = 0,9781$); 2 – нормальной ($y = 9,4041 \ln(x) + 1,5357$; $R^2 = 0,9777$)

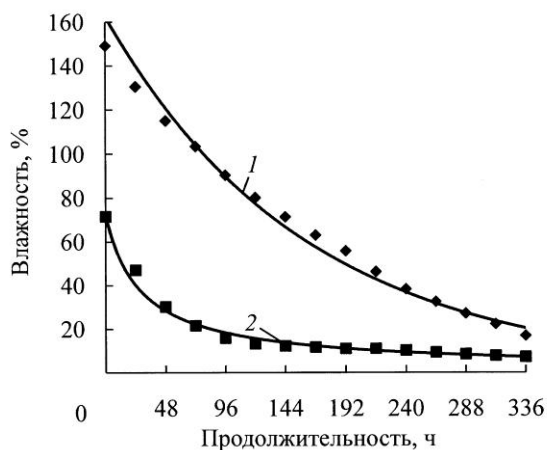


Рис. 2. Динамика снижения влажности древесины осины: 1 – водослойной ($y = 182,630e^{-0,1423x}$; $R^2 = 0,9906$); 2 – нормальной ($y = 72,485x^{-0,8545}$; $R^2 = 0,9793$)

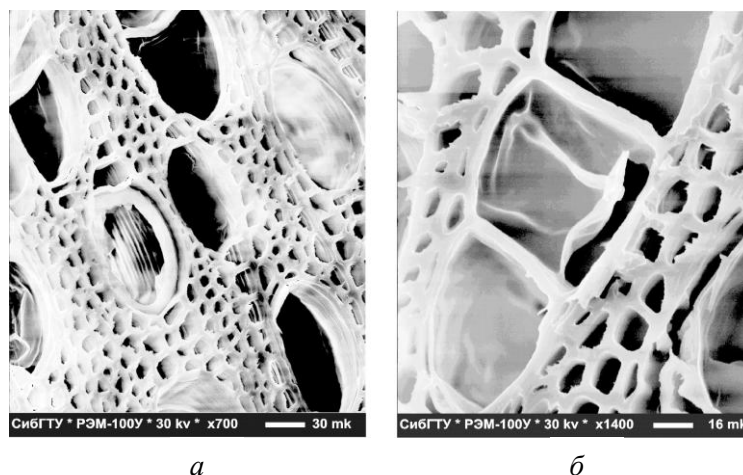


Рис. 3 Микросрезы водослойной древесины осины, полученные с помощью электронного микроскопа при различном увеличении: *а* – $\times 700$; *б* – $\times 1400$

Как показали исследования, характер изменения влажности водослойной древесины существенно отличается от нормальной. Скорость сушки образцов водослойной древесины в течение всего процесса практически одинакова в отличие от нормальной, у которой первоначально скорость сушки имеет высокие значения, а затем быстро снижается. По-видимому, замедление процесса высыхания водослойной древесины обусловлено затруднением переноса свободной воды, вызванным анатомическими изменениями в древесине водослоя. Перенос влаги в водослойной древесине происходит только за счет диффузии связанной воды через клеточную стенку. Поскольку для переноса свободной влаги необходима система взаимосвязанных макрокапилляров, которыми в здоровой древесине являются межклеточные поры. Из чего следует, что в водослойной древесине происходит закупорка межклеточных пор. Этим, собственно, и объясняется то, что в растущем дереве не происходит перераспределения воды из водослоя в здоровую древесину. В связи с этим присутствие участков водослойной древесины в пиломатериалах существенно увеличивает длительность процесса сушки и разброс значений конечной влажности высушенных пиломатериалов в партии.

Для выявления отклонений анатомического строения водослойной древесины от нормального нами были проведены микроскопические исследования с помощью светового микроскопа МБИ-6, которые не позволили выявить существенных различий в строении водослойной и рядом расположенной нормальной древесины. Для более детального изучения анатомического строения водослоя были проведены эксперименты при больших увеличениях с помощью электронного микроскопа РЭМ-100У. Результаты показали (рис. 3), что во всех водослойных образцах наблюдаются анатомические отклонения, которые невозможно было наблюдать в световом микроскопе. Нарушения строения древесины проявлялись в частичном или полном отслоении внутренней оболочки клеточной стенки сосудов от среднего слоя. В образцах расположенной рядом нормальной древесины подобные нарушения строения не встречались. Обнаруженные нами в водослое отклонения от нормального строения, по-видимому, и являются причиной ухудшения физических и механических свойств древесины осины.

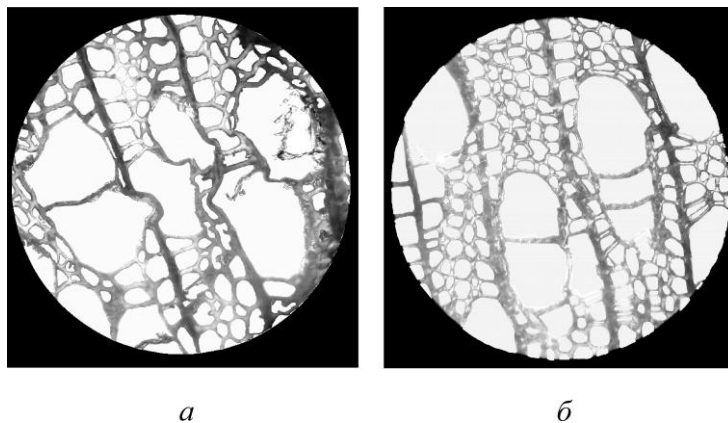


Рис. 4 Микросрезы древесины осины после высушивания: *а* – водослойной; *б* – нормальной

При высушивании образцов водослойной древесины установлено, что они сильно деформируются, в них образуются отлупные трещины и трещины усушки. Усушка водослойной древесины даже визуально значительно превосходит усушку нормальной. Для изучения причин повышенной усушки водослойной древесины с помощью микроскопа нами были исследованы высушенные образцы водослойной и рядом расположенной нормальной древесины.

Микроскопические исследования показали (рис. 4, *а*), что анатомическое строение древесины водослоя существенно нарушено. Клеточные стенки крупных сосудов значительно деформированы, за счет этого полости сосудов стали заметно меньше. Сердцевинные лучи, к которым сосуды прилегают с двух сторон, также имеют сильные деформации, поскольку при малой механической прочности изгибаются вместе с прилегающими клеточными стенками сосудов. Волокна либриформа на всех срезах без заметных деформаций, что объясняется большей механической прочностью их клеточных стенок. На контрольных срезах рядом расположенной нормальной древесины подобных деформаций клеточных стенок не отмечено (рис. 4, *б*). Полученные экспериментальные данные дают основание предположить, что высокая усушка водослойной древесины обусловлена явлением коллапса (сжатия полостей клеток [7]). Механизм этого явления обусловлен тем, что клеточные стенки проницаемы только для полярных молекул воды и непроницаемы для неполярных молекул воздуха [8]. Как мы уже отмечали, перенос свободной влаги через межклеточные поры в водослойной древесине затруднен, поэтому влага из полостей удаляется за счет диффузии через клеточные стенки, но при этом воздух в полости клеток не поступает, что снижает давление в полости клеток и приводит к их деформации. Исходя из вышесказанного, древесину, содержащую водослой, следует отбраковывать и не подвергать камерной сушке, поскольку при высыхании водослойные участки изменяют геометрию и целостность изделий из нее за счет повышенной усушки и образования трещин.

Выводы

1. Водослой существенно отличается от рядом расположенной нормальной древесины ухудшенными показателями физико-механических свойств.

2. Низкая скорость высыхания водослойной древесины обусловлена затруднением переноса свободной влаги через межклеточные поры, вследствие чего перенос жидкости происходит за счет диффузии через клеточную стенку.

3. Наличие участков водослойной древесины увеличивает продолжительность процесса сушки и разброс значений конечной влажности пиломатериалов.

4. Причиной ухудшения физических и механических свойств водослойной древесины является нарушение структуры клеточной стенки сосудов, проявляющееся в ее расслоении.

5. Увеличение усушки водослойной древесины по сравнению с нормальной – следствие коллапса древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакин А.Т., Полубояринов О.И., Соловьев В.А. Пороки древесины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 112 с.
2. Дышловая В.Д., Поцелуйко А.П. Водослой в древесине // Науч. тр. / ЦНИИМОД. Архангельск, 1971. Вып. 26. С. 129–133.
3. Костылев А.С. Организация хозяйств и лесоводственно-технические мероприятия по выращиванию высокотоварной осины из естественных молодняков. Л.: Изд-во ЛенНИИЛХ, 1973. 42 с.
4. Полубояринов О.И. О природе и некоторых свойствах серого (водослойного) ядра осины // Науч. тр. / ЛТА. Л., 1963. № 102. С. 37–44.
5. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-ть, 1976. 160 с.
6. Поцелуйко А.П. Свойства водослойной древесины сосны и ели // Науч. тр. / ЦНИИМОД. Архангельск, 1971. Вып. 26. С. 134–137.
7. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 368 с.
8. Чудинов Б.С. Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984. 272 с.
9. Etheridge D.E., Morin L.A. Wetwood formation in balsam fir // Canadian Journal of Botany. 1962. Vol. 40. P. 1335–1345.
10. Hartley C., Davidson R.W., Crandall B.S. Wetwood, bacteria, and increased pH in trees // U.S. Forest Products Laboratory. 1961. N. 2215. P. 35.
11. Rossell S.E., Aboot E.G.M., Levy J.F. Bacteria and wood. A review of the literature relating to the presence, action, and interaction of bacteria in Wood // Journal Institute Wood Science. 1973. Vol. 6/2/. N. 32. P. 28–36.
12. Sachs I.B., Ward J.C., Kinney R.E. Scanning electron microscopy of bacterial wetwood and normal heartwood in poplar trees // Scanning electron microscopy. 1974. Part 2. P. 453–728.
13. Zeikus J.G., Ward J.C. Methane formation in living trees: a microbial origin. Science, 1974. 184 p.

S.G. Eliseev, V.N. Ermolin
Siberian State Technological University

Characteristics of Frost-Heart Aspen Wood

The physical, mechanical characteristics and anatomic structure of frost-heart aspen wood are investigated. The essential differences of frost-heart wood properties from standard one are revealed.

Keywords: wood, frost-heart wood, aspen, microstructure of wood, wood characteristics.

УДК 674.023.001.5

Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма

Сибирский государственный технологический университет

Вишуренко Наталья Викторовна родилась в 1984 г., окончила в 2008 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры станков и инструментов СибГТУ. Имеет около 10 работ в области изучения технологических и эксплуатационных свойств древесины.
E-mail: vishurenko.nataliya@yandex.ru



Корчма Иван Степанович родился в 1942 г., окончил в 1970 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры станков и инструментов Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 научных трудов в области лесопиления и деревообработки.
E-mail: stanki@sibstu.kts.ru



ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА УПЛОТНЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Предложена формула для определения коэффициента уплотнения древесины; проведены эксперименты по сжатию мерзлой древесины в замкнутом пространстве и сравнительная оценка коэффициентов уплотнения.

Ключевые слова: мерзлая древесина, температура, влажность, коэффициент уплотнения, сжатие, сосна, лиственница, базисная плотность.

Одним из важнейших факторов при распиловке древесины в регионах Сибири и Дальнего Востока является ее гидротермическое состояние, поскольку влажность W и температура t оказывают существенное влияние на физико-механические свойства древесины, особенно в зимний период.

Известно, что производительность лесопильных станков прямо пропорциональна подаче, которая выбирается в зависимости от многих факторов, в том числе от коэффициента уплотнения стружки во впадине $\alpha_{\text{упл}}$.

Посылку по заполнению впадин зубьев на лесопильных рамах (подача за двойной ход) определяют по формуле

$$S_{2x} = \frac{\beta_3 \Theta H t_3}{h_m \alpha_{\text{упл}}},$$

где β_3 – коэффициент заполнения площади впадины;

Θ – коэффициент формы зуба;

H – ход пильной рамки, мм;

t_3 – шаг зубьев пил, мм;

h_m – наибольшая высота реза, мм.

Коэффициент уплотнения стружки во впадине зависит от плотности древесины и ее гидротермического состояния. Опытные распиловки талой древесины показывают, что объем уплотненной во впадине древесины в 1,5–2 раза меньше номинального объема срезанной стружки, поскольку напряжения сжатия, возникающие при ее срезании, достаточны для деформации клеток и вытеснения из них капиллярной влаги через поры древесины. Номинальный объем стружки уменьшается на ве-

личину объема пор, свободных от капиллярной влаги, и предельное значение коэффициента уплотнения опилок во впадине

$$\alpha_{\text{упл}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{д}}},$$

где ρ и $\rho_{\text{д}}$ – плотность соответственно древесины при влажности, равной точке насыщения волокна, и древесинного вещества, насыщенного влагой, кг/м².

Мерзлая древесина является сложной системой, содержащей древесинное вещество, включения льда, связанную и свободную воду, а также газообразные компоненты (пар и газы). Эти компоненты находятся во взаимной связи друг с другом, зависящей как от свойств отдельных фаз, так и от внешних воздействий (изменений отрицательной температуры, давления). При распиловке мерзлой древесины ледяные включения не могут быть вытеснены из полостей клеток. Следовательно, объем стружки уменьшается только на объем пор, свободных от кристаллов льда.

В этом случае предельное значение коэффициента уплотнения

$$\alpha_{\text{упл}} = \frac{V_{\text{д}} + V_{\text{л}}}{V_{\text{н}}},$$

(1)

где $V_{\text{д}}$ – объем древесинного вещества со связанной влагой в срезанной древесине, м³;
 $V_{\text{л}}$ – объем льда в срезанной древесине (при распиловке талой древесины $V_{\text{л}} = 0$), м³;
 $V_{\text{н}}$ – номинальный объем срезанной древесины, м³.

Пиловочник, поступающий в распиловку, кроме связанной влаги содержит и капиллярную. Увеличение влажности древесины до предела гигроскопичности ведет к увеличению ее объема. Рост влажности выше предела гигроскопичности практически не оказывает влияния на объем древесины. С учетом этого

$$V_{\text{н}} = V_0 \left(1 + \frac{K_{\text{р}} W'}{100} \right),$$

(2)

где V_0 – объем срезанной древесины в абсолютно сухом состоянии, м³;
 $K_{\text{р}}$ – коэффициент объемного разбухания, %;
 W' – влажность, соответствующая точке насыщения оболочек; для сосны – 30 %, для кедра сибирского – 28...30 %, для лиственницы сибирской – 31...33 %.

Объем древесинного вещества со связанной влагой

$$V_{\text{д}} = V_0 \rho_{\text{баз}} \left(1 + \frac{K_{\text{р}} W'}{100} \right) \left(\frac{1}{\rho_{\text{д.в}}} + \frac{W'}{100 \rho_{\text{в}}} \right), \quad (3)$$

где $\rho_{\text{баз}}$ – базисная плотность древесины; для сосны – 400 кг/м³, для кедра – 350 кг/м³, для лиственницы – 520 кг/м³;

$\rho_{\text{д.в}}$ – плотность древесинного вещества, $\rho_{\text{д.в}} = 1540$ кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³.

Объем льда в срезанной древесине определим по следующей формуле:

$$V_{\text{л}} = 1,091 V_0 \rho_{\text{баз}} \left(1 + \frac{K_{\text{р}} W'}{100} \right) \left(\frac{1}{\rho_{\text{д.в}}} + \frac{W - W_{\text{н}}}{100 \rho_{\text{в}}} \right), \quad (4)$$

где 1,091 – коэффициент увеличения объема при замерзании воды;

W – средняя влажность срезанной древесины, %;

$W_{\text{н}}$ – количество незамерзшей влаги, %.

Подставив в формулу (1) выражения (2) – (4), получим

$$\alpha_{\text{упл}} = \rho_{\text{баз}} \left[\frac{1}{\rho_{\text{д.в}}} + \frac{W' + 1,091(W - W_{\text{н}})}{100 \rho_{\text{в}}} \right]. \quad (5)$$

При определении $\alpha_{\text{упл}}$ при распиловке талой древесины в вышеприведенной формуле $W_{\text{н}} = W$.

Количество незамерзшей влаги найдем по уравнению Б.С. Чудинова [2]:

$$W_{\text{н}} = 12 + 18e^{0,057(t+2)},$$

где e – основание натурального логарифма;

t – отрицательная температура, °С.

Под давлением, даже незначительным, лед тает [1]. При резании на лезвии резца возникают усилия в несколько раз больше тех, которые необходимы для таяния льда.

Для того, чтобы установить при каких температурах мерзлой древесины усилия резания будет достаточно для превращения льда в воду, была проведена серия опытов по определению влияния различных факторов на коэффициент уплотнения древесины.

При изучении влияния плотности и направления волокон использовали однофакторные эксперименты.

Стружкообразование при лесопилении происходит путем непосредственного сжатия древесины поперек волокон передней гранью резца в полуограниченном пространстве. Поэтому эксперименты ставили именно на сжатие древесины в замкнутом пространстве при различных значениях температуры и влажности. Для этого было изготовлено специальное опытное приспособление. Чтобы снизить до минимума теплопоглощение охлажденного до определенной температуры образца, стальную обойму, куда закладывали образец, теплоизолировали. Приспособление выполнено таким образом, чтобы уплотнение происходило в замкнутом пространстве. Ввиду сложности изготовления стальной обоймы с прямоугольным отверстием было принято решение отступить от общепринятой формы образцов древесины, поэтому для экспериментов на сжатие в направлении вдоль и поперек волокон использовали образцы цилиндрической формы: диаметр 20 мм; высота 25 мм.

Все образцы в пределах одной породы изготавливались из одной доски, выпиленной из срединной части бревна, чтобы обеспечить необходимую точность при проведении испытаний.

Образцы закладывали в морозильную камеру «Бирюса-280». Температуру в камере поддерживали с помощью электронного блока управления на уровне – 35, – 25, – 15, – 5, 0 и + 5 °С. Погрешность измерения температуры в рабочем объеме камеры составляла ± 1 °С от заданной.

Образцы взвешивали на электронных весах марки MW-II перед и после эксперимента, чтобы в дальнейшем можно было уточнить их влажность. Исследования выполняли на разрывной машине Р-5. Приборы и установка для проведения эксперимента прошли поверку. В ходе испытаний выяснилось, что при температуре – 5 °С в образце под давлением начинает плавиться лед, и, соответственно, коэффициент уплотнения уменьшается.

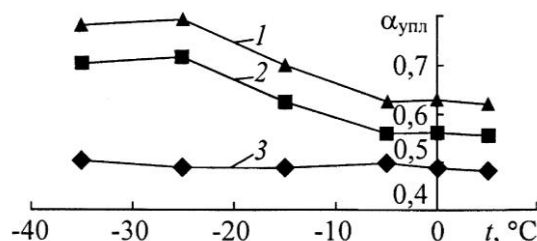
Экспериментальное значение коэффициента уплотнения определяли по формуле

$$\alpha_{\text{упл}} = \frac{V_{\text{с(упл)}}}{V_{\text{с}}},$$

где $V_{\text{с(упл)}}$ – конечный объем образца, мм³;
 $V_{\text{с}}$ – начальный объем образца, мм³.

5 Из анализа графиков, приведенных на рис. 1, видно, что с понижением температуры ниже нуля значение коэффициента уплотнения возрастает, причем, чем больше влажность, тем выше коэффициент. Для наглядности экспериментальные точки, показывающие влияние температуры и влажности на коэффициент уплотнения древесины, соединены линией. Характер графиков при сжатии образцов сосны вдоль и поперек волокон схож (рис. 1, 2).

Рис. 1. Влияние температуры t и влажности W на коэффициент уплотнения $\alpha_{\text{упл}}$ древесины сосны при сжатии в замкнутом пространстве поперек волокон: 1 – $W = 50 \dots 80$ %; 2 – $30 \dots 50$; 3 – 15 %



В ходе проведенных ранее экспериментов по сжатию древесины сосны и лиственницы при отрицательных и положительных температурах древесина лиственницы имеет коэффициент сжатия в среднем на 25 % больше. Это объясняется тем, что плотность лиственницы значительно больше плотности сосны.

На рис. 2 показано влияние температуры и влажности на коэффициент уплотнения при различной плотности древесины (сжатие ядра или заболони).

Из графиков на рис. 2 видно, что при сжатии ядровой древесины с влажностью 12 ... 14 % коэффициент уплотнения больше, чем при сжатии заболонной древесины; при сжатии более влажной древесины коэффициент уплотнения практически одинаков.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что с увеличением плотности коэффициент уплотнения древесины возрастает.

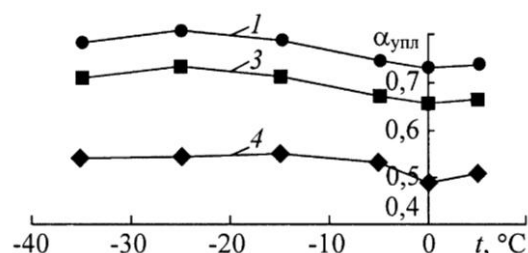
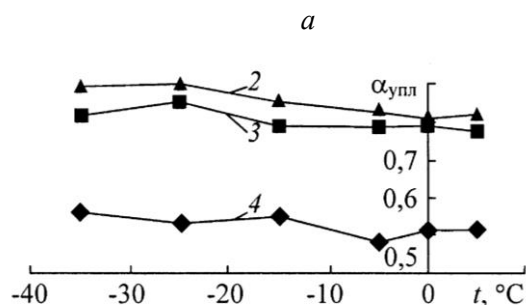
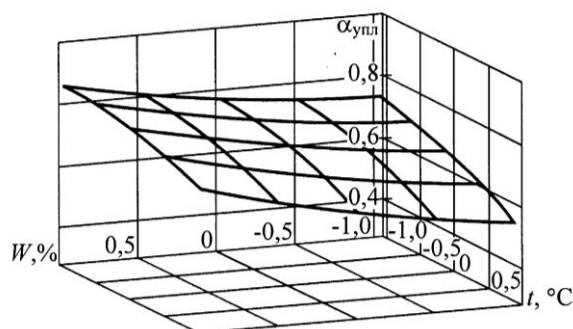


Рис. 2. Влияние t и W на $\alpha_{\text{упл}}$ древесины сосны при сжатии в замкнутом пространстве вдоль волокон: а – заболонная часть; б – ядровая часть; 1 – $W = 120$ %; 2 – 75 ; 3 – 50 ; 4 – 12 %



Рис. 3 Влияние t и W на $\alpha_{\text{упл}}$ древесины

В связи с тем, что при пилении площадь древесины, сжимаемая передней гранью, в несколько раз меньше площади образцов, сжимаемых в нашем эксперименте, а скорость резания намного больше скорости нагружения наших образцов, было решено проверить влияние скорости нагружения и диаметра образцов на коэффициент уплотнения древесины. Для этого был проведен многофакторный эксперимент и получена математическая модель с использованием для четырех факторов плана второго порядка B_4 .

При этом были выбраны следующие уровни варьирования факторов:

1 – диаметр образца d (x_1) (масштабный фактор), $8 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$, среднее значение $d = 14 \text{ мм}$;

2 – влажность W (x_2), $40 \% \leq W \leq 72 \%$, среднее значение $W = 56 \%$;

3 – температура t (x_3), $-27 \text{ °C} \leq t \leq -3 \text{ °C}$, основное значение $t = -15 \text{ °C}$;

4 – скорость перемещения пуансона V (x_4), (динамический фактор), $4 \text{ мм/мин} \leq V \leq 28 \text{ мм/мин}$, среднее значение $V = 16 \text{ мм/мин}$.

Для каждого уровня варьирования было проведено 6 опытов, что позволило достичь требуемой точности.

В результате по экспериментальным данным в нормализованном виде была получена математическая модель, описывающая зависимость коэффициента уплотнения от вышеперечисленных четырех факторов:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0,803 + 0,019 x_1 + 0,064 x_2 - 0,062 x_3 - 0,059 x_1^2 + 0,022 x_2^2 - 0,028 x_3^2 - 0,039 x_4^2 + 0,017 x_1 x_2 + 0,021 x_2 x_3 - 0,015 x_1 x_3 + 0,010 x_1 x_4.$$

Значения выходной величины, усредненные по каждой серии опытов, и значения функции отклика очень близки, разница не превышает 7 %.

При анализе полученной модели установлено, что основное влияние на коэффициент уплотнения древесины во впадине зубьев оказывают влажность x_2 и температура x_3 (рис. 3). Скорость перемещения пуансона x_4 и диаметр образца x_1 влияния на коэффициент уплотнения практически не оказывают.

Сравнивая значения функции отклика, полученные по данной математической зависимости, со средними значениями коэффициента уплотнения, найденными по формуле (5), можно отметить, что разница между ними не превышает 15 %.

В настоящее время при расчете режимов распиловки на лесопильных станках коэффициент уплотнения принимают равным единице. Проведенные теоретические

и экспериментальные исследования показали, что коэффициент уплотнения не превышает значения 0,9 даже при пилении влажной мерзлой древесины. Это уточнение позволит повысить производительность лесопильных цехов за счет выбора оптимальной подачи заготовки с учетом коэффициента уплотнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цитович Н.А.* Механика мерзлых грунтов: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1973. 448 с.
2. *Чудинов Б.С.* Теория тепловой обработки древесины. М.: Наука, 1968. 256 с.

N.V. Vishurenko, I.S. Korchma

Siberian State Technological University

Dependence of Wood Compression Rate on Hydrothermal Factors

Formula for determination of wood compression rate is provided; experiments on frozen wood compression in the closed space and comparative assessment of compression coefficients are carried out.

Keywords: frozen wood, temperature, humidity, compression rate, compression, pine, larch, basic density.

УДК 674.07:667.61

А.В. Мелешко, Г.О. Манулик, С.С. Романова, А.И. Скрипальщиков

Сибирский государственный технологический университет

Мелешко Александр Владимирович родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 160 печатных работ в области отделки изделий из древесины и автоматизированного проектирования процессов отделки.
E-mail: meleshco@mail.ru



Манулик Григорий Олегович родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Сибирский государственный технологический университет, ассистент, аспирант кафедры технологии деревообработки Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 10 печатных работ в области отделки изделий из древесины.
E-mail: grisha.1984@mail.ru



Романова Светлана Сергеевна родилась в 1985 г., окончила в 2007 г. Сибирский государственный технологический университет, ассистент, аспирант кафедры технологии деревообработки Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 10 печатных работ в области отделки изделий из древесины.
E-mail: romsvs@mail.ru



Скрипальщиков Андрей Игоревич родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры технологии деревообработки СибГТУ. Имеет 4 печатные работы в области отделки изделий из древесины.
E-mail: sibstu@mail.ru

ПРОБЛЕМА ОТДЕЛКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД ВОДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Рассмотрены основные аспекты взаимодействия водных лакокрасочных материалов с поверхностью древесины хвойных пород и процессы формирования покрытий; предложены пути повышения эффективности технологического процесса.

Ключевые слова: древесина хвойных пород, водные лакокрасочные материалы, набухание, шероховатость древесины, влагораспределение, водопоглощение, водопроницаемость покрытий.

В последние годы производители мебели, столярно-строительных изделий и т.д. отдают предпочтение водно-дисперсионным лакокрасочным материалам (ЛКМ), как полноценным заменителям традиционных ЛКМ. Покрытия, образованные водными ЛКМ, характеризуются водостойкостью и паропроницаемостью. При взаимодействии водных материалов с поверхностью древесины хвойных пород происходит неравномерное набухание поверхностного слоя на границе ранней и поздней зон.

Окрашивание поверхности хвойной древесины растворами водных красителей не обеспечивает равномерности окраски, при этом проявляется «негативный» рисунок текстуры древесины. Равномерную естественную окраску поверхности можно получить, используя водно-дисперсионные красители [3].

При формировании многослойного покрытия происходит многократное взаимодействие древесины с водой за счет частичной проницаемости промежуточных слоев покрытия, что приводит к большему набуханию, неравномерному блеску, уве-

личению шероховатости и продолжительности сушки. Следовательно, при многократном нанесении на поверхность древесины лакокрасочных материалов проницаемость промежуточных слоев будет оказывать влияние на покрытие в целом [4].

В процессе эксплуатации в атмосферных условиях изделия подвергаются прямому воздействию воды. При этом происходит набухание пленки и, как следствие, ее разрушение, особенно это проявляется на острых гранях изделия. В связи с этим требуется создание грунтовочного состава, позволяющего минимизировать последующее проникновение воды в древесину и не требующего промежуточного шлифования, но при этом имеющего адгезионную прочность с покровным материалом. Таким образом, тема исследований, связанная с разработкой способов ускорения отверждения ЛКМ на водной основе и улучшения качества защитно-декоративных покрытий, является актуальной.

Цель исследований – изучение взаимодействия водно-дисперсионных материалов с поверхностью древесины хвойных пород для совершенствования процессов отделки и увеличения срока службы покрытий.

Сорбция поверхностных слоев древесины при нанесении на нее жидкостей сопровождается их набуханием. Хотя взаимодействие древесины с растворителями в этом случае кратковременно и набухание происходит только в поверхностных слоях древесины, тем не менее, оно может вызвать появление неровностей в виде поднявшегося ворса, микротрещин, коробления краев пор и т.д. Максимальное набухание отмечается также на участках с остаточными деформациями поверхности, связанными с затуплением режущего инструмента, смятием отдельных участков при механической обработке [1]. При качественной подготовке поверхности можно обеспечить полное удаление ворса, исключив операцию предварительного шлифования, и при рассмотрении процессов крашения водными составами древесины хвойных пород необходимо минимизировать набухание поверхности.

Для изучения изменения линейных размеров поверхностного слоя древесины сосны при формировании покрытий водоразбавляемыми ЛКМ использовали фрезерованные образцы древесины радиального и тангенциального разрезов размерами 100×100×25 мм и влажностью 6...8 %. Готовые образцы были предварительно смочены водой и прошлифованы мелкозернистой шкуркой до шероховатости $R_z = 32$ мкм. Для формирования покрытий применяли глянцевый акриловый лак AZ2130/00 фирмы «Sayerlack», который наносили толщиной 100, 150 и 200 мкм в жидком слое. Сушку покрытий осуществляли в нормальных условиях при температуре (20 ± 2) °С.

Изменение линейных размеров поверхностного слоя (набухание) древесины определяли индикаторным глубиномером, толщину лакокрасочного покрытия – микроскопом МИС-11, микрошероховатость R_z – профилометром TR100. Измерение на образце проводили поперек волокон по трем контрольным точкам в трех зонах: ядровой, заболонной, на границе ядра и заболони.

По результатам исследований выявлено, что происходит изменение линейных размеров поверхностного слоя древесины при ее взаимодействии с водными ЛКМ. Ранняя зона годичного слоя набухает больше, чем поздняя: на радиальном разрезе увеличение линейных размеров ранней зоны составило 160 мкм, поздней – 140 мкм; на тангенциальном – соответственно 70 и 60 мкм. При этом набухание на тангенциальном разрезе происходит более неравномерно.

Параллельно проводились исследования по определению микрошероховатости. При формировании покрытия микрошероховатость лакированной поверхности древесины по сравнению с исходной снижается на радиальном разрезе на 10 мкм, на тангенциальном на 6 мкм.

При изменении толщины ЛКМ в жидком слое от 100 до 200 мкм происходит увеличение набухания поверхностного слоя древесины радиального разреза на 20 мкм, тангенциального на 100 мкм, при этом микрошероховатость снижается на 10 мкм.

Из полученных результатов следует, что при формировании покрытий водными ЛКМ изменяются линейные размеры поверхностного слоя (набухание поверхности древесины) как в ранней, так и в поздней зоне годичного слоя; с повышением расхода ЛКМ увеличивается продолжительность контакта материала с подложкой и, как следствие, повышается набухание поверхностного слоя; основное влияние на декоративные свойства покрытия оказывает неравномерное набухание поверхностного слоя древесной подложки.

Вода, проникая через покрытие и растворяя водорастворимые частицы полимерной пленки, устремляется к подложке. Древесина, обладающая гигроскопичностью, поглощает проникающую влагу и изменяет при этом свои размеры. При сушке изделия происходит обратный процесс: древесина медленно отдает влагу, уменьшая свои размеры до тех пор, пока не достигнет равновесной влажности. Эти амплитудные колебания подложки приводят к дополнительной деструкции пленки, что выражается в появлении микротрещин. После появления микротрещин (даже в небольшом количестве) влажность древесины изменяется с изменением влажности окружающей среды. Под ее воздействием древесина еще больше изменяется в размерах (особенно поперек волокон), появляются трещины уже по всей поверхности изделия. В условиях Сибирского региона, где возможны колебания температуры окружающего воздуха от 60 до – 40 °С, растрескивание и отслоение покрытия протекает еще интенсивнее. Это можно объяснить тем, что влага, находящаяся в древесине, конденсируется при разных температурах. При температуре 0 °С влага конденсируется, образуя «водяной карман» в точке росы, который находится под лакокрасочным покрытием (ЛКП). При понижении температуры этот карман, замерзая, отслаивает покрытие от древесины. В жаркое время года его отслоение происходит по причине давления нагретой влаги, накопившейся в древесине за зимний период.

Рассмотренный выше случай попадания влаги под ЛКП в полной мере справедлив для «недышащих» покрытий. Вопрос распределения влаги под поверхностью паропроницаемого ЛКП на основе водно-дисперсионных материалов недостаточно изучен.

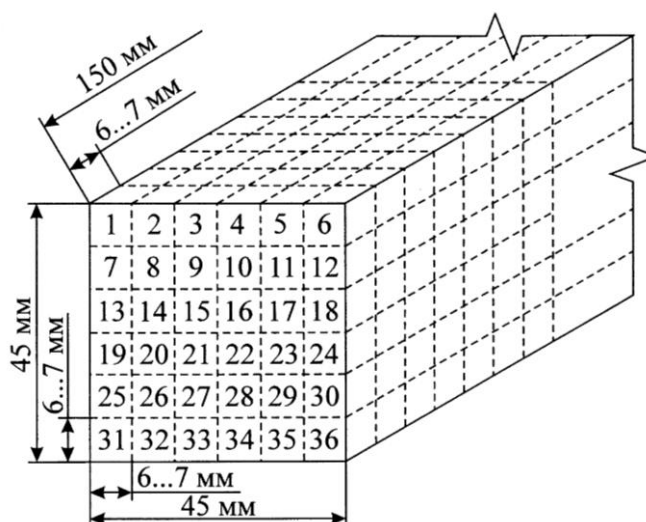


Рис. 1. Схема раскроя секции для определения распределения влажности в поперечном сечении пиломатериалов

Для понимания механизма влагораспределения было исследовано распределение влаги по сечению лакированной древесины. Для этого была использована древесина сосны с радиальным, тангенциальным и торцовым срезом. Образцы были изготовлены в форме прямоугольной призмы с основанием 45×45 мм и высотой вдоль волокон 160 мм. На образцы были нанесены один слой изоляционного грунта АМ473 и два слоя лака AZ2130/00 фирмы «Sayerlack». Сушку покрытий осуществляли при нормальных условиях (температура (20 ± 2) °С).

В процессе испытаний в воду погружали 3 группы образцов: в первой группе покрытие на образцах отсутствовало, замачивание проводили в течение 24 ч; во второй и третьей группах на образцы было нанесено ЛКП, замачивание проводили в течение соответственно 24 и 48 ч. После замачивания образцы раскраивали на секции толщиной 5...7 мм. Секции раскалывали на фрагменты размером $6,5 \times 6,5$ мм (6 фрагментов по длине и 6 по толщине) в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1. Перед раскромом фрагменты секции маркировали. Текущую влажность фрагментов определяли сушильно-весовым способом по ГОСТ 16588.

Полученные данные позволяют наглядно представить распределение влаги по сечению лакированной древесины и показывают, что влага неравномерно распределяется по сечению экспериментального образца: сначала древесина насыщается в зоне контакта, затем влага движется от краев к центру под действием градиента влажности в сторону понижающейся влажности (рис. 2). При этом скорость движения влаги в радиальном и тангенциальном направлениях в 4–6 раз меньше, чем вдоль волокон, а скорость движения влаги в радиальном направлении в 1,5–3 раза больше, чем в тангенциальном направлении (это можно объяснить различным содержанием поздней древесины). Влага за сутки проникала в радиальном и тангенциальном направлениях на глубину до 10 мм. Стоит отметить, что соотношение влажностей внешних и внутренних поверхностей составляет 1,6:1,0 (это можно объяснить тем, что ЛКП в силу своей пористости замедляет процесс переноса воды к подложке, следовательно, у влаги больше времени для равномерного распределения по сечению).

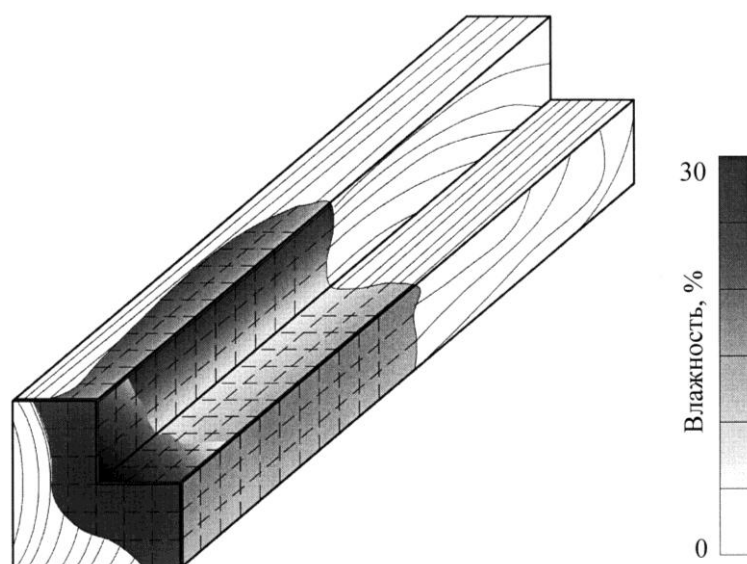


Рис. 2. Распределение влажности по объему лакированной древесины

Рассмотренный случай влагораспределения в полной степени справедлив лишь для понимания механизма распределения влаги по всему сечению. Для понимания распределения влаги непосредственно под поверхностью покрытия необходимы более детальные исследования приграничной области «ЛКМ – подложка». Необходимо изучить влияние концентрации водяных паров на изменение защитных свойств при температурно-влажностных воздействиях.

На свойства покрытий влияют состав ЛКМ и условия пленкообразования, характер взаимного распределения несовместимых компонентов, строение и структура исходных латексных частиц. Следовательно, уменьшение водопроницаемости пленок может быть обеспечено за счет увеличения температуры отверждения и многослойности покрытий [5].

Для контроля процессов отверждения водоразбавляемых ЛКМ и определения водопроницаемости грунтовочного слоя покрытий на древесине хвойных пород предложен кондуктометрический метод с использованием мегаомметра Ф4101, измеряющего электрическое сопротивление покрытия на границе «ЛКМ – подложка». Расстояние между электродами, внедренными на всю глубину древесины, принято равным 20 мм. Исследования проводили на образцах древесины сосны радиального и поперечного разрезов размерами 80×60×15 мм. В эксперименте применяли водоразбавляемый акриловый лак «Суперкрил» фирмы «AkzoNobel» при нанесении толщиной 200 мкм в жидком слое. Сушку покрытия осуществляли при нормальных условиях (температура $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$) и температуре 50°C .

По предварительным данным установлено, что время отверждения однослойного покрытия на образцах радиального разреза составило 1 ч при температуре 50°C и 2 ч при нормальных условиях, на образцах поперечного разреза – соответственно 0,5 и 1 ч (это связано с анатомическим строением древесины). Технологическая выдержка перед нанесением второго слоя при нормальных условиях составляла 0,5 ч, при температуре 50°C она не производилась. Второй слой наносили толщиной 200 мкм для всех образцов и отверждали при тех же условиях, что и первый. При этом водопроницаемость грунтовочного слоя контролировали по величине электрического сопротивления.

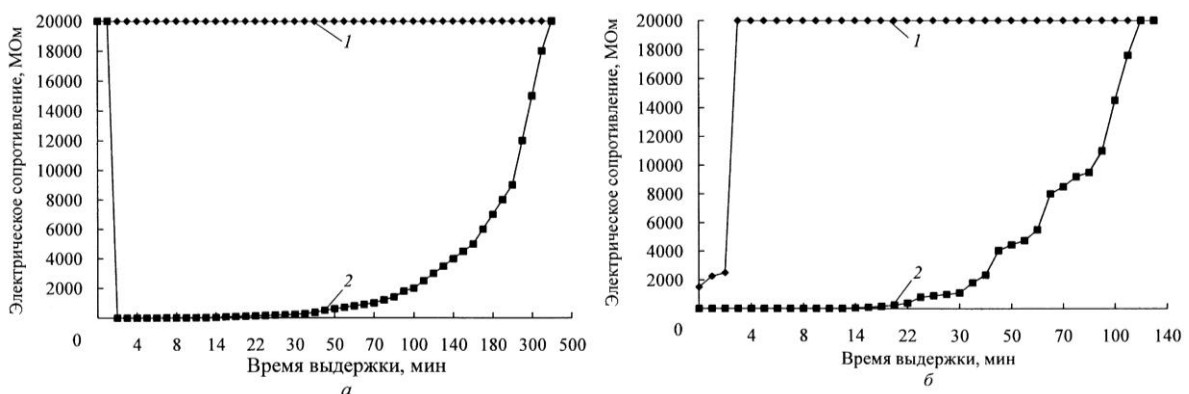


Рис. 3. Изменение электрического сопротивления при отверждении в процессе сушки второго слоя лака на образцах древесины сосны радиального (а) и поперечного (б) разрезов:

1 – температура 50°C ; 2 – нормальные условия

На рис. 3, а представлено изменение электрического сопротивления на границе «ЛКМ – подложка» в процессе отверждения второго слоя лака, сформированного на образцах радиального разреза древесины сосны, при разных температурных условиях. Установлено, что при нормальных условиях происходит проникновение воды в древесину через грунтовочный слой за 2 мин, и ее последующее удаление в течение 400 мин, тогда как при температуре 50 °С первый слой толщиной 200 мкм препятствует проникновению воды в древесину.

На образцах поперечного разреза древесины сосны проникновение воды в древесину через грунтовочный слой происходит незамедлительно, и продолжительность ее удаления при нормальных условиях составляет 130 мин. При температуре 50 °С непосредственно в момент контакта происходит частичное проникновение воды, которая в последующем удаляется в течение 4 мин (рис. 3, б). Это объясняется тем, что при более высокой (по сравнению с нормальными условиями) температуре происходит более интенсивное слияние глобул, т.е. большее уплотнение молекул полимера. Таким образом, формирование покрытий при повышенных температурах позволяет обеспечить водостойкость грунтовочного слоя при толщине 200 мкм.

Таким образом, свойства покрытий на основе водных материалов определяются как технологическими режимами, так и видом разреза древесины сосны. Эти обстоятельства необходимо учитывать при совершенствовании технологии отделки хвойной древесины водными лакокрасочными материалами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буглай Б.М. Технология отделки древесины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 304 с.
2. Жуков Е.В., Онегин В.И. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. М.: Экология, 1993. 304 с.
3. Мелешко А.В., Логинова Г.А., Сычев А.Н. Новые лакокрасочные материалы для прозрачной отделки изделий из древесины хвойных пород // Деревообр. пром-сть. 2000. № 4. С. 19–21.
4. Чалых А.Е. Диффузия в полимерных системах. М.: Химия, 1987. 312 с.
5. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Л.: Химия, 1989. 384 с.

A.V. Meleshko, G.O. Manulik, S.S. Romanova, A.I. Skripalshchikov
Siberian State Technological University

Problem of Furnishing Products Made of Coniferous Wood by Aqueous Materials

The main aspects of interaction of aqueous varnish-and-paint materials with surface of coniferous wood and processes of surface formation are considered. The ways for increasing efficiency of technological processes are offered.

Keywords: coniferous wood, aqueous varnish-and-paint materials, swelling, wood roughness, moisture distribution, water absorption, water penetration of coverings.

УДК 674.093.6.05:62-114

В.А. Лозовой, И.А. Балдаков

Лозовой Владимир Андреевич родился в 1945 г., окончил в 1969 г. Красноярский политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесозаготовок Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 70 научных работ в области динамики машин и моделирования технологических процессов.
Тел.: 8(391) 2-275-311.



Балдаков Иван Александрович родился в 1983 г., окончил в 2006 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант, ассистент кафедры технологии и оборудования лесозаготовок СибГТУ.
E-mail: Baldakov_Ivan@mail.ru



СИНХРОНИЗАЦИЯ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ МЕХАНИЗМАМИ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

Предложено теоретическое обоснование скорости перемещения хлыстов механизмами поточных линий.

Ключевые слова: коэффициент заполнения упоров, синхронизация, матрица, система координат.

Слешерные установки относятся к поточным линиям непрерывного действия с поперечным перемещением хлыстов. Если в состав технологических операций входят разобшение пакетов хлыстов; создание и перемещение щети из хлыстов, ориентация хлыстов относительно круглых пил; надвигание хлыстов на круглые пилы упорами поперечного транспортера надвигания, то на каждом агрегате (механизме) в процессе работы находится хлыст или группа хлыстов. Этим достигается непрерывность технологического процесса.

Формула для определения производительности [2] включает в себя, помимо прочих составляющих, коэффициент заполнения упоров и время цикла раскряжевки $t_{ц}$. При этом определяющую роль играет шаг между упорами надвигания $l_{уп}$.

Отношение шага упоров $l_{уп}$ к скорости надвигания u определяет время цикла $t_{ц}$ раскряжевки: $l_{уп} / u = t_{ц}$. В течение 1 ч работы линии должно быть заполнено n упоров: $3600/t_{ц} = n$. При сбоях в работе отдельных механизмов, изменении ориентации хлыста, несогласованности скоростей перемещения относительно транспортера надвигания возникают пропуски заполнения упоров. Предположим, что за то же время наблюдения оказалось n_1 незаполненных упоров.

Отношение количества незаполненных упоров n_1 за определенный промежуток времени (минуты, часы, смены) к количеству заполненных упоров n называется коэффициентом заполнения упоров слешера:

$$K_{уп} = \frac{n_1}{n}.$$

Этот коэффициент, в отличие от других величин, изменяется в значительных пределах и зависит главным образом от подготовительных переместительных операций перед раскряжевкой. Эти операции производят околостаночные или «околослешерные» механизмы.

Все механизмы имеют определенные скорости и расстояния, на которые они перемещают хлысты. При этом, чтобы получить коэффициент заполнения упоров,

близкий к единице, необходимо согласование (синхронизация) скоростей механизмов и расстояний перемещения с временем цикла раскряжевки $t_{ц}$.

Назначение скоростей надвигания и расстояний между упорами должно согласовываться со скоростями околостаночного оборудования.

Рассмотрим состав поточной линии непрерывного действия ЛО-105, которая состоит из следующих основных механизмов: разобшитель пачек хлыстов (ЛТх-80); торцевыравнивающий шнековый транспортер; отсекаль-сбрасыватель; поперечный транспортер надвигания на пильные диски.

Составим расчетную схему поточной линии применительно к предложенному в работе [3] методу моделирования с применением матричных преобразований координат.

За начальную систему координат примем систему $Ox_0y_0z_0$ с началом координат, расположенным в центре комлевого среза хлыста № 1, начавшего движение под действием толкателей ЛТх-80 (рис. 1, поз. 1). Движение хлыста № 1 осуществляется под углом α на расстояние a , равное шагу толкателей. Система координат $O_1x_1y_1z_1$ расположена в центре комлевого среза хлыста № 2, который готов начать движение ориентации на шнековом транспортере (поз. 2). Система координат $O_2x_2y_2z_2$ расположена в центре комлевого среза хлыста № 3, который подготовлен к сбрасыванию сбрасывателем-толкателем (поз. 3); система координат $O_3x_3y_3z_3$ расположена в центре комлевого среза хлыста № 4, который готов начать перемещение под действием упоров транспортера надвигания на пильные диски (рис. 1, поз. 5).

Таким образом, на расчетной схеме размещено четыре хлыста, которые имитируют непрерывность работы слесерной установки.

При размещении системы координат сделаны следующие допущения:

системы координат $Ox_0y_0z_0$, $O_1x_1y_1z_1$, $O_2x_2y_2z_2$, $O_3x_3y_3z_3$, $O_4x_4y_4z_4$, $O_5x_5y_5z_5$, $O_6x_6y_6z_6$, жестко связаны с хлыстами;

хлысты во время перемещения не вращаются и тем самым не меняют ориентацию осей координат относительно хлыстов.

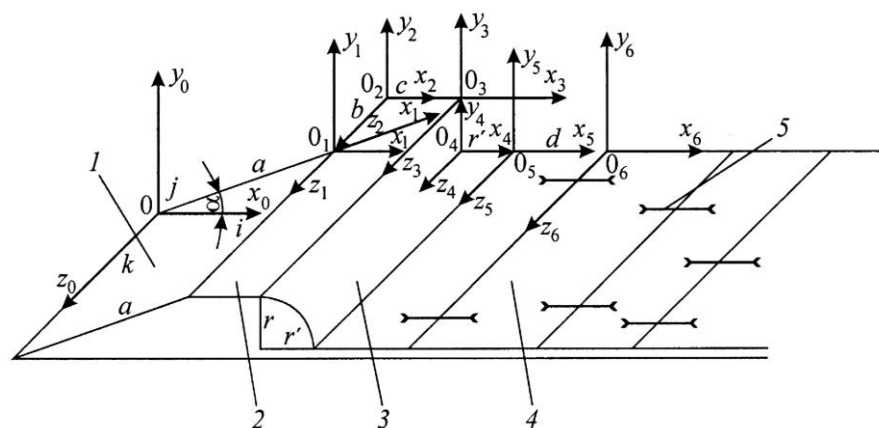


Рис. 1. Расчетная схема слесера ЛО-105 с преобразованными координатами: 1 – разобшитель; 2 – шнековый транспортер; 3 – сбрасыватель, отсекаль; 4 – транспортер надвигания; 5 – пильные диски; (a – длина шага толкателя; b – продольное расстояние ориентации хлыстов; c – поперечное перемещение хлыста шнековым транспортером; r , r' – перемещение хлыста при сбрасывании; d – перемещение поперечным транспортером на шаг между упорами надвигания)

Для преобразования координат, а соответственно для перемещения по агрегатам необходимо совершить определенные действия с системами координат $OX_0Y_0Z_0$, $O_1X_1Y_1Z_1$, $O_2X_2Y_2Z_2$, $O_3X_3Y_3Z_3$, $O_4X_4Y_4Z_4$: $O_5X_5Y_5Z_5$:

систему координат $OX_0Y_0Z_0$ повернуть вокруг единичного вектора j (ось Z) на угол α , а начало координат совместить с O_1 , сдвинув O на расстояние a (рис. 1);

систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$ сдвинуть на расстояние b и совместить ось X_1 с осью X_2 поворотом вокруг вектора j (ось Z) на угол α ;

систему координат $O_2X_2Y_2Z_2$ необходимо сдвинуть на расстояние c , совместив начало координат O_2 и O_3 и соответственно оси координат X_1X_2 ; Y_1Y_2 ; Z_1Z_2 ;

начало координат системы $O_3X_3Y_3Z_3$ совместить с началом координат $O_4X_4Y_4Z_4$, соответственно сдвинув оси координат на расстояние r ;

начало координат O_4 совместить с началом координат системы $O_5X_5Y_5Z_5$, сдвинув на расстояние r' ;

начало системы координат $O_5X_5Y_5Z_5$ совместить с началом координат системы $O_6X_6Y_6Z_6$, сдвинув на расстояние d .

Запишем сокращенно матрицы перехода:

$$A = B_{\text{вр}}(\vec{k}, \alpha) \cdot B_{\text{сд}}(\vec{i}, \alpha) \cdot B_{\text{сд}}(\vec{k}, -b) \cdot B_{\text{вр}}(\vec{k}, \alpha) \cdot B_{\text{сд}}(\vec{i}, c) \cdot B_{\text{сд}}(\vec{j}, -r) \cdot B_{\text{сд}}(\vec{i}, r') \cdot B_{\text{сд}}(\vec{i}, d). \quad (1)$$

Полученная матрица A представляет собой структурную запись или структурную формулу технологического процесса по перемещениям. При перемножении матрицы A получим координаты комлевого среза хлыста перед раскряжевкой.

В данном случае (рис. 1) процесс перемещения можно представить как сумму векторов (рис. 2), при этом результирующим вектором R_0 будет вектор-радиус, начало которого исходит из начала системы координат $OX_0Y_0Z_0$, т. е. координаты вектор-радиуса R_0 являются координатами комлевого среза хлыста в системе координат $OX_0Y_0Z_0$, поскольку выражение (1) можно раскрыть следующим образом [3]:

$$A = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(-\alpha) & -\sin(-\alpha) & 0 & 0 \\ \sin(-\alpha) & \cos(-\alpha) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -r \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

После перемножения матриц получим матрицу A с координатами вектор-радиуса R_0 .

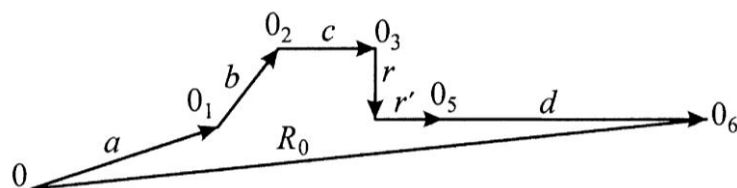


Рис. 2. Векторная сумма перемещений на линии ЛО-105

Поточная линия ЛО-105 является линией непрерывного действия. Это подразумевает, что в любой момент времени на каждом из ранее перечисленных механизмов находится древесный хлыст, предназначенный для раскряжевки многопильным агрегатом (слешером). Таким образом, если бы не было никаких механизмов, то, чтобы обеспечить раскряжевку единичного хлыста (рис. 2) из т. O по радиус-вектору R_0 , хлыст надо было бы подавать за время, равное времени цикла раскряжевки $t_{ц}$. Скорость его подачи (перемещения из т. O в т. O_6 по радиус-вектору R_0):

$$V_0 = \frac{R_0}{t_{ц}}. \quad (3)$$

В силу свойств распределительности и сочетательности суммы векторов и возможности составлять векторные выражения, имеющие тот же вид, что и многочлены первой степени в алгебре [1], можно составить следующее векторное выражение:

$$R_0 = a + b + c + r + r' + d. \quad (4)$$

Разделим выражение (4) на одно и то же скалярное число $t_{ц}$ и получим новые векторы:

$$\frac{R_0}{t_{ц}} = \frac{a}{t_{ц}} + \frac{b}{t_{ц}} + \frac{c}{t_{ц}} + \frac{r}{t_{ц}} + \frac{r'}{t_{ц}} + \frac{d}{t_{ц}}; \quad (5)$$

$$V_0 = V_{раз} + V_{прод} + V_{поп} + V_{вер} + V_{гор} + V_{над}, \quad (6)$$

- где $V_{раз}$ – скорость перемещения хлыста в процессе выдачи с разобшителя, м/с;
 $V_{прод}$ – скорость продольного перемещения хлыста цилиндрической частью шнеков, м/с;
 $V_{поп}$ – скорость поперечного перемещения хлыста витками шнеков, м/с;
 $V_{вер}$ – вертикальная составляющая перемещения хлыста при сбрасывании по окружности отсекателем-сбрасывателем, м/с;
 $V_{гор}$ – горизонтальная составляющая перемещения хлыста при сбрасывании по окружности отсекателем-сбрасывателем, м/с;
 $V_{над}$ – скорость надвигания хлыста на пильные диски поперечным транспортом надвигания, м/с.

Физическая сущность векторного равенства (6) заключается в следующем. Имеем множество хлыстов N . При отсутствии механизмов с векторами перемещения a, b, c, r, r', d (рис. 2) можно перемещать хлыст по вектору R_0 со скоростью V_0 , при этом время цикла раскряжевки хлыста будет равно $t_{ц}$. Но поскольку такое перемещение не подготовит хлыст к программной или рациональной раскряжевке, то вынуждены иметь механизмы с перемещением по векторам a, b, c, r, r', d . В этом и заключается непрерывность работы поточной линии: на каждом механизме в любой момент времени должен быть хлыст, перемещающийся каждый со своей скоростью. В силу (6) эти скорости таковы, что с упора слешера по вектору d будет сходить раскряжеванный хлыст через каждые $t_{ц}$, с. т. е. процесс будет непрерывным.

Векторное равенство (6) представляет собой сумму векторов, которые определяют, при численных значениях, необходимые скорости перемещения хлыстов на смежных агрегатах слешера, что обеспечит постоянную загрузку упоров слешера и заданную производительность, т. е. при данных скоростях (6) коэффициент заполнения упоров должен быть равен единице.

Коэффициент заполнения упоров позволяет судить как о точности синхронизации скорости перемещения хлыстов на смежных механизмах слешера, так и об устойчивости процесса относительно различных случайных факторов, которые в данный момент не рассматриваются.

При проектировании коэффициент заполнения упоров принимается равным 0,8. На практике, по разным причинам, он оказывался ниже, что влекло за собой снижение производительности на 40...50 %.

Таким образом, нами предложен метод расчета скоростей перемещения хлыстов механизмами поточных линий, который позволяет на стадии проектирования обоснованно назначать скорости хлыстов на околостаночном оборудовании.

Этот метод применим к поточным линиям любого, не только слешерного типа. Главное условие – наличие задающего ритм потока станка или агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Выгодский М.Я.* Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1973. 372 с.
2. *Залегаллер Б.Г., Ласточкин П. В., Бойков С.П.* Технология и оборудование лесных складов: учеб. для вузов. 3-е изд., испр., доп. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 352 с.
3. *Лозовой В.А.* Структурный синтез поточных линий для обработки древесного сырья: дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск: 2000. 295 с.

V.A. Lozovoy, I.A. Baldakov
Siberian State Technological University

Synchronization of Traverse Speeds of Wood Raw Material by Production Line Mechanism

The article presents theoretical basis for determining the speed of trunks transference by production lines.

Keywords: block coefficient of supports, synchronization, matrix, coordinate system.

УДК 674.076.077

А.В. Мелешко, Ю.В. Хлоптунова, Г.А. Логинова

Сибирский государственный технологический университет

Хлоптунова Юлия Владимировна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 40 печатных работ в области исследования и прогнозирования свойств древесины.

E-mail: julieh@mail.ru



Логинова Галина Анатольевна родилась в 1959 году, окончила в 1983 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 50 печатных работ в области отделки хвойной древесины.

E-mail: lga@mail.ru



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ОБЪЕМНЫМ СВЕТОРАСSEИВАЮЩИМ ЭФФЕКТОМ ДЛЯ ПРОЗРАЧНОЙ ОТДЕЛКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований новых светорассеивающих лакокрасочных материалов, позволяющих создавать на поверхности древесины хвойных пород высококачественные покрытия, выравнивающие и стабилизирующие ее естественную окраску или обеспечивающие равномерное ее окрашивание.

Ключевые слова: отделка, хвойная древесина, лакокрасочные материалы, равномерное окрашивание, светорассеивающие грунты.

В настоящее время для производства мебели и столярно-строительных изделий с прозрачной отделкой наряду с лиственными породами древесины широко используется и древесина хвойных пород. Особенности анатомического строения, характеризующиеся ярко выраженной анизотропией свойств, и химический состав хвойной древесины, в отличие от твердолиственных пород, оказывают значительное влияние на качество создаваемых лакокрасочных покрытий обычными лакокрасочными материалами.

Сложность отделки хвойной древесины заключается в том, что она имеет светлые оттенки и содержит большое количество экстрактивных веществ с чередующимися ненасыщенными двойными связями, в которых при окислении и под действием УФ-облучения происходят химические превращения и деструкция. В результате этого образуются окрашенные соединения, приводящие к неравномерной окраске поверхности изделий или ее изменению при эксплуатации. Электронная теория цветности органических соединений объясняет происходящие процессы различным химическим составом ядровой и заболонной зон. В соответствии с этой теорией окраска светлых желтоватых тонов древесины хвойных пород является следствием избирательного поглощения ее компонентами излучений УФ-части спектра и фиолетово-синей области видимого света.

Для решения проблемы неравномерности окраски поверхности хвойной древесины на практике производят операцию отбеливания. Но при осветлении поверхностного слоя химическими реагентами имеет место явление реверсии. Использование

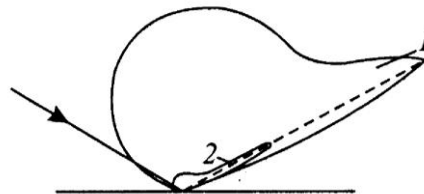
осветляющих грунтов, вуалирующих отделяемую поверхность, также малоэффективно и достаточно трудоемко. Таким образом, вопрос стабилизации цвета остается открытым.

Равномерность окраски водными растворами красителей достигается за счет использования материалов с «позитив-эффектом», содержащих в своем составе химические добавки (протравы), однако поднятие ворса и разбухание поверхностного слоя сдерживает их применение. Спирторастворимые красители преимущественно наносятся напылением. При этом не происходит глубокого проникновения красителей в древесину, и, как следствие, в результате любого, даже незначительного, механического повреждения проявляются неокрашенные участки. Таким образом, разработка новых материалов и технологий, обеспечивающих равномерное окрашивание поверхности изделий из древесины хвойных пород, является актуальной задачей.

Декоративные и оптические свойства создаваемых покрытий зависят от процессов взаимодействия светового потока с отделанной поверхностью изделия и определяются способностью системы «покрытие–древесина» отражать, пропускать и поглощать свет. Прозрачные лаковые покрытия характеризуются максимальным пропусканием светового потока, который вступает во взаимодействие с древесиной. Большая часть света отражается обратно в покрытие, остальная проникает в древесину, высокая поглощающая способность которой объясняется ее пористостью [5]. Таким образом, свет испытывает несколько отражений, прежде чем получит возможность выйти из толщи материала, в связи с чем наибольшему воздействию электромагнитного излучения подвергается древесная подложка.

Поверхность лакокрасочного покрытия на древесине нельзя рассматривать как идеально гладкую, так как она состоит из множества элементарных «зеркальных» площадок [1, 4, 6]. Таким образом, поверхности характеризуются как диффузным, так и зеркальным отражением с разницей лишь в их соотношении в общем отраженном световом потоке (рис. 1).

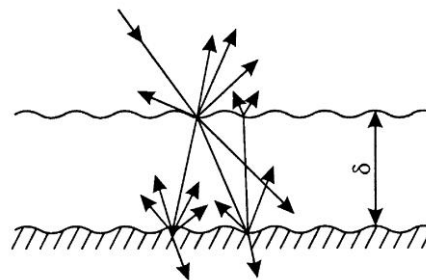
Рис. 1. Распределение в пространстве света, отраженного от полуглянцевой белой (1) и черной (2) пленок



При отделке характер отражения светового потока поверхностью древесины изменяется. Лакированная поверхность древесины приобретает блеск, свойственный лаковому покрытию, светлота ее уменьшается. Оптическое поведение такой поверхности весьма сложно (рис. 2). На границе «покрытие–древесина» образуется слой, отличающийся физико-химическими и оптическими свойствами от граничащих сред, который в большей мере, чем покрытие, определяет оптические свойства лакированной древесины. Следовательно, стабилизация оптических характеристик поверхности изделий из древесины, независимо от химического состава и структуры различных зон древесной подложки, возможна модификацией процессов ее взаимодействия со световым потоком с использованием светорассеивающих лакокрасочных материалов в качестве грунтовочного слоя.

Вопросы взаимодействия светорассеивающих материалов со световым потоком рассматриваются с позиций теории двухпоточкового приближения Гуревича–Кубелки–Мунка (ГКМ) [3].

Рис. 2. Схема преломления, отражения и рассеяния света лакокрасочным покрытием толщиной δ на древесной подложке



В соответствии с теорией ГKM свет представляется двумя рассеянными потоками, один из которых идет вниз через слой, а второй вверх. Толщина элементарного слоя dx считается малой по сравнению с толщиной всего лакокрасочного слоя X , но достаточно большой по сравнению с диаметром микронеоднородностей. Поэтому действие отдельных частиц во внимание не принимается, а учитывается их усредненное действие. Это действие выражается в уменьшении идущего вниз потока i как за счет поглощения света на величину $Kidx$, так и за счет изменения направления света в обратную сторону вследствие его рассеяния на $Sidx$, где K – коэффициент поглощения лакокрасочного слоя, характеризует часть идущего вниз потока, потерянного из-за поглощения в элементарном слое; S – коэффициент лакокрасочного слоя, характеризует часть, потерянную из-за изменения направления в результате рассеяния). Поток j , идущий вверх, ослабляется на $Kjdx$ и $Sjdx$ за счет поглощения и рассеяния аналогичным образом, но часть потока $Sidx$, изменившая направление из-за рассеяния света, идущего вниз, добавится к потоку, идущему вверх. Поэтому полное изменение dj идущего вверх потока

$$dj = -(S + K)jdx + Sidx, \quad (1)$$

а идущего вниз потока

$$-di = -(S + K)idx + Sjdx. \quad (2)$$

Изменения dj и di противоположны по знаку, так как эти потоки направлены противоположно друг другу. Следует считать dx положительным приращением x , учитывая, что $x = 0$ соответствует неосвещенной стороне лакокрасочного слоя.

Дифференциальные уравнения (1) и (2) полностью описывают изменения, происходящие с потоками i и j при прохождении любого элементарного слоя лакокрасочной пленки. Если известны либо i , либо j в каком-то одном элементарном слое (например, у верхней границы) и коэффициенты поглощения K и рассеяния S , характеризующие сочетание «микронеоднородности–связующее лакокрасочного слоя», то можно перейти от одного слоя к следующему как вверх, так и вниз по уравнениям (1), (2) и выразить i и j как функции переменной x .

Таким образом, для количественной оценки оптических характеристик покрытий можно использовать фотометрический метод.

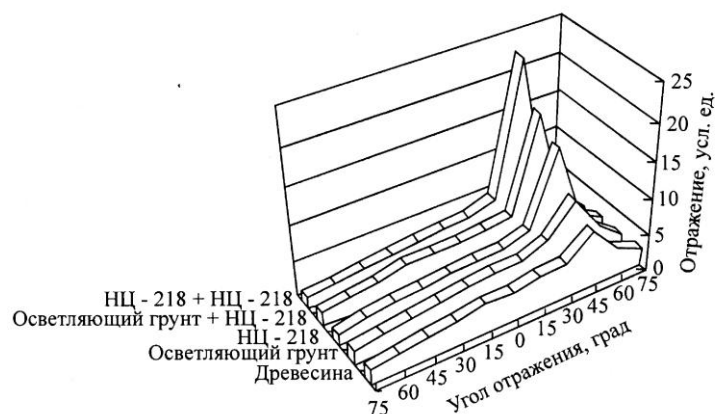
Повышение эффективности процесса отделки древесины хвойных пород требует комплексного подхода к разработке системы отделочных материалов, учитывающих влияние вида подложки на физико-химические процессы формирования покрытий.

Цель наших исследований – разработка новых материалов для выполнения операций крашения или осветления поверхности с учетом свойств хвойной древесины.

Реализация такого подхода может быть осуществлена за счет получения лакокрасочного материала, содержащего пленкообразователи с различными коэффициентами преломления. При этом необходимо исключить полное растворение полимеров и их химическое взаимодействие между собой на молекулярном уровне. Перспективным и наиболее эффективным направлением при отделке хвойной древесины является использование водно-полимерных дисперсий. Уже имеется опыт совмещения нитроцеллюлозных лаков и карбамидоформальдегидных смол при создании поренбейцев и грунтовок марок НК и БНК. Значит, в качестве основы можно использовать нитрат целлюлозы, имеющий коэффициент преломления 1,530, а в качестве второго компонента – водную ПВА-дисперсию с коэффициентом преломления 1,466, которые обеспечивают формирование светорассеивающей среды.

Использование мелкодисперсных белых пигментов, поглощающих УФ-лучи, позволяет значительно повысить эффект осветления отделываемой поверхности. Формируемый слой осветляет и стабилизирует цвет отделанной поверхности. Наглядно это представлено с помощью индикатрис рассеяния света (рис. 3).

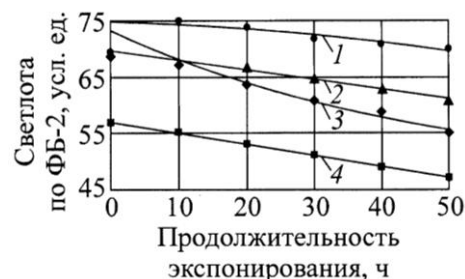
Рис. 3. Индикатрисы рассеяния света отделанной поверхности древесины сосны при падении светового потока под углом 45°



При добавлении в состав грунта вместо белых пигментов спирторастворимых красителей можно получить насыщенный поренбейц, характеризующийся степенью матовости, близкой к древесине. Таким образом, изменяя соотношение компонентов, можно получить лакокрасочный материал с объемным рассеивающим эффектом. Это позволит за одно нанесение при минимальном расходе получить требуемое по интенсивности окраски покрытие и обеспечить равномерность и стабильность окраски.

Применение материала с объемным светорассеивающим эффектом в качестве грунта в составе двухслойного покрытия позволяет повысить светостойкость отделанной поверхности изделий (рис. 4).

Рис. 4. Изменение светлоты двухслойных лакокрасочных покрытий под действием ультрафиолетового излучения: 1 – осветляющий грунт + НЦ-218; 2 – матовый грунт + НЦ-218; 3 – древесина; 4 – НЦ-218 + НЦ-218



При УФ-облучении света неотделанной поверхности древесины снижается на 19,0 усл.ед., после покрытия осветляющим грунтом – на 6,0 усл.ед., а после покрытия лаком НЦ-218 – на 11,5 усл.ед.

Таким образом, полученное покрытие с осветляющим грунтом не только осветляет поверхность отделываемой древесины, но и позволяет более длительное время сохранять цвет поверхности изделий из древесины хвойных пород под воздействием электромагнитного излучения.

В ходе исследований на кафедре технологии деревообработки СибГТУ также разработан окрашенный грунт со светорассеивающим эффектом и получен патент на способ крашения древесины [7].

Выводы

1. Определен комплексный подход к разработке светорассеивающих лакокрасочных материалов для прозрачной высококачественной отделки.
2. Разработан осветляющий грунт, позволяющий выравнивать естественную окраску хвойной древесины и стабилизировать ее в процессе эксплуатации изделий под воздействием электромагнитного излучения.
3. Разработан окрашивающий грунт для придания древесине хвойных пород равномерной окраски различных тонов независимо от ее зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буглай Б.М. Технология отделки древесины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 304 с.
2. Гуревич М.М., Ицко Э.Ф., Середенко М.М. Оптические свойства лакокрасочных покрытий Л.: Химия, 1984. 120 с.
3. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Мир, 1978. 592 с.
4. Жуков Е.В., Онегин В.И. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов М.: Экология, 1993. 304 с.
5. Ландсберг Г.С. Оптика. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1976. 928 с.
6. Онегин В.И. Формирование лакокрасочных покрытий древесины. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 148 с.
7. RU 2278024 С1 24.02.2005. Способ крашения древесины / А.В. Мелешко, Г.А. Логинова.

A.V. Meleshko, Yu.V. Khloptunova, G.A. Loginova
Siberian State Technological University

Use of Paint-and-lacquer Materials with Volume Light- scattering Effect for Transparent Finishing of Softwood Products

Results of theoretical and experimental studies are provided for new light-scattering paint-and-lacquer materials allowing to create high-quality coating on softwood surface, smoothing and stabilizing its natural color and ensuring its uniform coloration.

Keywords: finishing, softwood, paint-and-lacquer materials, uniform coloration, light-scattering soils.



УДК 674.2:624.011.15

Б.Д. Руденко

Сибирский государственный технологический университет

Руденко Борис Дмитриевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 100 научных трудов в области изучения процессов создания и эксплуатации древесных композитов.
E-mail: bor.rudenko@yandex.ru, bdrudenko@mail.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛИТ ИЗ КОРЫ И ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Оптимизированы параметры изготовления плит из коры на термопластичном связующем. Установлено, что при прессовании пакета из коры требуется значительно меньшее давление, чем при обработке пакета из древесных частиц.

Ключевые слова: режим, давление, прочность, температура, термопласт, кора, частицы.

В производстве различных изделий все более широкое применение находят композиционные материалы, полученные из смеси древесных отходов и термопластичных полимеров. Производство изделий из композиционных материалов не сопровождается негативным воздействием на окружающую среду и имеет технические и экономические преимущества по сравнению с общеизвестными [5] материалами.

За рубежом известен композит WPC (Wood Polymer Composites), который изготавливают из древесных частиц и термопластичных полимеров в различных сочетаниях. Физико-механические свойства и возможность применения изделий из такого материала рассмотрены в работе [6].

В комплексе проблем по использованию отходов от переработки древесины утилизация коры является одной из самых сложных [1].

Цель наших исследований – оптимизация параметров процесса изготовления плитных материалов на основе коры и термопластичного связующего – вторичного полиэтилена (ПЭНВ).

Материалы для исследований: полиэтилен (ПЭ) – бытовые мешки, выброшенные в мусор и измельченные резанием до частиц длиной 2...5 мм, шириной 1...2 мм, толщиной 0,02...0,05 мм; насыпная плотность 0,184 г/см³; температура плавления 130 °С (125...137 °С); кора древесины лиственницы воздушно сухого состояния, измельченная ударным способом до частиц, проходящих через сито с ячейками 1,5 мм; остаток на сите 1 %; насыпная плотность 0,274 г/см³.

Из частиц коры (67 % по массе) и измельченного ПЭ (33 %) путем плоского прессования получали плиты размером 235 × 250 мм и плотностью 840 кг/м³, из которых вырезали образцы для определения предела прочности при изгибе по ГОСТ 10635–88.

Для проведения эксперимента использовали D-оптимальный план В₃, предложенный по умолчанию программой Statgraphics для трех факторов. Методика построения эксперимента и обработка полученных данных проведены согласно [2, 3].

Выбор факторов (их величина и размах варьирования) определен технологией изготовления образцов и входящими в их состав компонентами [4].

В качестве контролируемых технологических факторов приняты температура плит пресса, продолжительность и давление прессования, в качестве выходной величины – самое характерное свойство плитных материалов – прочность образцов при изгибе.

Температуру плит пресса варьировали от 120 до 180 °С (середина интервала 150 °С). Нижнее значение температуры выбрано как начало расплавления полиэтилена, верхнее – как технологически обоснованное и достаточное для данного термопласта. Продолжительность прессования изменяли от 5 до 25 мин (середина интервала 15 мин) как время, необходимое для прогрева исследуемого пакета толщиной до 10 мм. Давление прессования варьировали от 0,1 до 0,4 МПа (середина интервала 0,25 МПа) как обеспечивающее плавное сжатие прессуемого пакета до заданной толщины.

На рис. 1 приведена стандартизованная диаграмма Парето для исследуемых факторов, из которой видно, что наибольшее влияние на выходную величину оказывает температура (эффект А достигает 6), так как процесс должен сопровождаться плавлением полиэтилена, чтобы он проявил свои связующие свойства. Значителен квадратичный эффект указанного фактора (отрицательное значение показывает выпуклость кривой вверх), однако его влияние весьма слабое. На втором месте располагается продолжительность прессования (численное значение В составляет почти 2,5), т.е. требуется затратить время для прогрева прессуемого образца до температуры расплавления термопласта. Квадратичный эффект В сравнительно небольшой и достигает 0,5. На третьем месте находится фактор давления (численное значение С составляет около 1,0), который определяется свойствами и хорошей текучестью прессуемой смеси. Квадратичный эффект этого фактора более значителен, величина 1,2 свидетельствует о вязком характере прессуемой композиции.

Остальные комбинации факторов оказывают слабое влияние на исследуемый процесс.

На рис. 2 графически представлено влияние температуры, продолжительности и давления прессования на прочность плит. Очевидно, что температура влияет достаточно сильно до достижения предельного значения прочности. Когда прогрева недостаточно для расплавления термопласта, композит все равно получается, однако его прочность мала. Фактор продолжительности достаточно сильно сказывается в исследуемом интервале времени. Что касается фактора давления, то его влияние неоднозначно: сначала с увеличением давления прочность повышается, что вполне естественно, но к концу исследуемого диапазона наблюдается незначительное снижение фактора. Такое уменьшение в принципе возможно, так как при увеличении давления толщина плит уменьшается, что может приводить к ослаблению структуры

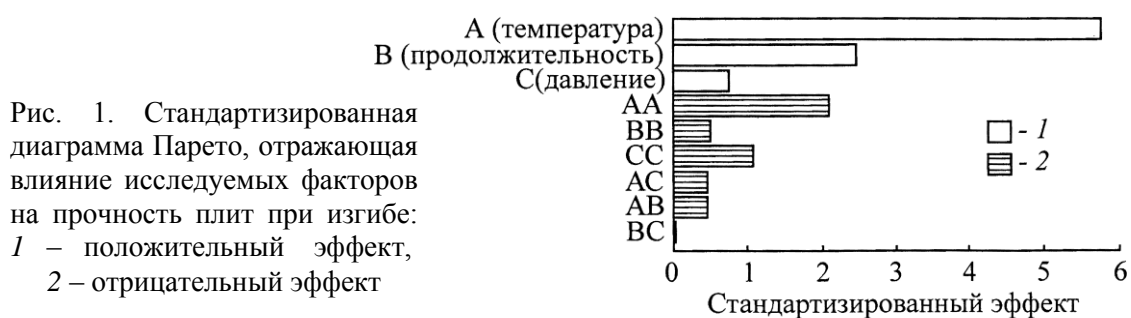
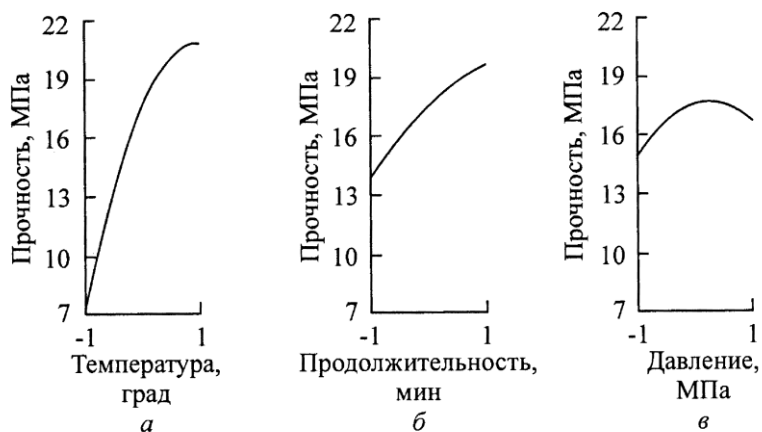


Рис. 1. Стандартизованная диаграмма Парето, отражающая влияние исследуемых факторов на прочность плит при изгибе: 1 – положительный эффект, 2 – отрицательный эффект

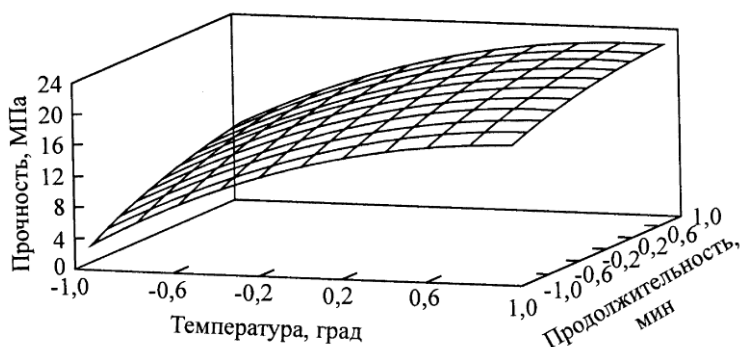
Рис. 2. Влияние исследуемых факторов на прочность плит при изгибе: *a* – температура, *б* – продолжительность, *в* – давление



получаемого композита. Однако при отсутствии герметичности в процессе прессования давление прессования не влияет на свойства исследуемых плит, а влияет только на скорость сжатия пакета.

На рис. 3 изображено влияние исследуемых факторов на предел прочности при изгибе образцов.

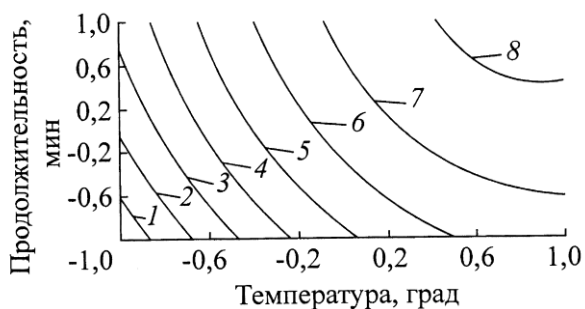
Рис. 3. Поверхность отклика влияния исследуемых факторов на прочность плит при изгибе



Как видно из рис. 3, нарастание прочности происходит монотонно, в сторону увеличения продолжительности процесса прессования и температуры при давлении на нулевом уровне. Аналогичная картина наблюдается и для других (наибольшего и наименьшего) значений давления.

Контурная поверхность отклика (рис. 4) позволяет количественно оценить влияние исследуемых факторов (температура, продолжительность, давление прессования) на прочность, которая достигает наибольшего значения (24 МПа) в области наибольших значений температуры и продолжительности. Угол наклона кривых соответствует большему влиянию температуры при меньших значениях продолжительности.

Рис. 4. Контурная поверхность отклика влияния исследуемых факторов на прочность плит при изгибе: 1 – 2,4; 2 – 4,8; 3 – 7,2; 4 – 9,6; 5 – 12,0; 6 – 14,4; 7 – 16,8; 8 – 19,2; 9 – 21,6; 10 – 24,0



Выводы

1. При использовании отходов окорки и вторичного полиэтилена для получения плит путем плоского прессования выбраны следующие оптимальные режимные факторы: температура 160...180 °С; продолжительность 15...25 мин при толщине плиты до 10 мм; достаточное для сжатия давление 0,10...0,25 МПа.
2. Продолжительность прогрева прессуемого пакета из предложенной нами композиции примерно соответствует продолжительности прогрева пакета из древесной стружки.
3. Прочность при изгибе плит, получаемых из коры, несколько больше, чем у древесностружечных плит, и сопоставима с полутвердыми ДВП марки МВН, НЛS1.
4. Для пакета из коры требуется значительно меньшее давление прессования по сравнению с пакетом из древесных частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веретенник Д.Г.* Использование древесной коры в народном хозяйстве. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 120 с.
2. *Дюк В.* Обработка данных на ПК в примерах. СПб.: Питер, 1997. 240 с.
3. *Пен Р.З.* Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства. Красноярск, 1982. 192 с.
4. *Савицкий А.С., Терпугов М.А., Карцовник В.И.* Производство древесностружечных плит на термопластичном связующем // Плиты и фанера: сб. ст. М., 1991. С. 2–17.
5. Forschungspotenzial noch nicht ausgeschöpft / Eisenreich N. [et al.] // НК: Holz- und Kunststoffverarb.: Internationale Fachzeitschrift für Unternehmer und Führungskräfte. 2007. 42, N. 3. P. 112–115.
6. Holz ist ein innovativer Werkstoff I // НК: Holz- und Kunststoffverarb.: Internationale Fachzeitschrift für Unternehmer und Führungskräfte. 2006. 41, N. 7-8. P. 22–26.

B.D. Rudenko
Siberian State Technological University

Operation Factors Investigation of Board Production Made of Bark and Secondary Polyethylene

The parameters of producing boards out of bark on thermoplastic binding are optimized. It is established that much less pressure is required for pressing bark pack than for particles pack.

Keywords: operation, pressure, strength, temperature, thermoplastic, bark, particles.

УДК 676.1.053.33 (088.8)

В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич

Сибирский государственный технологический университет

Ковалев Валерий Иванович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 110 печатных работ в области размола волокнистых материалов.
E-mail: mapt@sibstu.kts.ru



Алашкевич Юрий Давыдович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 450 научных работ в области размола волокнистых материалов, химии древесины.
E-mail: mapt@sibstu.kts.ru



ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА СКРЕЩИВАНИЯ РЕЖУЩИХ КРОМОК ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ НОЖЕЙ ПРИ ДВУХСТОРОННЕМ ИСПОЛНЕНИИ ГАРНИТУР НОЖЕВЫХ РАЗМАЛЫВАЮЩИХ МАШИН

Предложена методика определения угла скрещивания режущих кромок ножей при двухстороннем исполнении рисунков сопряжения рабочих поверхностей гарнитур ротора и статора. Получена аналитическая зависимость для произвольных углов скрещивания режущих кромок ножей ротора и статора. Произведена конкретизация характера рисунка сопряжения режущих кромок ножей ротора и статора, что позволяет обеспечить широкие возможности для проведения в производственных условиях анализа характера воздействия на волокнистый полуфабрикат на всей рабочей кольцевой поверхности диска, от входной окружной кромки до выходной.

Ключевые слова: входные параметры, гарнитура, нож, окружная кромка, поверхность размола, режущая кромка, угол наклона, угол поворота, угол скрещивания.

Известно, что при двухстороннем исполнении рисунков сопряжения мелющих поверхностей дисков гарнитур ротора и статора с прямолинейными ножами:

направления наклона и эксцентриситеты режущих кромок скрещивающихся ножей ротора и статора противоположны относительно радиуса, проведенного из общего центра их сопряженных дисков в точку пересечения [3];

углы наклона режущих кромок ножей ротора и статора к радиусу и их угол скрещивания равномерно уменьшаются в направлении от центра гарнитуры к внешней окружности сопряженных дисков [1–3, 5];

изменением угла скрещивания режущих кромок ножей ротора и статора можно варьировать соотношение гидратирующего и укорачивающего воздействия на волокнистый материал [6];

уменьшение угла скрещивания режущих кромок ножей ротора и статора способствует повышению сопротивления раздиранию, разрывной длины, сопротивления излому и удельного расхода энергии на размол [4].

Введем следующие обозначения, которые используются на рисунке.

1. Угловые входные параметры точки скрещивания режущих кромок ножей, расположенной на входной окружной кромке сопряженных дисков ротора и статора:

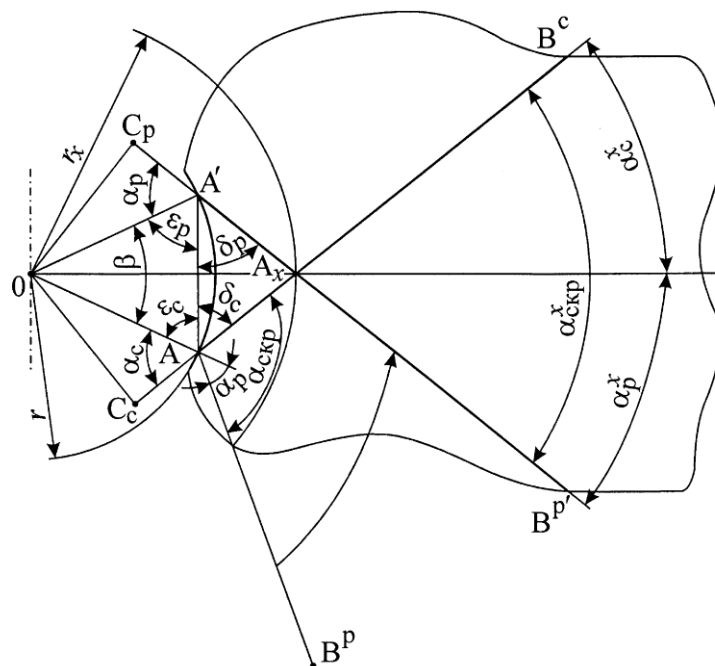


Схема расположения режущих кромок единичных ножей с двухсторонним исполнением рисунка их сочленения

α_p – угол наклона режущей кромки единичного ножа ротора к радиусу, проведенному из центра сопряженных дисков гарнитуры ротора и статора в эту точку;

α_c – угол наклона режущей кромки единичного ножа статора к радиусу, проведенному из центра сопряженных дисков гарнитуры ротора и статора в эту точку;

$\alpha_{скр}$ – угол скрещивания режущих кромок ножей ротора и статора,

$$\alpha_{скр} = \alpha_p + \alpha_c.$$

2. Угловые выходные параметры произвольно взятой точки скрещивания режущих кромок ножей ротора и статора кольцевой размалывающей зоны гарнитуры:

α_p^x – угол наклона режущей кромки ножа ротора к радиусу, проведенному из центра сопряженных дисков гарнитуры ротора и статора в точку скрещивания;

α_c^x – угол наклона режущей кромки ножа статора к радиусу, проведенному из центра сопряженных дисков гарнитуры ротора и статора в точку скрещивания.

$\alpha_{скр}^x$ – угол скрещивания режущих кромок,

$$\alpha_{скр}^x = \alpha_p^x + \alpha_c^x. \quad (1)$$

Все параметры, входящие в зависимость (1), переменные величины.

В известных источниках решение задачи нахождения угла скрещивания $\alpha_{скр}^x$ в произвольно взятой точке кольцевой размалывающей зоны гарнитуры не обнаружено. Поэтому на основании известной по данному вопросу информации нами был сделан вывод, что для решения данной задачи необходимо найти математические зависимости, непосредственно связанные с основными входными геометрическими параметрами α_p , α_c и $\alpha_{скр}$ и новым дополнительным параметром.

Представляется, что решение этой задачи может дать исчерпывающую информацию о характере рисунка сопряжения режущих кромок ножей ротора и статора в произвольной точке кольцевой размалывающей поверхности их дисков.

Экспериментальная часть

На рисунке представлен фрагмент фронтальной проекции ножевой кольцевой поверхности, включающей режущую кромку единичного ножа вращающегося ротора, последовательно дважды пересекающую режущую кромку AB^c единичного ножа неподвижного статора. В качестве дополнительного параметра применяют промежуточный угол поворота β единичного ножа ротора.

Изобразим режущую кромку единичного ножа ротора в двух положениях: исходном, AB^p , когда она пересекается с режущей кромкой AB^c единичного ножа статора на входной окружной кромке в т. А, и промежуточном, $A'B^p$, когда она повернулась в направлении вращения (см. круговую стрелку) на угол β . При этом т. А переместилась по внутренней окружной кромке в положение A' , а точка скрещивания по режущей кромке AB^c в положение A_x .

Линия AO является радиусом r дуги AA' входной окружной кромки сопряженных дисков. Линии OC_p и OC_c , перпендикулярные линиям $A'C_p$ и AC_c (продолжениям режущих кромок $A'B^p$ и AB^c) являются их эксцентриситетами относительно центра O .

Находим аналитическую зависимость угла скрещивания $\alpha_{скр}^x$ режущих кромок ножей ротора и статора следующим образом.

Из центра O проводим радиальные линии в точки A , A_x , и A' . Точки A и A' соединяем прямой линией. При этом образуются четыре косоугольных треугольника $A_xA'O$, A_xAO , $AA'O$ и $AA'A_x$. Углы в треугольнике $AA'A_x$ определяются из выражений

$$\delta_p = 180^\circ - (\alpha_p + \varepsilon_p) = 180^\circ - (\alpha_p + 90^\circ - \frac{\beta}{2}) = 90^\circ - \alpha_p + \frac{\beta}{2}; \quad (2)$$

$$\delta_c = 180^\circ - (\alpha_c + \varepsilon_c) = 180^\circ - (\alpha_c + 90^\circ - \frac{\beta}{2}) = 90^\circ - \alpha_c + \frac{\beta}{2}; \quad (3)$$

$$\alpha_{скр}^x = 180^\circ - (\delta_p + \delta_c) = 180^\circ - [(90^\circ - \alpha_p + \frac{\beta}{2}) + (90^\circ - \alpha_c + \frac{\beta}{2})]. \quad (4)$$

После преобразования

$$\alpha_{скр}^x = 180^\circ - 90^\circ + \alpha_p - \frac{\beta}{2} - 90^\circ + \alpha_c - \frac{\beta}{2}.$$

Окончательно имеем

$$\alpha_{скр}^x = \alpha_p + \alpha_c - \beta. \quad (5)$$

Таким образом, поставленная задача решена путем введения нового дополнительного входного параметра – угла поворота β режущей кромки ротора из положения AB^p в положение $A'B^p$.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Впервые получена аналитическая зависимость для определения произвольных углов скрещивания режущих кромок ножей ротора и статора.
2. Решение этой задачи конкретизирует характер рисунка сопряжения режущих кромок ножей ротора и статора и обеспечивает широкие возможности для

последующего анализа особенностей их воздействия на волокнистый полуфабрикат на всей рабочей кольцевой поверхности диска, от входной окружной кромки до выходной.

3. Логически встают задачи определения радиуса r_x окружности, проведенного из центра O диска гарнитуры в точку пересечения A_x режущих кромок $A'B^p$ и AB^c и угла скрещивания режущих кромок ножей при одностороннем исполнении гарнитур.

Можно предположить, что предложенная методика определения произвольного угла скрещивания режущих кромок прямолинейных ножей при двухстороннем исполнении рисунков сопряжения рабочих поверхностей гарнитур ножевых размалывающих машин позволит создавать конструкции, работающие в энергосберегающем режиме, при одновременном увеличении производительности, качества и эффективности размола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев П.А.* Курс мукомольных мельниц. С.-Петербург, 1876. 295.
2. *Афанасьев П.А.* Мукомольные мельницы. С.-Петербург, 1883. С. 357.
3. Брокгауз–Ефрон. Энциклопедический словарь. С.-Петербург: Типо-литография И.А. Ефрона. 1896. Т. XIX, кн. 37. С. 476.
4. *Киселев С.С., Пашинский П.Ф.* Эксплуатация и ремонт дисковых и конических мельниц. М.: Лесн. пром-сть, 1979. С. 208.
5. *Ковалев В.И.* Размол волокнистых полуфабрикатов при различном характере построения рисунка ножевой гарнитуры: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. С. 209.
6. *Легоцкий С.С., Гончаров В.Н.* Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы. М.: Лесн. пром-сть, 1997. С. 222.

V.I. Kovalev, Yu.D. Alashkevich
Siberian State Technological University

Crossing Angle Determination for Cutting Edge of Straightline Knives in Two-faced Configuration of Blade Milling Machines

The technique of crossing angle determination for cutting edges of knives under two-faced configuration of working faces tracking of rotor and stator typefaces is provided. The analytical dependence for random crossing angles of cutting edges of rotor and stator knives is obtained. The specification of configuration character for rotor and stator knives cutting edges is carried out that allows to ensure wide possibilities for performing analysis of affecting character on fibrous semi-finished product over the whole ring working face of a disc from the input circular edge to the output one.

Keywords: input parameters, headset, chopper, circumferential edge, grinding surface, cutting edge, tilt angle, rotation angle, crossing angle.

Н.А. Войнов¹, С.М. Воронин², О.П. Жукова¹, С.А. Ледник¹

¹Сибирский государственный технологический университет

²Сибгипробiosiнтез

Войнов Николай Александрович родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Ленинградский технологический институт им. Ленсовета, доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 300 печатных работ в области тепло- и массопереноса в газожидкостных системах.

E-mail: voynov@siberianet.ru



Воронин Сергей Михайлович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 30 печатных работ в области газожидкостных процессов.

Тел.: 8(391) 2- 42-06-33



Жукова Ольга Петровна родилась в 1962 г., окончила в 1984 г. Кемеровский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 50 печатных работ в области газожидкостных процессов.

E-mail: zhukovolga@yandex.ru



Ледник Сергей Александрович родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант СибГТУ. Имеет 2 печатные работы в области тепло- и массопереноса в газожидкостных системах.

E-mail: ledniksergey@mail.ru



РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ СТУПЕНЕЙ БРАЖНЫХ КОЛОНН

Представлены результаты исследования и внедрения контактных ступеней с колпачковыми и прямоточно-вихревыми контактными устройствами в промышленной бражной колонне; показано что наиболее эффективным вариантом являются вихревые контактные ступени с профилированными тангенциальными каналами.

Ключевые слова: бражная колонна, вихревая тарелка, колпачковая тарелка, гидравлическое сопротивление, коэффициент массоотдачи, эффективность.

Бражные ректификационные установки используются при получении этилового спирта на основе гидролизата древесины. Основным их отличием от действующих в технологической линии ректификационных колонн является большая (до 180 м³/ч) производительность по жидкости и сравнительно низкая (2 ... 8 % об.) концентрация этанола в бражке, что обуславливает высокий расход пара (до 60 % от его общего потока) [6]. Кроме того, высокое содержание в рабочей жидкости лигнино-гуминовых веществ вызывает их осаждение в процессе ректификации на поверхности контактных ступеней.

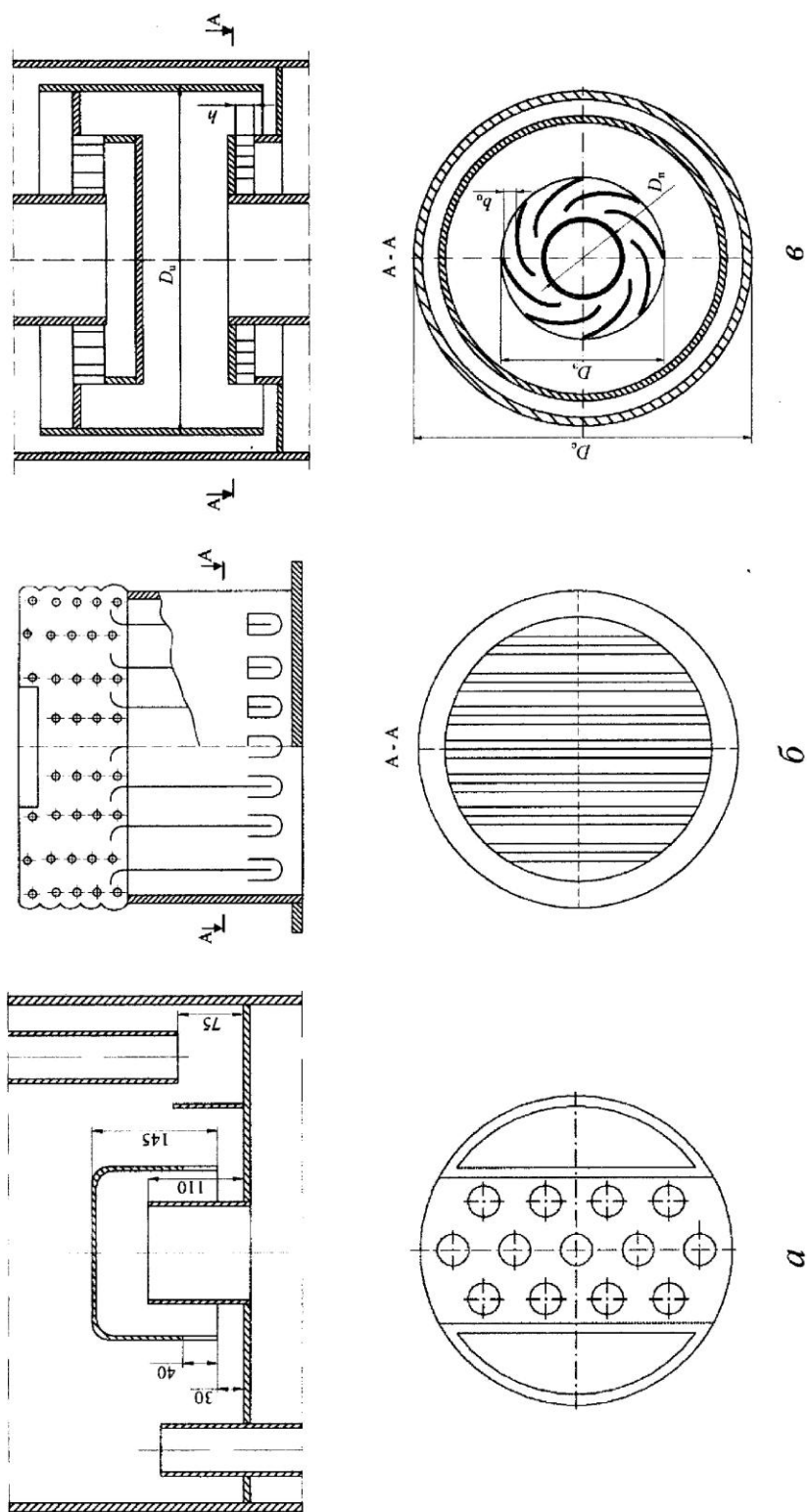


Рис. 1. Схемы контактных ступеней: а – колпачковой; б – пленочной; в – вихревой

Наиболее часто используются в промышленности тарелки с колпачковыми контактными устройствами, основные преимущества которых – высокая надежность при эксплуатации и отсутствие потерь продукта при останове колонны.

Стандартные колпачковые тарелки выполняются с большим количеством контактных устройств. Например, при диаметре колонны 2,6 м на ступени размещается 120 колпачков, что приводит к снижению производительности аппарата по жидкости, усложняет очистку и ремонт колпачков. В этой связи на Красноярском биохимическом заводе были внедрены [2, 3] две бражные колонны диаметром 2,6 м с 24 тарелками (две из них сепарационные) колпачкового типа (рис. 1, а), каждая из которых содержит по 13 колпачков диаметром 380 мм. Диаметр газового патрубка, рассчитанный из условия обеспечения скорости пара в них 10 м/с, был принят равным 260 мм. Площадь сечения сегментного перетока – 1,3 м², периметр слива – 3,0 м, межступенчатое расстояние (для выполнения монтажа колпачков через люк-лаз) – 0,6 м. При начальной концентрации этанола в бражке от 2,0 до 3,6 % об. концентрация этанола в спиртовом конденсате составила 25...29 % об., расход пара на 1 м³/ч бражки – 128 кг/ч.

В начальный период эксплуатации бражных колонн с колпачковыми устройствами (рис. 1, а) производительность по бражке равнялась 120 м³/ч. Однако вследствие уменьшения периметра слива из-за накопления отложений в зазоре между корпусом аппарата и сегментным перетоком производительность колонны снизилась до 80 м³/ч по бражке без существенного изменения ее эффективности.

Установка в бражной колонне трех ступеней с 13 пленочными контактными устройствами [3] (рис. 1, б) диаметром 260 мм и высотой 150 мм позволила выявить, что вследствие интенсивного накопления отложений на полотне тарелки и забивания каналов ввода жидкости данные устройства не пригодны для ректификации смесей, включающих дисперсные взвешенные частицы. В этой связи длительная эксплуатация бражных колонн возможна только при отсутствии застойных зон на контактных ступенях и интенсивном перемешивании жидкости, например, путем диспергирования ее паром.

Большими перспективами при конструировании бражных колонн обладают вихревые контактные устройства, в которых пар, проходя через каналы завихрителя, приобретает вращательное движение и за счет этого интенсивно дробится на мелкие пузырьки, образуя в жидкости развитую межфазную поверхность при отсутствии застойных зон и низком брызгоуносе.

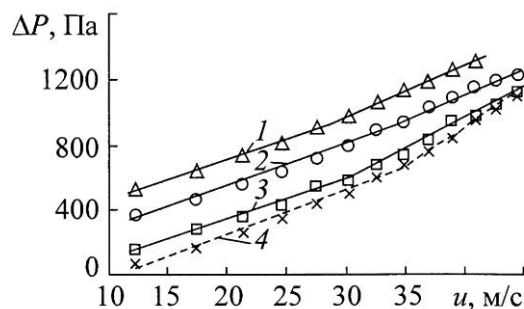
Наиболее предпочтительны вихревые устройства с тангенциальными завихрителями [1]. Компоновка такой тарелки, представленная на рис. 1, в, отличается простотой конструкции, высокой производительностью по жидкости из-за доступного достижения требуемого периметра слива и сечения перетоков, отсутствием застойных зон, большим расходом пара по сечению аппарата (до 6 м/с) по причине интенсивной сепарации капель в поле центробежных сил.

Разработана и исследована конструкция тарелки с тангенциальным завихрителем при $D_c = 200$ мм; $D_3 = 110$ мм; $b_0 = 10$ мм; $h = 5$ мм; количестве каналов $n = 8$ шт. (рис. 1, в).

Сопротивление вихревой контактной ступени, представленное графически на рис. 2, подчиняется зависимости

$$\Delta P = \xi \frac{\rho_r u^2}{2} + \rho_{ж} g H \left(1 - \varphi \right) \quad (1)$$

Рис. 2. Зависимость сопротивления вихревой (1–3) и сухой 4 ступеней ($n = 8$ шт., $h = 5$ мм, $b_0 = 10$ мм, $D_3 = 110$ мм): 1 – высота жидкости на ступени 87 мм; 2 – 59 мм; 3 – 30 мм (1–3 – экспериментальные точки; пунктирная линия – сопротивление сухой ступени; сплошные линии – расчет ΔP по уравнению (1))

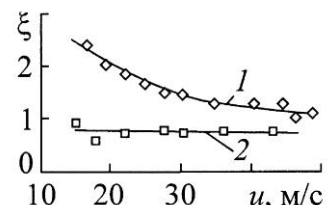


где ξ – коэффициент сопротивления сухой ступени;
 ρ_r – плотность газа, кг/м^3 ;
 u – средняя расходная скорость газа на выходе из каналов, м/с;
 $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м^3 ;
 H – высота газожидкостного слоя на ступени, м;
 ϕ – газосодержание.

Значения коэффициента сопротивления, входящие в уравнение (1), приведены на рис. 3. Как установлено, наличие плавных обтекаемых кромок у профилированных пластин завихрителя позволяет существенно снизить величину ξ по сравнению с завихрителями с параллельными каналами и плоской обтекаемой кромкой [1].

Газосодержание ϕ вихревой ступени в исследуемом диапазоне технологических параметров составило 0,4...0,7. При кольцевом режиме газожидкостного слоя на ступени ϕ зависит от скорости газа в каналах завихрителя и снижается с увеличением уровня жидкости H на ступени. Использование уравнения (1) для расчета сопротивления вихревой ступени позволяет определить ΔP с относительной погрешностью 0,1.

Рис. 3. Зависимость коэффициента сопротивления вихревых ступеней ξ от скорости газа u в узком сечении канала ($D_3 = 110$ мм, $h = 5$ мм, $b_0 = 10$ мм): 1 – $n = 4$ шт.; 2 – 8 шт. (1, 2 – экспериментальные точки)



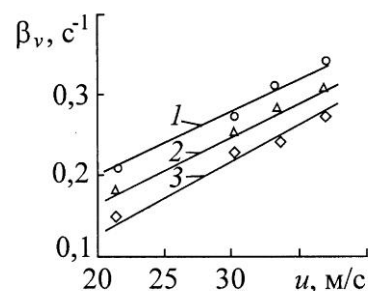
Для оценки эффективности контактной ступени были проведены измерения концентрации кислорода в обескислороженной жидкости на вихревой ступени и рассчитаны объемные коэффициенты массоотдачи:

$$\beta_v = \ln[(1 - (c/c^*)/A)/\tau], \quad (2)$$

где A – коэффициент, определяемый из начальных условий при $c = c_n$;
 c – концентрация растворенного кислорода в жидкости, кг/м^3 ;
 c^* – равновесная концентрация кислорода в жидкости, кг/м^3 ;
 τ – время насыщения, с.

Влияние скорости газа в каналах и уровня жидкости на ступени на коэффициент массоотдачи представлено на рис. 4.

Рис. 4. Зависимость коэффициента массоотдачи β_v от скорости газа u в каналах ($D_3 = 110$ мм, $h = 5$ мм, $b_0 = 10$ мм, $n = 8$ шт.): 1 – $H/h = 64$; 2 – 80; 3 – 96 (1–3 – экспериментальные точки)



Исходя из полученных значений коэффициента массоотдачи, удельной межфазной поверхности в кольцевом режиме $a = (800 \dots 1200) \text{ м}^{-1}$ и условия, что при низких концентрациях этанола на ступени основное сопротивление массопереносу сосредоточено в жидкой фазе, были рассчитаны [4] числа единиц переноса:

$$N_{\text{oy}} = \frac{\beta a m}{G_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где β – поверхностный коэффициент массоотдачи, м/с;

m – масса жидкости на ступени, кг;

$G_{\text{п}}$ – расход пара, кг/с,

а также определена эффективность вихревой ступени по модели идеального перемешивания [5]:

$$E_y = \frac{N_{\text{oy}}}{1 + N_{\text{oy}}}, \quad (4)$$

которая составила 0,7...0,9.

На основании проведенных расчетов разработаны рабочие чертежи бражной колонны с вихревыми контактными ступенями; установлено, что основными преимуществами вихревой контактной ступени являются ее высокая производительность по пару и возможность обеспечения интенсивного перемешивания жидкости на тарелке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войнов Н.А., Жукова О.П., Николаев Н.А. Гидродинамика вихревой ступени с тангенциальными завихрителями //ТОХТ. 2010. Т. 44, № 2. С.1–8.
2. Войнов Н.А. Процесс ферментации кормового белка на гидролизате в пленочных аппаратах; способы интенсификации и методы расчета. Красноярск, 1995. 375 с.
3. Воронин С.М. Повышение экологичности процессов переработки растительного сырья. Красноярск, 1997. 30 с.
4. Закономерности массопереноса на многоэлементных контактных ступенях прямоточно-вихревых аппаратов / Н.И. Савельев [и др.] //Химия и хим. технология. 1983. Т. 25, № 1. С. 107–110.
5. Рамм В.М. Абсорбция газов. М.: Химия, 1976. 655 с.
6. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 496 с.

N.A. Voinov¹, S.M. Voronin², O.P. Zhukova¹, S.A. Lednik¹

¹Siberian State Technological University

²Sibgiprobiosintez

Introduction and Investigation Results for Contact Stages of Brew Columns

The results of contact stages investigation with bubble cap and vortex contact devices in the industrial brew column are provided. Contact stages with tangential swirlers are established to be the most efficient variant.

Keywords: brew column, vortex plate, bubble cap plate, hydraulic resistance, mass delivery coefficient, efficiency.

УДК 676.024.6

И.А. Воронин, Ю.Д. Алашкевич, А.А. Дирацуян, Н.С. Решетова

Сибирский государственный технологический университет

Воронин Иван Андреевич родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры машин и аппаратов промышленных технологий СибГТУ. Имеет 8 печатных работ, в том числе 1 патент на изобретение, в области обработки волокнистых материалов из растительных полимеров с использованием инерционных тел при глубокой химической переработке биомассы дерева.
E-mail: ivan_voronin@list.ru



Дирацуян Анна Александровна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Красноярскую государственную технологическую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет 25 печатных работ, в том числе 2 патента на изобретение и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, в области совершенствования оборудования и технологических процессов подготовки волокнистых материалов ножевым способом при глубокой химической переработке древесины.
E-mail: anna_diracuyn@mail.ru



Решетова Наталья Сергеевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Сибирский государственный технологический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий СибГТУ. Имеет более 40 печатных работ в области размола волокнистых материалов.
E-mail: reshet@list.ru



ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНЕРЦИОННЫХ ТЕЛ НА РАЗМОЛ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены теоретические и экспериментальные исследования влияния конструктивных параметров размольных тел на расчет основных технологических параметров процесса размола в установке с инерционным движением размольных тел.

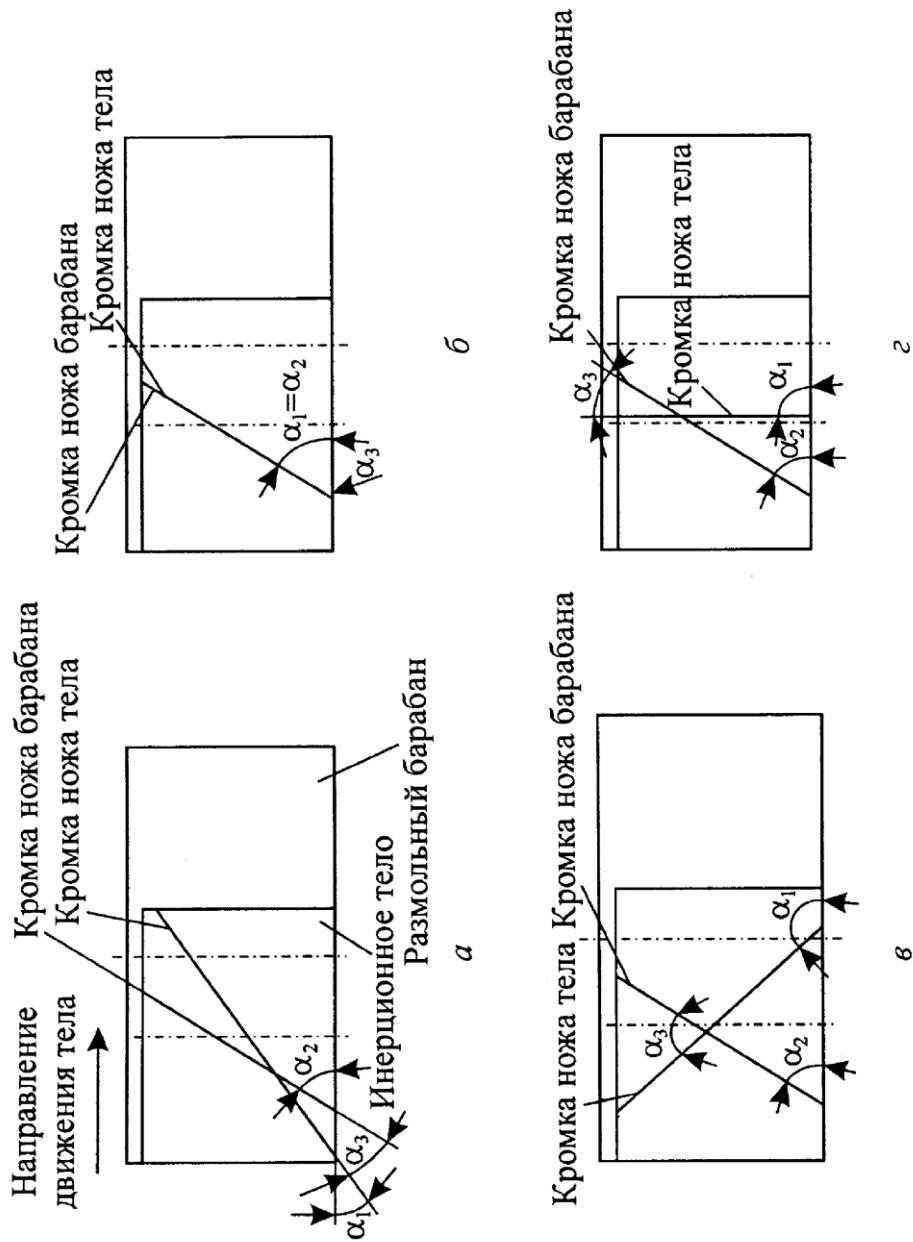
Ключевые слова: размол, инерционные тела, волокнистая суспензия, циклическая элементарная длина, секундная режущая длина, угол скрещивания, угол установки.

С. Смит связывает эффект укорачивания волокон с ростом секундной режущей длины [4]. Кроме того, площадь поверхности трения ножа и, соответственно, секундная размалывающая поверхность являются производными от секундной режущей длины ножей. Поэтому данный параметр непосредственно связан с эффективностью процесса размола. Попытки внести коррективы при расчете секундной режущей длины были предприняты в работах Ю.Д. Алашкевича [1], А.А. Набиевой [2].

Цель нашей работы – исследовать влияние конструктивных параметров инерционных тел при размоле волокнистых материалов.

Ранее [2] был проведен теоретический анализ определения истинной секундной режущей длины с учетом углов установки ножей ротора и статора, углов их скрещивания, а также основных геометрических параметров размольной гарнитуры. Впервые для оценки качества разработки волокнистых суспензий был предложен технологический параметр – циклическая элементарная длина $L_{\omega \text{ эл}}$, характеризующий среднюю длину, «отрезаемую» парой ножей за один оборот ротора [4]:

$$L_{\omega \text{ эл}} = \frac{60L_s}{nt(2\pi/\psi)}, \quad (1)$$



Варианты углов установки режущих кромок на инерционном теле: а – $\alpha_1 = 33^\circ$; б – 55° ;
 в – 135° ; г – 90° (α_1 – угол установки режущих кромок ножей на инерционном теле;
 α_2 – на размольном барабане; α_3 – угол скрещивания кромок ножей)

где L_s – секундная режущая длина, м/с;
 n – частота вращения ротора, об/мин;
 t – количество движущихся точек пересечения ножей ротора с ножами статора, шт.;
 $2\pi/\psi$ – число секторов.

В формуле (1) учитывается количество движущихся точек пересечения режущих кромок, которое является существенной величиной, формирующей основные технологические параметры. В виду сложности определения динамично меняющееся количество точек пересечения игнорировали. С появлением современных машинных методов расчета авторами в среде Matlab была составлена программа КОМПАС-V8+, предназначенная для определения секундной режущей длины и количества движущихся точек контакта для дисковых гарнитур с параллельными прямолинейными ножами [3]. Экспериментально и теоретически было доказано, что с увеличением циклической элементарной длины качественные показатели процесса размола повышаются [2].

Однако использовать предложенную программу для определения количества точек пересечения режущих кромок в размольной установке с инерционным движением рабочих тел невозможно, так как в ней размол происходит в планетарной системе, в отличие от дисковых мельниц, где размол происходит в плоскости между дисками ротора и статора. Особенностью конструкции инерционного тела является наличие на его боковой поверхности зубчатого профиля. Профиль внутренней поверхности размольного барабана имеет наклонную насечку с фиксированным постоянным углом $\alpha_2 = 55^\circ$ (см. рисунок). Для определения количества точек контакта были изготовлены прозрачные графические модели инерционных тел с различными углами установки ножей и размольного барабана. Прозрачные модели накладывали на графическое изображение размольного барабана и наблюдали контакт ножей со стороны прозрачной модели барабана. При этом производили подсчет количества точек контакта ножей инерционного тела с ножами размольного барабана.

В нашем случае движение инерционного тела происходит путем перекачивания его по образующей размольного барабана. Профиль инерционных тел имеет угол установки режущих кромок ножей $\alpha_1 = 33, 55, 90, 135^\circ$, что при фиксированном угле наклона насечки барабана позволило получить угол скрещивания $\alpha_3 = 22, 0, 35, 80^\circ$.

Эксперименты проводили при различной частоте вращения инерционного (размольного) тела: 114,0; 142,5; 171,0; 199,5; 228,0; 256,5 об/мин.

Циклическая элементарная длина для инерционного тела отличается от этого же параметра ножевой гарнитуры дисковой мельницы и определяется по следующей формуле:

$$L_{\text{о.эл}} = \frac{m_{\text{ц}} m_{\text{б}} l_{\text{ц}}}{t},$$

где $m_{\text{ц}}$ – число ножей на размольном цилиндре (сателлите), шт.;
 $m_{\text{б}}$ – число ножей на размольном барабане, шт.;
 $l_{\text{ц}}$ – длина ножа на цилиндре, м.

Результаты определения технологических параметров процесса размола в установке с инерционным движением размольных тел представлены в таблице.

Основные конструктивные и технологические показатели размольной установки с инерционными телами

Угол скре- щива- ния, град	Число ножей, шт.		Частота вращения размоль- ного тела n , об/мин	Длина ножей на са- теллите $l_{ц}$, м	Секунд- ная ре- жущая длина L_s , м/с	Количе- ство то- чек пере- сечения t , шт.	Цикличе- ская эле- ментарная длина $L_{\omega \text{ эл}}$, м
	на сател- лите $m_{ц}$	на ба- рабане m_b					
0	34	344	256,5	0,073	3650	1	854
22	34	344	256,5	0,106	5300	56	22
35	34	344	256,5	0,060	3000	49	14
80	34	344	256,5	0,085	4250	119	8

Из данных, приведенных в таблице, видно, что при угле скрещивания $\alpha_3 = 0^\circ$ точка пересечения режущих кромок сливается в линию, направленную по плоскости расположения ножей, что соответствует одному контакту. Поэтому в этом случае показатель циклической элементарной длины имеет максимальное значение. С увеличением количества точек контакта циклическая элементарная длина уменьшается, что может снизить качество помола [2].

Выводы

1. Угол установки ножей зубчатого профиля инерционного тела влияет на угол скрещивания режущих кромок и количество точек пересечения режущих кромок, что отражается на технологических параметрах размола.
2. С увеличением длины контакта режущих кромок ножей при минимальном количестве точек пересечения можно добиться максимально эффективного воздействия рабочих органов размольной установки с точки зрения качества размола (фибрилляции волокна).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алашкевич Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 1986. 170 с.
2. Набиева А.А. Оценка влияния и совершенствования технологических параметров ножевых размалывающих машин: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2004. 156 с.
3. Свидетельство № 2009613683 РФ. Численный метод определения секундной режущей длины секторной ножевой гарнитуры дисковых мельниц с параллельными прямолинейными ножами постоянной ширины/А.А. Набиева, Е.Е. Нестеров, Ю.Д. Алашкевич, Д.С. Карпенко. Заявка № 2009612514, от 10.07.2009.
4. Smith S. Die rationelle Theorie das Ganzeughollandar. Otto Ernst Verlag. Berlin, 1922. 105 p.

I.A. Voronin, Yu.D. Alashkevich, A.A. Diratsuyan, N.S. Reshetova

Siberian State Technological University

Influence of Design Parameters of Inertial Bodies on Fibrous Materials Grinding

Theoretical and experimental research is provided for studying the influence of design parameters of grinding bodies on estimation of the main technological parameters of the grinding process in the device with inertial movement of grinding bodies.

Keywords: grinding, inertial bodies, fibrous suspension, cyclic elementary length, second cutting length, crossing angle, setting angle.

УДК 676.024.6

А.А. Дирацунян, Е.Е. Нестеров, Ю.Д. Алашкевич, И.А. Воронин

Сибирский государственный технологический университет

Нестеров Евгений Евгеньевич родился в 1975 г., окончил в 1998 г. Красноярский государственный университет, ассистент кафедры высшей математики и информатики Сибирского государственного технологического университета, аспирант кафедры машин и аппаратов промышленных технологий. Имеет 5 научных трудов в области теоретического анализа механизма обработки волокнистых материалов при ножевом и безножевом способах размола.

E-mail: mapt@sibstu.kts.ru



НОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР ПРОЦЕССА РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обоснована необходимость поиска более эффективных критериев оценки качественных показателей процесса размола; предложены новый технологический параметр процесса размола волокнистых материалов и методика его определения.

Ключевые слова: размол, длина контакта, точки пересечения, секундная режущая длина, угол скрещивания, угол установки, волокнистая суспензия, укороченные волокна, качество.

Определение технологического параметра секундной режущей длины гарнитуры ножевых размалывающих машин традиционным способом учитывает угол установки ножей к радиусу гарнитуры косвенно, через среднюю длину ножей. Оказалось, что в некоторых случаях контакт кромок происходит не по всей длине ножа. Следовательно, не в полной мере учитывается влияние углов скрещивания ножей на основные технологические показатели работы ножевых размалывающих машин в динамике процесса размола. Из литературных источников известно [2], что при всех прочих равных условиях увеличение абсолютной величины секундной режущей длины L_s при размоле массы влечет за собой укорочение волокон, а увеличение поверхности размола положительно сказывается на их фибрилляции. Используя традиционную формулу для вычисления L_s , установили, что при различных геометрических параметрах гарнитуры можно получить близкие по значению L_s , однако качество помола при этом будет различное. Видимые противоречия характеризуют проблему выбора конструктивных решений.

Существенным параметром, формирующим секундную режущую длину, является количество точек пересечения режущих кромок ножей ротора с ножами статора. Раньше его не учитывали, так как ему не придавали должного значения при расчете основных технологических параметров процесса размола. Каждая точка пересечения формирует поверхность размола в виде ромба [3]. При этом количество и площадь таких ромбов различно и динамично меняются при повороте ротора относительно статора. На количество точек пересечения влияют такие конструктивные особенности рисунка ножевой гарнитуры, как ширина ножа, ширина ячейки и угол установки ножей.

Учитывая вышесказанное и используя известный в математике способ преобразования координат при повороте осей координат на некоторый угол [1], произвели расчет секундной режущей длины секторной ножевой гарнитуры дисковых мельниц численным методом. Предложенная методика основана на определении координат движущейся точки пересечения режущих кромок, образованной при контакте пары прямолинейных параллельных ножей ротора и статора постоянной ширины,

установленных под некоторым углом к радиусу гарнитуры, до и после поворота ротора относительно статора, против часовой стрелки на малый угол $d\varphi$, при фиксированной частоте вращения. Для этого диск ножевой гарнитуры располагали в прямоугольной системе координат (первая четверть). Углы установки ножей ротора и статора определяли к радиусу диска по оси OX (рис. 1).

Определив координаты точек A' и A , вычислили длину отрезка $A'A$, образуемого пересечением ножевых кромок ротора и статора при повороте на малый угол $d\varphi$:

$$A'A = \frac{d\varphi}{k_2 - k_1} \sqrt{(k_2 - b_1 - b_1 k_2^2 + b_2 k_1 k_2)^2 + (k_1 k_2 + b_1 k_1 k_2^2 - b_2 k_1^2 k_2 - k_1 b_2)^2}, \quad (1)$$

где k_1 и k_2 – тангенсы угла наклона ножей статора и ротора к радиусу по оси OX ,

$$k_1 = \operatorname{tg}\alpha_c \text{ и } k_2 = \operatorname{tg}\alpha_p;$$

b_1 и b_2 – коэффициенты из уравнения прямой линии для статора и ротора.

Длину, отрезаемую парой ножей при повороте ротора относительно статора на малый угол $d\varphi$, с учетом углов установки ножей ротора и статора по отношению к радиусу гарнитуры, назвали радианной длиной элементарного контакта ($L_{\text{рад. эл.}}$, м/рад).

Учитывая, что гарнитура содержит большое количество ножей и эффекты от их воздействия усредняются по области гарнитуры, то, вычисляя двойной интеграл, уточняют истинную величину секундной режущей длины (2):

$$L_s = \omega L_{\text{рад}} = \omega \sum \bar{L}_{\text{рад.эл}} = \omega \sum \frac{AA'}{\Omega d\varphi} = \omega \sum \frac{x + y \operatorname{tg}\alpha_p}{\Omega \operatorname{tg}\alpha_p - \operatorname{tg}\alpha_c} \sqrt{1 + \operatorname{tg}\alpha_c^2}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения ротора, рад/с.

Предложенная математическая зависимость отражает сложность этапа определения данной технологической величины, поэтому необходимо привлечение современных средств вычислительной техники. На основании вышеприведенного расчета, с использованием пакета программ Matlab, была составлена программа, которая численным методом определяет количество точек, участвующих в отрезании некоторой длины [4].

Рис. 1. Расчетная схема расположения ножевого сектора в системе координат: α_1 – угол установки ножей статора; α_2 – угол установки ножей ротора



Рис. 2. Зависимость секундной режущей длины L_s (а) по области гарнитуры и количества одновременных точек пересечения t (контактов) ножевых кромок в пределах одного сектора (б) от угла поворота ротора относительно статора φ : 1 – экспериментальная кривая, 2 – среднее значение показателя



Таким образом, уточнено истинное значение секундной режущей длины, формируемой за оборот с учетом заданной частоты вращения ротора, ширины ножа, ширины ячейки и углов установки ножей к радиусу гарнитуры на роторе и статоре, а также входного и выходного диаметров гарнитуры, количества секторов на размольном диске и ширины технологической канавки. Предложенная методика позволила получить наглядную графическую зависимость взаимодействия ножевых кромок ротора и статора при повороте ротора на один сектор (рис. 2).

Анализируя полученные теоретические зависимости для различных рисунков гарнитур, определено, что угол установки ножей способен влиять на величину секундной режущей длины и, в большей степени, на количество точек пересечения, а значит, на среднее значение длины, «отрезаемой» парой ножей за один оборот. При сравнении секундной режущей длины ножевых гарнитур при прочих равных условиях, но с различными углами установки ножей, и сопоставлении коэффициента укорочения волокна и секундной режущей длины получены результаты, которые не стыкуются с традиционными представлениями о влиянии увеличения секундной режущей длины на рубку волокна при размоле. Поэтому возникла объективная необходимость поиска более эффективного критерия оценки качества помола и методики его определения.

На основании теоретических исследований определено отношение истинной секундной режущей длины и количества точек пересечения за один оборот ротора относительно статора для различных рисунков секторных ножевых гарнитур с прямолинейными параллельными ножами. Таким образом, впервые был получен новый критерий, объективно характеризующий геометрические параметры гарнитуры дисковых мельниц с учетом углов скрещивания ножей, названный циклической элементарной длиной:

$$L_{\text{эл}} = \left\langle \bar{L}_{\text{рад.эл}} \right\rangle 2\pi = \frac{60L_s}{nt \left(\frac{2\pi}{\psi} \right)} \quad (3)$$

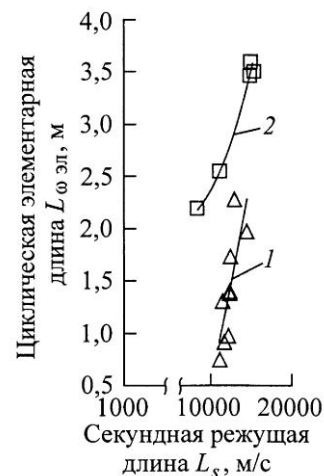
Здесь $\langle \rangle$ – обозначают усреднение по области;

n – частота вращения ротора, об/мин;

t – количество точек пересечения в пределах одного сектора;

ψ – угол при вершине сектора, град.

Рис. 3. Диапазон изменения значений циклической элементарной длины $L_{\omega \text{ эл}}$ и секундной режущей длины L_s : 1 – пересекающиеся ножи, 2 – совпадающие (зеркальные) ножи



Параметр $L_{\omega \text{ эл}}$ не учитывает скорость вращения ротора мельницы, так как рассчитывался на один оборот ротора. Для учета скорости вращения ротора при рабочем режиме установки включен параметр секундной режущей длины L_s (см. формулу (2)).

Теперь ножевую гарнитуру можно классифицировать по параметру циклической элементарной длины, характеризующей среднюю длину, «отрезаемую» парой ножей за один оборот ротора относительно статора, которая будет «циклично» повторяться при каждом последующем обороте диска ротора относительно статора.

На рис. 3 представлены значения циклической элементарной длины и секундной режущей длины для секторных ножевых гарнитур с параллельным расположением ножей, при прочих равных условиях, но с различными углами скрещивания режущих кромок. Изображение представлено в полулогарифмической системе для удобства сравнения значений различного порядка. У гарнитур 1-го типа (1) ножи всегда образуют некоторый угол скрещивания, а гарнитуры 2-го типа (2) выполнены зеркально. Для гарнитуры 1-го типа диапазон изменения значений секундной режущей длины составляет в пределах 20 %, а циклической элементарной длины – до 69 %. Это объясняет, почему на гарнитурах с близкими значениями секундной режущей длины получается различное качество массы.

Экспериментально было установлено, что с увеличением численного значения параметра циклической элементарной длины $L_{\omega \text{ эл}}$, происходит уменьшение коэффициента укорочения волокна [3].

При использовании нового технологического параметра $L_{\omega \text{ эл}}$ представляется возможным влиять на рисунок гарнитуры, уточнять секундную режущую длину и поверхность размола с учетом углов скрещивания ножей, которые в свою очередь зависят от геометрических параметров гарнитуры. Представленные разработки позволяют дать рекомендации для проектирования и изготовления гарнитур с необходимыми качественными показателями процесса размола и эффективной эксплуатации современных ножевых размалывающих машин на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевникова Т.Я. Высшая математика в упражнениях и задачах. В 2-х ч. Ч. I: учеб. пособие для вузов. 5-е изд., испр. М.: Высш. шк., 1999. 304 с.

2. Легоцкий С.С., Гончаров В.Н. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 224 с.

3. Набиева А.А., Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И. Анализ формирования технологических параметров ножевых размалывающих гарнитур // Химия растительного сырья. 2009. № 3. С. 169–172.

4. Свидетельство № 2009613683 РФ. Численный метод определения секундной режущей длины секторной ножевой гарнитуры дисковых мельниц с параллельными прямолинейными ножами постоянной ширины/А.А. Набиева, Е.Е. Нестеров, Ю.Д. Алашкевич, Д.С. Карпенко. Заявлено 10.07.2009. № 2009612514.

A.A. Diratsuyan, E.E. Nesterov, Yu.D. Alashkevich, I.A. Voronin
Siberian State Technological University

New Technological Parameter of Fibrous Materials Grinding Process

The search necessity of more efficient criteria for qualitative indices of grinding processes is justified. A new technological parameter for fibrous material grinding process and its determination technique are offered.

Keywords: grinding, contact length, crossing points, second cutting length, crossing angle, setting angle, fibrous suspension, fiber shortening, quality.

674.81: 692.23

А.В. Ермолина, П.В. Миронов

Сибирский государственный технологический университет

Ермолина Анна Владимировна родилась в 1985 г., окончила в 2008 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры химической технологии древесины и биотехнологии СибГТУ. Имеет около 10 печатных работ в области композиционных теплоизоляционных материалов.
E-mail: ermolinaav@mail.ru



Миронов Петр Викторович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Красноярский государственный университет, доктор химических наук, профессор, декан факультета переработки природных соединений Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 200 печатных работ в области биотехнологии, химической переработки растительного сырья, физиологии растений.
E-mail: mpv@sibsty.kts.ru



ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОЙ ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ

Рассмотрены технологические аспекты производства теплоизоляционного материала на основе древесноволокнистой массы из тарного картона; изучены физико-механические, гигроскопические свойства, теплопроводность, микроструктура.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, вторичная волокнистая масса, коэффициент теплопроводности, плотность, предел прочности, водо- и влагопоглощение.

Производство строительных материалов на основе отходов деревообработки и вторичного сырья – перспективное направление развития производства.

Увеличение спроса на индивидуальное жилье повышает интерес к экологически чистым теплоизоляционным материалам. Такие материалы должны обладать низкой теплопроводностью и оптимальными гигроскопическими свойствами, близкими к свойствам древесины. Кроме того, более удобными при строительстве являются плитные материалы, поскольку они позволяют избежать оседания и слеживания, способны удерживать форму. Таким требованиям отвечают материалы на основе растительного сырья: мягкие древесно-волокнистые плиты «Софтборд» [6], материалы на основе льна «ISOLINA» [10] и натуральной шерсти «Клималан» [9]. Интерес представляют плиты «Софтборд», но их можно производить только в условиях многотоннажного производства. Кроме того, у них минимальная плотность 150 кг/м^3 и, следовательно, сравнительно высокая теплопроводность. Теплоизоляционные материалы на основе льна и шерсти имеют достаточно высокую стоимость.

Перспективным является получение плитных теплоизоляционных материалов на основе волокнистой массы, получаемой из тарного картона, что позволяет вторично использовать древесное сырье в условиях даже малых производств.

Цель данных исследований – разработка оптимального состава и способа получения теплоизоляционного материала с использованием вторичного сырья и исследование его свойств.

В качестве основы для теплоизоляционного материала использовали волокнистую массу, полученную из тарного картона путем механического размола,

в качестве связующего на стадии предварительных исследований [8] – карбамидо-формальдегидную смолу, бутадиен-стирольный латекс, поливинилацетатный (ПВА) клей. По результатам исследований был выбран клей ПВА с отвердителем, так как наряду с технологическими достоинствами он относится к наиболее экологически чистым связующим.

Теплопроводность – один из главных показателей теплоизоляционного материала. Она зависит от плотности. Минимальный уровень теплопроводности достигается при плотности от 50 до 75 кг/м³ [2]. Получение материала низкой (менее 100 кг/м³) плотности – достаточно сложная технологическая задача. Одним из возможных путей ее решения является создание материала с пространственной пористой структурой. С этой целью производилось вспенивание композиции с использованием поверхностно-активного вещества (пенообразователя) при интенсивном диспергировании.

Изготовление материала включало в себя ряд операций: размол сырья, обезвоживание волокнистой массы, смешение ингредиентов, формование и сушка плит.

Тарный картон предварительно очищали от посторонних включений, замачивали и затем подвергали механическому размолу в гидроразбивателе. Для обеспечения высокого качества размол концентрацию волокна поддерживали в пределах от 2,0 до 2,5 %, что соответствовало абсолютной влажности 4000...5000 %. Использование волокнистой массы такой влажности не позволяло бы получить материал желаемой структуры в результате большой усадки. Это предопределило необходимость удалять избыточную влагу. Для этого применяли вакуумное обезвоживание. Особенности процесса изучали на экспериментальной установке, состоящей из водокольцевого насоса, колбы Бунзена с тубусом и фарфоровой воронки Бюхнера.

Результаты исследований представлены на рис. 1, из которого видно, что наиболее интенсивно процесс удаления влаги происходит в первые 10 с, затем он замедляется вне зависимости от толщины слоя материала.

На основе анализа литературных данных [12] для смешивания ингредиентов композиции был выбран смеситель ленточного типа. Смешивание осуществляли изогнутыми по винтовой линии стальными полосами (лентами). Этот тип смесителя позволил получить наиболее однородную массу с высокой степенью воздухововлечения (газосодержания).

Процесс смешения ингредиентов композиции производили следующим образом. Обезвоженную волокнистую массу загружали в смеситель и перемешивали, вносили связующее вещество (ПВА в концентрации 2 %) и раствор пенообразователя. При достижении однородной вспененной консистенции в смесь добавляли отвердитель, затем материал выливали в форму с сетчатым дном и подвергали конвективной сушке.

Для исследования процесса сушки была сконструирована сушильная установка, состоявшая из осево-центробежного вентилятора с шиберной заслонкой для регулирования скорости агента сушки, калорифера и автоматической системы регулирования температуры воздуха.

Полученный материал имел пористую структуру и большую исходную влажность, поэтому при конвективной сушке возникала его усадка. Известно, что величина усадки пеноматериала зависит от температуры [11] и, как нами было отмечено при проведении предварительных исследований, от скорости циркуляции агента сушки и исходной влажности волокнистой массы. Влияние температуры на усадку связано с протеканием конкурирующих процессов: испарения, изменения адсорбции

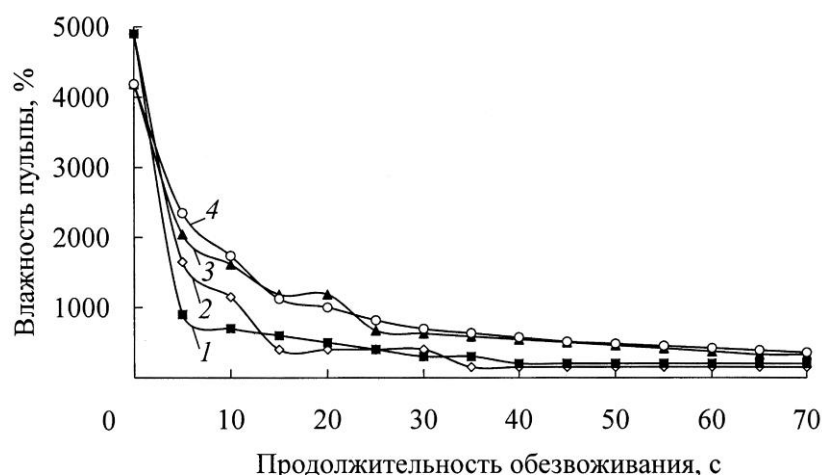


Рис. 1. Динамика процесса обезвоживания теплоизоляционного материала: 1 – толщина слоя 5 мм; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20 мм

пенообразователя, разрушения пеноструктуры, отверждения связующего. С повышением температуры увеличиваются испарение и скорость отверждения связующего вещества, в то же время снижаются адсорбция и стабильность пеноматериала, повышается скорость разрушения пористой структуры. Температура, способствующая протеканию процесса полимеризации с минимальной потерей пористости при высушивании, ограничивается температурой стеклования ПВА, которая составляет 90 °С [1]. На основании экспериментов было установлено, что оптимальная скорость циркуляции воздуха, обеспечивающая высокую скорость высушивания при минимальной усадке, составляет 2 м/с.

Результаты исследований влияния начальной влажности волокнистой массы на усадку при температуре агента сушки 90 °С и скорости его циркуляции 2 м/с приведены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, начальная влажность волокнистой массы для получения плитного материала с минимальной усадкой находится в пределах от 305 до 351 %. Такая влажность достигнута при продолжительности вакуумного обезвоживания около 70 с (рис. 1).

На рис. 2 представлен график сушки материала толщиной 70 мм. Кривая показывает, что процесс его сушки происходит равномерно по экспоненциальному закону с участком падающей скорости после достижения влажности 100 %. Это свидетельствует о том, что полученный материал имеет капиллярно-пористую структуру [7]. Это подтверждено исследованиями его микроструктуры (рис. 3).

Таблица 1

Начальная влажность волокнистой массы, %	Усадка, %
600±7	6,79
471±20	6,07
328±23	5,36

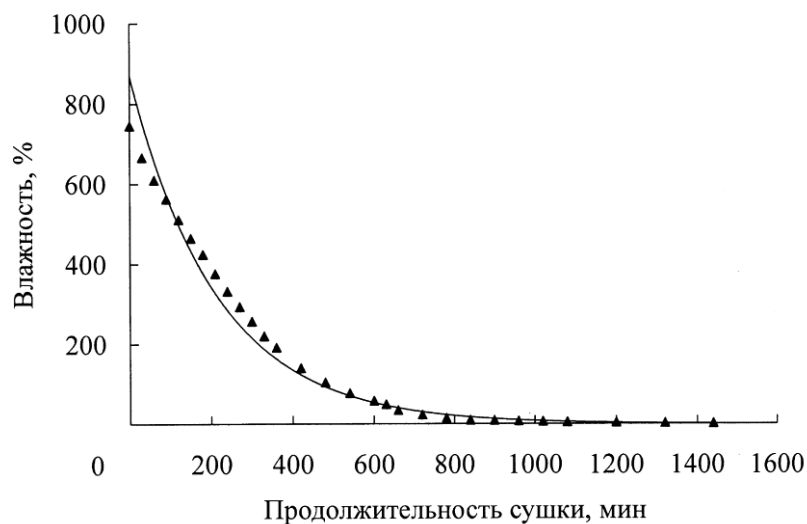


Рис. 2. Кривая сушки при толщине теплоизоляционного материала 70 мм ($y = 869,134e^{-0,0005x}$, $R^2 = 0,985$)

Тепловую эффективность материала оценивали по коэффициенту теплопроводности, определение которого проводили методом стационарного теплового потока по ГОСТ 7076–99 [3] с помощью прибора ИТП-МГ4 «250» (СКБ «СТРОЙПРИБОР») на образцах размерами 250×250×50 мм. При 5 %-й влажности теплопроводность образцов составляла $(0,051 \pm 0,002)$ Вт/(м·К), что соответствовало требованиям ГОСТ 16381–77 [4].

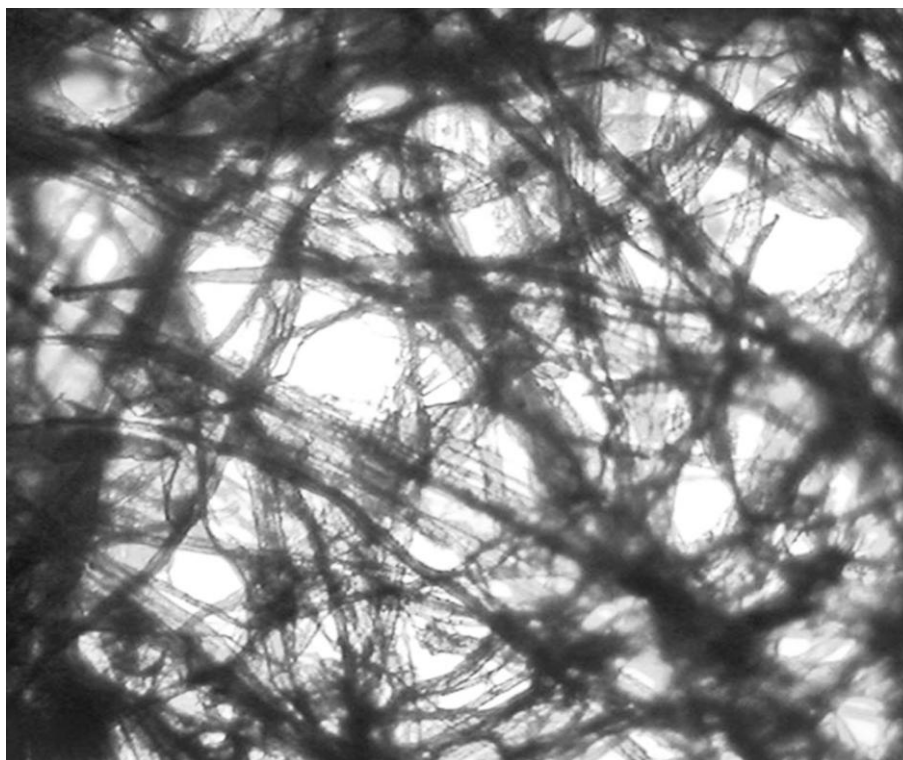


Рис. 3. Микрофотография среза образца теплоизоляционного материала ($\times 140$)

Таблица 2

Показатель	Значение показателя
Плотность, кг/м ³	69,20
Прочность на сжатие при 10 %-й линейной деформации, МПа	0,03
Предел прочности при статической изгибе, МПа	0,13
Влагопоглощение за 24 ч, %	10,9±0,6
« « « « « « , % от объема	85,7±6,7
Предел гигроскопичности, %	26,9

Определение физико-механических свойств, водо- и влагопоглощения материала проводили в соответствии с ГОСТ 17177–94 [5]. Так же был определен предел его гигроскопичности (табл. 2).

Полученные показатели физико-механических свойств свидетельствуют о том, что новый материал обладает высокими эксплуатационными свойствами, что позволяет прогнозировать возможность его длительной эксплуатации, а по влагопоглощению он близок к натуральной древесине, что будет способствовать созданию благоприятного микроклимата в помещении.

Выводы

1. Разработан состав теплоизоляционного материала на основе волокнистого сырья, получаемого при вторичной переработке тарного картона.

2. Разработан способ получения плитного теплоизоляционного материала; предложены способы подготовки сырья, диспергирования компонентов композиции, формования и сушки.

3. На основании изучения свойств нового теплоизоляционного материала установлено, что он перспективен для использования в качестве утеплителя в малоэтажном строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильнав Ж.Ж. Клеевые соединения. М.: Техносфера, 2007. 384 с.
2. Гнип И.Я., Кершулис В.И., Веялис С.А. Теплофизические свойства экваты // Строительные материалы. 2000. № 11. С. 25–27.
3. ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. Взамен ГОСТ 7076–87; введ. 01.04.2000. М.: Изд-во стандартов, 2000. 13 с.
4. ГОСТ 16381–77. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования. Взамен ГОСТ 16381–70; введ. с 30.12.76. М.: Изд-во стандартов, 1979. 4 с.
5. ГОСТ 17177–94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. Взамен ГОСТ 17177–87; введ. 01.04.1996. М.: Изд-во стандартов, 1996. 40 с.
6. Древесноволокнистая плита «Софтборд» – многофункциональный изоляционный материал для домостроения / В. И. Бирюков [и др.] // Деревообаб. пром-сть. 2008. № 2. С. 2–4.
7. Лыков А.В. Теория сушки. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1968. 471 с.
8. Миронов П.В., Ермолина А.В. Теплоизоляционные материалы: поропласты на основе синтетического связующего и волокнистых продуктов переработки древесины // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2009. Вып. 24. С. 120–123.

9. ООО «Инновационные технологии» / Центр информационных технологий ООО «Инновационные технологии». Красноярск: D&G, 2010. Режим доступа: http://www.inn-t.ru/izol_mat_klim.html

10. ООО «Райв-импорт» / Центр информационных технологий ООО «Райв-импорт». СПб: Планета SEO, 2009. Режим доступа: <http://www.rive-import.ru/content/view/15/33/>

11. *Тихомиров В.К.* Пены. Теория и практика их получения и разрушения. 2-е изд., перераб. М.: Химия, 1983. 264 с.

12. *Штербачек З., Тауск П.* Перемешивание в химической промышленности/Пер. с чешского; под ред. И.С. Павлушенко. Л.: Госхимиздат, 1963. 416 с.

A.V. Ermolina, P.V. Mironov
Siberian State Technological University

Production and Properties of Heat-insulating Material Based on Secondary Fiber

Technological aspects of heat-insulating material production based on wooden fiber from container board are considered. Physical-mechanical, hygroscopic properties, heat conductivity and microstructure are studied.

Keywords: heat-insulating material, secondary fiber, heat conductivity coefficient, density, ultimate strength, water and moisture absorption.

УДК 676.024.61

А.А. Ерофеева, В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич

Сибирский государственный технологический университет

Ерофеева Анна Александровна родилась в 1984 г., окончила в 2007 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, ассистент кафедры технологии конструкционных материалов СибГТУ. Имеет 15 печатных работ в области изучения вязкости волокнистых материалов.
E-mail: annakrasnoyarsk@rambler.ru



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Предложено для определения коэффициента вязкости макулатурной массы использовать усовершенствованную формулу Ньютона.

Ключевые слова: размол, вязкость, волокнистая суспензия, коэффициент динамической вязкости, скоростные характеристики, макулатурная масса, уравнение Ньютона.

Последнее время предприятия все чаще сталкиваются с проблемой утилизации отходов, в том числе и бумажных. Использование макулатуры – это решение сразу двух проблем: вторичной переработки отходов и создания упаковочных изделий. Поэтому изучение процесса движения волокнистых суспензий, в частности макулатурной массы, а также определение их физических характеристик является весьма актуальным вопросом.

Наибольший интерес представляет определение коэффициента динамической вязкости, поскольку данный физический параметр играет большую роль в расчетах оборудования, перемещающего жидкости по трубопроводам, каналам и рабочим полостям гидравлических машин.

Определение вязкости волокнистых суспензий связано со значительными проблемами, в частности, с невозможностью использования вискозиметров для ньютоновских жидкостей. Одно из наиболее простых решений данной проблемы – использование уравнения Ньютона [5, 6], связывающего между собой вязкость жидкости и скоростные характеристики потока:

$$\mu = \frac{F_{\text{сд}}(r_2 - r_1)}{(v_1 - v_2)s}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

$F_{\text{сд}}$ – сила сдвига, Н;

$r_2 - r_1$ – расстояние между слоями жидкости, м;

$v_1 - v_2$ – разность скоростей движения соседних слоев жидкости, м/с;

s – площадь сдвига слоев, м².

Ранее нами было предложено [1] модернизированное уравнение Ньютона для определения коэффициента динамической вязкости макулатурной массы (v – вода, m – масса):

$$\mu^M = \frac{\mu^B F_{\text{сд}}^M l^B s^B}{F_{\text{сд}}^B l^M s^M}, \quad (2)$$

где $l = v_1 - v_2$ – разность скоростей соседних слоев (см. рисунок), м.

В соответствии с рисунком обозначаем скорости движения слоев при ламинарном движении через v . Выбираем две произвольные точки скоростей движения слоев жидкости в потоке (v_1 и v_2) и производим по ним расчет.

Согласно зависимости (2) для определения коэффициента динамической вязкости воды и малоконсистентных волокнистых суспензий необходимо определить их скоростные характеристики, силы и площади сдвига.

Площадь сдвига слоев (см. рисунок) рассчитываем по формуле:

$$s = 2\pi r_1 l, \quad (3)$$

Для определения силы сдвига используем формулу из работы [7]:

$$F_{\text{сд}}^M = \frac{F_{\text{сд}}^B (v_1^B - v_2^B) s^B}{(v_1^M - v_2^M) s^M}. \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в (2), получаем формулу для определения коэффициента динамической вязкости:

$$\mu = \frac{\mu^B (v_2^B - v_1^B)^4}{(v_2^M - v_1^M)^4}, \quad (5)$$

где μ^B – коэффициент динамической вязкости воды, Па·с (данный параметр при заданной температуре выбирают из справочника [4]);

$v_2^B - v_1^B$ – разность скоростей движения соседних слоев воды, м/с;

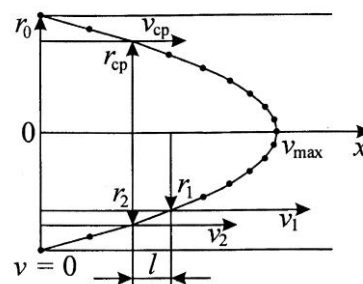
$v_2^M - v_1^M$ – разность скоростей движения соседних слоев макулатуры, м/с.

Таким образом, нами получена формула (5), с помощью которой можно определить коэффициент динамической вязкости волокнистых суспензий, зная их скоростные характеристики.

В целях определения указанных параметров была использована размольная безножевая установка «струя–преграда» [3], разработанная в лаборатории кафедры МАПТ СибГТУ. В качестве исследуемых жидкостей использовали воду и макулатурную массу МС-1 производства ООО «СибБумага» концентрацией 0,5; 1,0 и 1,5 %. Эксперимент проводили в четыре этапа при температуре 25 °С и объеме полости рабочего цилиндра $V_{\text{ц}} = 0,008 \text{ м}^3$.

Для анализа характера распределения скоростей необходимо знать время истечения t объема исследуемой жидкости $V_{\text{ц}}$ из насадки, т.е. секундный расход (Q , м³/с). Время истечения замеряли с точностью до 0,001 с, используя скоростную видеокамеру и последующую обработку полученных результатов с помощью программы AVI MPEG ASF WMV Splitter.

Схема распределения скоростей жидкости в ламинарном потоке



Секундный расход рассчитывали по формуле

$$Q = \frac{V_{\text{ц}}}{t}, \quad (6)$$

где $V_{\text{ц}}$ – объем полости рабочего цилиндра установки, м^3 .

Результаты эксперимента и расчетные данные при $V_{\text{ц}} = 0,008 \text{ м}^3$ представлены в таблице.

Показатель	Значение показателя для исследуемой жидкости			
	Вода	Макулатурная масса концентрацией, %		
		0,5	1,0	1,5
Время истечения t , с	15,22	16,02	17,92	19,53
Секундный расход Q , $\text{м}^3/\text{с}$	0,00052	0,00047	0,00044	0,00041
Скорость* потока в полости установки, м/с:				
v_2	0,091	0,083	0,077	0,071
v_1	0,071	0,064	0,059	0,055
Радиус*, м:				
r_2	0,033036	0,033426	0,033492	0,033354
r_1	0,030000	0,030000	0,030000	0,030000
Динамический коэффициент вязкости μ , Па·с	0,000894	0,001464	0,001943	0,002711

*Скоростные характеристики определены по методике [2].

Из данных таблицы следует, что вода имеет наименьшее время истечения и как ньютоновская жидкость обладает наибольшей скоростью истечения (секундным расходом). Для макулатурной массы, при прочих равных условиях, увеличение концентрации рабочей среды приводит к росту времени истечения и снижению скоростей потока. Это связано с тем, что с увеличением концентрации возрастает вязкость исследуемых жидкостей.

Результаты расчета коэффициента динамической вязкости по формуле (5), приведенные в таблице, показывают, что с увеличением концентрации макулатурной массы μ возрастает.

Выводы

1. Впервые рассчитаны скоростные характеристики потока макулатурной массы различной концентрации.

2. Усовершенствована классическая зависимость Ньютона, которая позволяет достаточно точно определить коэффициент динамической вязкости малоконсистентных водных волокнистых суспензий, в частности макулатурной массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерофеева А.А., Алашкевич Ю.Д. Коэффициент динамической вязкости волокнистых суспензий // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: СибГТУ, 2010. Т. 2. С. 89–92.

2. Определение скоростных характеристик течения волокнистых суспензий в каналах / Е.В. Петров [и др.] // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: СибГТУ, 2010. Т. 2. С. 100–103.

3. Пат. 1559026 СССР, D21D 1/34, B02C 19/06. Установка для измельчения волокнистого материала/ А.Г. Лахно, В.Г. Васютин, Ю.Д. Алашкевич, Н.А. Войнов, С.М. Репях; заявитель и патентообладатель СибГТУ. № 4399132; заявл. 28.03.88; опубл. 23.04.90, Бюл. № 15. 6 с.

4. Справочник химика. Т. 1. Л.; М.: Госхимиздат, 1964. 1070 с.

5. *Терентьев О.А.* Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производств. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 248 с.

6. Физический энциклопедический словарь / Под ред. А.М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.

7. *Элер, В.Д., Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И.* Определение силы сдвига при течении волокнистых суспензий в каналах размольной установки // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск: СибГТУ, 2010. Т. 2. С. 104–106.

A.A. Yerofeeva, V.I. Kovalyov, Yu.D. Alashkevich
Siberian State Technological University

Determination of Wastepaper Dynamic Viscosity Coefficient

Improved Newton formula is proposed to determine viscosity coefficient of wastepaper.

Keywords: grinding, viscosity, fibrous suspension, dynamic viscosity coefficient, speed characteristics, wastepaper, Newton equation.



УДК 630.866.1

Е.В. Исаева, Т.В. Рязанова

Сибирский государственный технологический университет

Исаева Елена Владимировна родилась в 1958 г., окончила в 1981 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 70 работ в области химии и технологии биологически активных веществ.
E-mail: isaevaelena08@mail.ru



Рязанова Татьяна Васильевна родилась в 1942 г., окончила в 1968 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химической технологии древесины и биотехнологии Сибирского государственного технологического университета, чл.-корр. Академии проблем качества. Имеет более 250 работ в области химической переработки древесины и биотехнологии.
E-mail: tatyana-htd09@mail.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА СО₂-ЭКСТРАКТА ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО МЕТОДОМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Установлено, что экстрагент обладает селективностью по отношению к углеводородам, сложным эфирам и спиртам и извлекает из вегетативной части тополя бальзамического *Populus balsamifera* L. до 13 % эфирных масел и 4 % спирторастворимых веществ.

Ключевые слова: тополь, СО₂-экстракт, вегетативная часть, хромато-масс-спектрометрия.

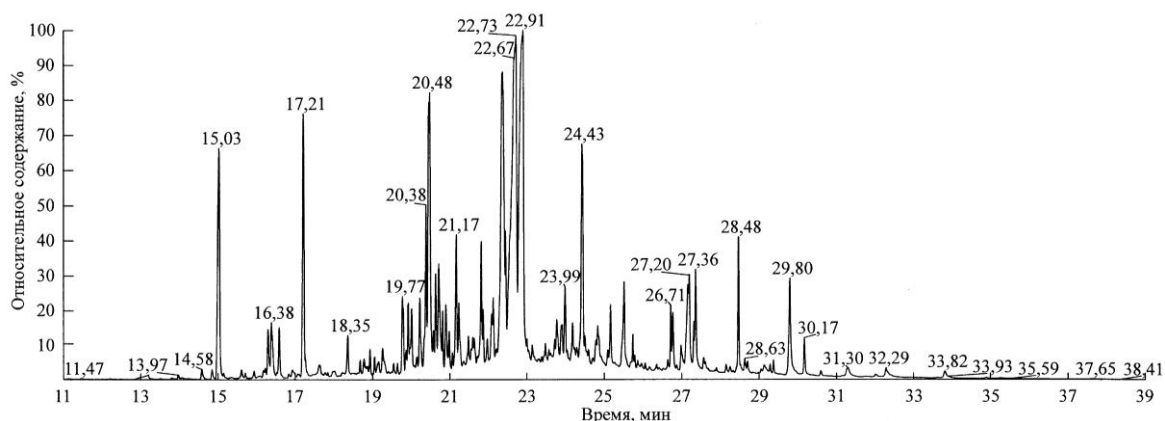
Проблема рационального использования древесного сырья, в том числе древесной зелени, является одной из самых важных в лесном хозяйстве. Перспективным направлением переработки древесной зелени может служить СО₂-экстракция, которая нашла применение при получении биологически активных веществ (БАВ) из лекарственных и других растений [3, 4, 8, 10]. Благодаря наличию в углекислотных экстрактах эфирного масла, хлорофилла, витаминов и других веществ они обладают высоким биогеностимулирующим действием. Соединения, входящие в его состав, при низких температурах процесса выделения не претерпевают никаких изменений [1].

Однако, несмотря на ряд достоинств, этот экстрагент до настоящего времени не нашел широкого применения для извлечения БАВ из древесных растений, так как после экстрагирования диоксидом углерода в остатке сохраняются почти все водо- и часть органорастворимых веществ. Поэтому, на наш взгляд, сжиженный диоксид углерода целесообразнее использовать при ступенчатой переработке растительного сырья.

Ранее авторы сообщали результаты исследования с помощью химических и хроматографических методов анализа (тонкослойная, колоночная и газожидкостная хроматография) состава СО₂-экстракта, полученного из вегетативной части тополя бальзамического [2].

В настоящей работе приведены результаты исследования СО₂-экстракта и эфирных масел послеэкстракционного остатка методом хромато-масс-спектрометрии.

Сырьем служили побеги с почками, заготовленные в период вегетации (последняя декада апреля). Условия экстрагирования изложены нами в работе [2]. Эфирные масла из послеэкстракционного остатка вегетативной части тополя выделяли методом гидродистилляции на модифицированном аппарате Клевенджера, экстрактивные вещества – исчерпывающей экстракцией 96 %-м этанолом и водой [5].

Хроматограмма CO₂-экстракта вегетативной части тополя бальзамического

Для эксперимента использовали хромато-масс-спектрометр Polaris Q с газовым хроматографом TraceGC и колонкой Cp-Si8CB lowbleed/MS (кварц; длина 50 м; ширина 0,5 мм; толщина пленки 0,25 мкм; температура колонки 40 °С (изотерма 5 мин), 40...280 °С (10 °С/мин), 280 °С (изотерма 30 мин)). Температура испарителя 280 °С; температура источника ионов 150 °С; температура интерфейса между ГХ- и МС-детектором 280 °С; объем пробы – 1 мкл. Ионизация – электронный удар (70 эВ); сбор данных – 1,2 скан./с при массовой области 40...600 а.е.м. Процентный состав экстракта и эфирных масел вычисляли по площадям газохроматографических пиков без использования корректирующих коэффициентов. Качественный анализ основан на сравнении времени удерживания и полных масс-спектров с соответствующими данными компонентов эталонных масел и чистых соединений, если они имелись, и данными библиотеки масс-спектрометрических данных Wiley275 (275 000 масс-спектров) и каталогов [11, 12].

CO₂-экстракт из вегетативной части тополя бальзамического представляет собой маслянистую массу темно-коричневого цвета с приятным запахом, характерным для почек тополя. При CO₂-экстракции вегетативной части тополя в экстракт переходит до 13 % эфирных масел и 4 % веществ, извлекаемых этиловым спиртом. Анализ нейтральных веществ CO₂-экстракта показал, что основную его часть составляют углеводороды (38,0 %), сложные эфиры (16,5 %) и спирты (13,5 % от массы экстракта). На долю стероидов и воскообразных веществ приходится около 2 % [2].

На рисунке представлен хроматографический профиль углекислотного экстракта, а в табл. 1 приведено содержание компонентов, входящих в его состав.

Как показали результаты исследования, основную часть CO₂-экстракта составляют сесквитерпены – 57,33 %, на долю монотерпеноидов приходится 15,28 % сухих веществ экстракта. Общее количество кислородсодержащих соединений составляет 69,87 %. Несомненный интерес представляет значительное содержание эфирных масел в экстракте.

Сесквитерпеноиды, наряду с халконами, обладая высокой биологической активностью, обуславливают хорошие бактерицидные и фунгицидные свойства экстракта. Кроме того, в состав CO₂-экстракта входит витамин С и вещества, обладающие F-витаминной активностью, на долю которых приходится 2,8 % от суммы летучих компонентов экстракта.

Таблица 1

**Компонентный состав углекислотного экстракта вегетативной части
тополя бальзамического**

Время удерживания, мин	Компонент	Содержание компонента, %
15,03	Линалоол	6,9
15,61	3-Метилбутен-3-ил-2-метилбутаноат	0,20
16,28	Борнеол	0,61
16,38	Лимонен диоксид	0,87
16,58	Камфен	0,63
17,21	Линалилфенилацетат	5,45
17,76	Метилловый эфир 13,16-октадекадиеновой кислоты	0,03
18,35	Цис-лимонен-1,2-эпоксид	0,47
18,01	Ксилен,5-тетробутил	0,12
19,05	α - Муrolен	0,12
19,13	α -Аморфен	0,12
19,55	α -Цедрен	0,11
19,77	Гумулен	1,22
19,91	Кариофиллен	0,68
20,17	Триметилловый эфир бензойной кислоты	0,12
20,38	β -Куркумен	1,25
20,48	2-Фенилэтил-2-метилбутаноат	8,10
20,63	Гидрокситолуиен бутилат	0,75
20,71	Аромадендрен	1,33
21,17	6(Толил)-2-метил-2-гептанол	1,43
21,81	β -Кариофиллен эпоксид	1,49
21,86	γ -Муrolен	0,37
22,38	γ -Эвдесмол	7,01
22,73	α -Эвдесмол	13,87
22,89	α -Бизаболол	14,21
23,99	β -Эвдесмол	0,81
23,95	Метилловый эфир бензойной кислоты	0,29
24,43	Аромадендрен оксид (2)	3,48
25,00	Триметилпропиловый эфир октадекановой кислоты	0,01
25,17	4,4Триметилтрицикло[6.3.1.0[1,5]]додекан-2,9-диол	0,56
25,37	Метилпропиловый эфир стеариновой кислоты	0,01
25,51	Пальмитиновая кислота	1,64
25,74	Аскорбиновая кислота	0,31
26,72	Метилловый эфир арахидоновой кислоты	0,54
26,77	2-3-Дигидроксипропиловый эфир линоленовой кислоты	0,59
27,20	7,11-Гексадекадиенал	1,14
27,16	Линолевая кислота	1,38
27,36	Олеиновая кислота	1,25
28,48	Октакозан	1,46
29,81	Халкон,2',6'-дигидрокси-4'-метокси	1,34
29,29	Гептакозан	0,09
30,17	Пентакозан	0,49
32,29	18-Пентатриаконтанон	0,19
33,81	10,13,13-Триметил-11-тетрадеценол ацетат	0,15
Итого идентифицировано		83,19

Таким образом, полученные результаты говорят о целесообразности использования CO₂-экстракции для выделения БАВ из вегетативной части тополя. Условия экстрагирования и полное отсутствие растворителя позволяют веществам находиться в экстракте в максимально концентрированном нативном виде.

Общий выход экстрактивных веществ при CO₂-экстракции вегетативной части тополя составил 2 % от абс. сухого сырья. Например, в аналогичных условиях из древесной зелени и коры пихты извлекалось соответственно до 5,0 и 6,5 % веществ, из древесной зелени черемухи – 0,8 % от абс. сухого сырья [6, 7].

Последующая обработка различными растворителями проэкстрагированного диоксидом углерода сырья, благодаря изменению диапазона концентраций, позволит дополнительно извлечь комплекс соединений.

При исследовании твердого остатка вегетативной части тополя после экстракции диоксидом углерода установлено, что на долю экстрактивных веществ приходится 49,5 %, из которых 10,5 % – летучие с паром, 5,9 % – водорастворимые соединения, остальное – растворимые в этаноле.

В табл. 2 приведены результаты хромато-масс-спектрометрического анализа легколетучих компонентов, выделенных методом гидродистилляции из послеэкстракционного остатка вегетативной части тополя.

Таблица 2

Состав (в процентах от суммарного масла) эфирных масел твердого остатка

Компонент	Количество	Компонент	Количество
Салициловый альдегид	0,10	Ар-куркумен	3,71
Линалоол	0,32	2-Фенилэтил 2-метилбутаноат	7,45
Пренил 2-метилбутаноат	0,29	10,11-Эпоксикаламенен	0,70
Пренил 3-метилбутаноат	0,10	γ-Аморфен	0,64
α-Иланген	0,45	Изоаромодендрен эпоксид	0,51
Бензил 2-метилбутаноат	0,10	β-Бизаболен	0,49
Эпи-сесквитуйен	0,15	Сесквицинеол	1,08
Фенилэтил изобутаноат	0,25	Транс-каламенен + β-сесквифелландрен	0,86
α-Цедрен	0,11	Дигидроаромадендрен	1,96
Цис-α-бергамотен	0,34	Селина-3, 7(11)-диен + α-калакорен	0,69
Кариофиллен	0,63	2-Фенилэтил тиглат	0,74
Транс-α-бергамотен	1,39	Гумулен-6, 7-эпоксид	0,80
2-Фенилэтил <i>n</i> -уаноат	0,11	Эремолигенол	3,01
6,9-Гвайадиен	0,18	γ-Эвдесмол	11,49
Гумулен	0,84	Хинезол	1,23
Е-β-фарнезен	0,79	β-Эвдесмол	14,81
Аромадендрен	0,27	α-Эвдесмол	13,11
γ-Муrolен	0,15	α-Бизаболол	17,80
γ-Куркумен	2,13	Трикозан	0,60

При сопоставлении результатов анализа эфирных масел углекислотного экстракта (см. табл. 1) и твердого остатка (табл. 2) установлено, что диоксид углерода обладает разной экстрагирующей способностью по отношению к индивидуальным летучим компонентам вегетативной части тополя.

Такие компоненты, как β -куркумен, 3-метилбутен-3-ил-2-метилбутаноат и пренилтиглат, экстрагируются полностью. Пренилметилбутаноат более чем на 70 %, гумулен, кариофиллен и 2-фенилэтил-2-метилбутаноат на 60 % переходят в CO_2 -экстракт. Такие основные компоненты эфирных масел, как эвдесмол и бизаболол, экстрагируются диоксидом углерода только на 10...20 % от общего их содержания в вегетативной части тополя [9].

Анализ нейтральных компонентов CO_2 -экстракта и твердого остатка показал, что среди нейтральных веществ твердого остатка отсутствуют такие компоненты, как эфиры стериннов и стерины, а также эфиры жирных кислот, которые перешли в углекислотный экстракт [2].

Таким образом, исследования углекислотного экстракта вегетативной части тополя показали, что выход экстрактивных веществ невелик. Диоксид углерода обладает селективностью и извлекает преимущественно углеводороды, сложные эфиры и спирты. Высокое содержание эфирных масел, в частности сесквитерпеноидов, указывает на перспективность возможного использования CO_2 -экстракта вегетативной части тополя в качестве ростостимулирующего и фунгицидного препаратов в растениеводстве, антимикробного и противогрибкового препаратов в животноводстве. В состав экстрактивных веществ твердого остатка входят многие биологически активные соединения, что позволяет использовать послеэкстракционный остаток для дальнейшей переработки с получением липидного концентрата, эфирного масла, защитных биопрепаратов и других продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грицко С.Л., Репях С.М. Сжиженные углеводородные газы-экстрагенты для растительного сырья // Раст. ресурсы. 1981. Т. 17, № 1. С. 102–105.
2. Исаева Е.В., Ложкина Г.А., Рязанова Т.В. CO_2 -экстракция вегетативной части тополя бальзамического // Вестник КрасГАУ. 2006. № 13. С. 173–178.
3. Касьянов Г.И., Пехов А.В., Таран А.А. Натуральные пищевые ароматизаторы – CO_2 -экстракты. М., 1978. 234 с.
4. Кипоренко С.Ф. Об экстракции растительного сырья сжиженными газами // Масложировая пром-сть. 1965. № 7. С. 40–41.
5. Рязанова Т.В., Чупрова Н.А., Исаева Е.В. Химия древесины. Красноярск: Изд-во КГТА, 1996. 358 с.
6. Ушанова В.М. Комплексная переработка древесных отходов пихты с использованием сжиженной углекислоты: автореф. дисс... канд. техн. наук. Красноярск, 1995. 25 с.
7. Ушанова В.М., Степень Р.А., Репях С.М. Переработка древесных отходов хвойных деревьев // Химия раст. сырья. 1998. № 2. С. 17–23.
8. Фадеева Н.В. Технология экстрактов из биомассы *Padus avium mill*: автореф. дисс... канд. техн. наук. Красноярск, 2000. 25 с.
9. Хромато-масс-спектрометрическое исследование летучих компонентов вегетативной части тополя бальзамического / Е.В. Исаева [и др.] // Химия раст. сырья. 2008. № 1. С. 63–66.
10. Шанина Е.В., Рубчевская Л.П. Углекислотный экстракт плодов *Rosa acicularis hindl* // Вестник СибГТУ. 2003. № 1. С. 60–61.
11. Eight Peak Index of Mass Spectra // Royal Society of Chemistry. University of Notinham, England, Third Edition, 1983. Vol. 1–2.

12. *McLafferty F.W., Stauffer D.B.* The Wiley/NBS Registry of Mass Spectral Data. Wiley-Interscience, 1989. Vol. 1–7.

E.V. Isayeva, T.V. Ryasanova
Siberian State Technological University

Research on the Carbon Dioxide Extract Composition of Balsam Poplar (*Populus Balzamifera* L.) Vegetative Part Using the Method of Chromato-Mass-Spectrometry

It has been established that CO₂ extract is selective towards hydrocarbons, ester and alcohol. It extracts up to 13 % of volatile oil and 4 % of alcohol-soluble substance.

Keywords: CO₂ extract, vegetative part, chromato-mass-spectrometry.

УДК 674.2:624.011.15

Б.Д. Руденко

Сибирский государственный технологический университет

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ЦЕМЕНТНО-ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИТА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Полученная в ходе исследований картина распределения деформаций во времени позволяет прогнозировать долговечность цементно-древесного композита и конструкций из него.

Ключевые слова: статическая характеристика, деформация, статистическая модель, композит.

В процессе эксплуатации цементно-древесных композиционных материалов наблюдаются их деформации, вызванные внешними или внутренними воздействиями, механическими, тепловыми, структурными и др. Характер деформаций зависит от структуры композита. Моделирование деформационных явлений позволяет выявлять эксплуатационные свойства композитов и, следовательно, пути их улучшения.

Цель наших исследований – установление возможности использования статических моделей при определении статистических характеристик деформаций цементно-древесного композита.

Рассмотрим особенности определения статистических характеристик деформаций цементно-древесного композита под воздействием механической нагрузки. При рассмотрении этого вопроса на основании положений [2] в качестве аргумента следует использовать не продолжительность t воздействия механической нагрузки, а деформацию l . Тогда статистические характеристики можно определить по следующим формулам:

дисперсия

$$\sigma_q^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n q_i^2(l) / n; \quad (1)$$

корреляционная функция распределения деформаций конгломерата

$$R_q(l, l + \Delta l) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n q_1(l) q_2(l) / n; \quad (2)$$

нормированная корреляционная функция

$$\rho(\Delta l) = \frac{R_q(\Delta l)}{\sigma_q^2}. \quad (3)$$

Здесь n – число кривых в ансамбле.

Исходной кривой является распределение во времени деформаций $q(l)$, по которой обычным методом определяют как корреляционную функцию $R_q(l, l + \Delta l) = R_q(\Delta l)$, так и спектральную плотность $S_q(\omega)$ (для стационарного процесса). При этом аргументы l и $l + \Delta l$ корреляционной функции будут иметь размерность длины (метр), а аргумент ω спектральной плотности – метр в минус первой. Здесь частота $\omega = 2\pi/L_0$ (где L_0 – длина колебательной волны). Для перехода от аргумента времени τ к аргументу l и от аргумента ω (секунда в минус первой) к аргументу ω_1 нужно τ и ω умножить на скорость (v , м/с) распределения деформаций, т.е. $l = \tau v$; $\omega_1 = \omega v$. При $v = 1$ м/с численные значения l и τ , а также ω и ω_1 совпадают.

Эти характеристики, найденные в функции распределения во времени, определяются в рассматриваемом случае как сигналы для распределения деформаций. Эти сигналы следует выражать через аргументы τ и ω , так как выходные сигналы здесь будут зависеть от распространения деформаций.

Таким образом, чтобы перейти от случайной функции $q(t)$ к случайному процессу $q(t)$, который и представляет собой реакцию динамической системы, нужно аргумент l разделить на скорость v распределения деформаций.

При оценке воздействия механических усилий на конгломерат можно использовать интервалы времени Δl , через которые измеряются ординаты профиля деформаций $q(l)$ во времени (при числе измерений от 40 до 50): для арболита $\Delta l = 10 \dots 20$ ч (при $l = 90$ сут); для ЦСП – 40 ... 50 ч (при $l = 180$ сут); для бетона – 10 ... 20 ч (при $l = 45$ сут).

Корреляционные функции случайного процесса являются функциями неслучайными и аппроксимируются различными функциональными зависимостями. При этом следует выдерживать условие, чтобы аппроксимирующие функции были простыми и при аппроксимации корреляционных функций $R_x(t)$ с увеличением сдвига функция $f(t)$ затухала. Это требование выдерживается, если использовать функцию

$$f(t) = e^{-\alpha_1 t} \cos \beta_1 t. \quad (4)$$

Приведенная на рис. 1 типичная кривая корреляционной функции случайного процесса аппроксимируется зависимостью

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\alpha_1 |\tau|}. \quad (5)$$

По зависимости видно, что связь между ординатами случайного процесса, описываемая корреляционной функцией, при увеличении τ уменьшается (корреляционная функция уменьшается). Подобное изменение корреляционной функции с ростом времени τ характерно для случайных процессов.

Наряду с приведенной зависимостью могут быть использованы зависимости

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\alpha |\tau|} \cos \beta \tau; \quad (6)$$

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\alpha |\tau|} \left(\cos \beta \tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta \tau \right) \quad (7)$$

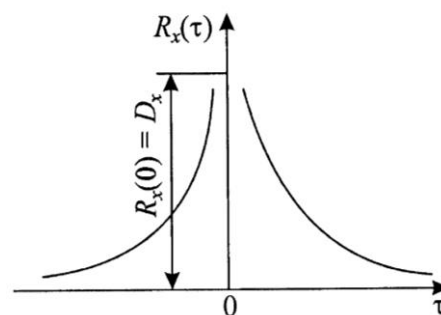
или соответствующие им нормированные корреляционные функции:

$$\rho_x(\tau) = e^{-\alpha |\tau|}; \quad (8)$$

$$\rho_x(\tau) = e^{-\alpha |\tau|} \cos \beta \tau; \quad (9)$$

$$\rho_x(\tau) = e^{-\alpha |\tau|} \left(\cos \beta \tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta \tau \right). \quad (10)$$

Рис. 1. Типичная кривая корреляционной функции



В общем случае для нормированной корреляционной функции можно использовать выражение

$$\rho(\tau) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\alpha_i |\tau|} \cos \beta_i \tau. \quad (11)$$

Можно ограничиться $n = 2$, и тогда

$$\rho(\tau) = A_1 e^{-\alpha_1 |\tau|} \cos \beta_1 \tau + A_2 e^{-\alpha_2 |\tau|} \cos \beta_2 \tau \quad (12)$$

либо

$$\rho(\tau) = A_1 e^{-\alpha_1 |\tau|} + A_2 e^{-\alpha_2 |\tau|} \cos \beta_2 \tau, \quad (13)$$

где $A_1 + A_2 = 1$ – безразмерные коэффициенты.

Здесь коэффициенты α и β определяют свойства корреляционной функции и, соответственно, самого случайного процесса, при этом α определяет интенсивность затухания корреляционной функции, а β – среднюю частоту составляющих случайного процесса.

Корреляционную функцию профиля деформаций во времени следует выражать через аргумент расстояния l , имея в виду, что $l = v\tau$ (где v – скорость распределения деформаций). Тогда выражения (12) и (13) примут следующий вид:

$$\rho(l) = A_1 e^{-\alpha'_1 |l|} \cos \beta'_1 l + A_2 e^{-\alpha'_2 |l|} \cos \beta'_2 l; \quad (14)$$

$$\rho(l) = A_1 e^{-\alpha'_1 |l|} + A_2 e^{-\alpha'_2 |l|} \cos \beta'_2 l, \quad (15)$$

где l – интервал корреляции на промежутке времени.

Для вычисления коэффициентов аппроксимирующих выражений используется стандартная программа решения трансцендентных уравнений на ЭВМ.

В таблице приведены коэффициенты аппроксимированных корреляционных функций микропрофиля распределения деформаций во времени.

Значение численных коэффициентов для цементобетона и асфальта взяты из [1, 2], для ЦСП использованы материалы [3–5], для арболита – [6, 7].

От аппроксимированных статистических характеристик (корреляционные функции), используя преобразование Лапласа, переходят к их выражению в форме дробно-рациональных функций, более удобных для расчета и представляющих окончательный вид математической модели исследуемого случайного процесса.

Аппроксимирующие зависимости корреляционных функций

Тип конгломерата	Дисперсия ординат микропрофиля D_q , см ²	Приближенная аппроксимация нормированной корреляционной функции микропрофиля $r(l)$	A_1	A_2	α_1	α_2	β
					м ⁻¹		
Цементобетон	0,79	$e^{-\alpha_1 \tau } \cos\beta\tau$	–	–	0,080	–	0,143
Асфальт	1,60	$A_1 e^{-\alpha_1 \tau } + A_2 e^{-\alpha_2 \tau } \cos\beta l$	0,650	0,350	0,250	0,050	0,196
ЦСП	6,20	$A_1 e^{-\alpha_1 \tau } + A_2 e^{-\alpha_2 \tau } \cos\beta l$	0,668	0,332	1,100	10,600	19,700
Арболит	6,30	$A_1 e^{-\alpha_1 \tau } + A_2 e^{-\alpha_2 \tau } \cos\beta l$	0,953	0,050	0,213	0,049	1,367

Изображение по Лапласу аналитической функции $f(t)$, аппроксимирующей экспериментальные кривые корреляционной функции $R_x(\tau)$, имеет вид

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = \frac{D_1(s)}{D_2(s)}, \quad (16)$$

т.е. представляет собой дробно-рациональную функцию, равную отношению двух полиномов $D_1(s)$ и $D_2(s)$ в пространстве изображений по Лапласу (или в комплексной области*).

Если корреляционная функция аппроксимируется выражениями (8) или (9), то им соответствуют нормированные спектральные плотности:

$$\delta_x(\omega) = \frac{2\alpha}{\pi} \frac{1}{\alpha^2 + \omega^2}; \quad (17)$$

$$\delta_x(\omega) = \frac{2\alpha}{\pi} \frac{\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2) + 4\alpha^2\omega^2}. \quad (18)$$

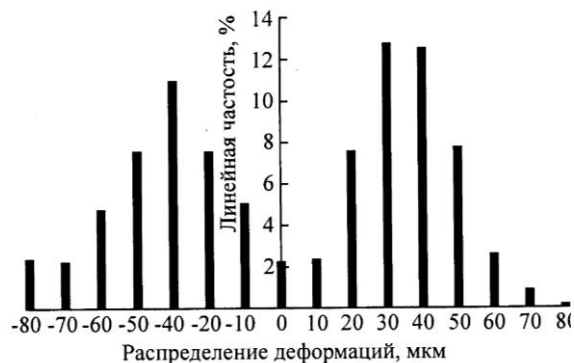
Если аргументом аппроксимированной функции является не время τ , а отрезок значений, то в этом случае спектральная плотность микропрофиля деформаций в промежутки времени может быть выражена формулой

$$\delta_x(\omega) = 2D_x \left[\frac{A_1\alpha_1\nu}{\omega^2 + (\alpha_1\nu)^2} + \frac{1}{2}A_2 \left(\frac{\alpha_2\nu}{(\omega^2 + \beta^2) + (\alpha_2\nu)^2} + \frac{\alpha_2\nu}{(\omega^2 + \beta^2) - (\alpha_2\nu)^2} \right) \right]. \quad (19)$$

Количественные характеристики входных возмущений, например неровностей графической поверхности микропрофиля деформаций, определяются либо экспериментальным путем, либо моделированием. Замеры могут быть прямыми и косвенными. В первом случае изменения размеров (деформации) измеряют с помощью инструментов. Ординаты высот неровностей определяют в промежутке времени через отрезки времени 20 ч; на промежутке 60 сут таких измерений должно быть 40.

* Вопросы исследования систем и процессов в комплексной и частотной областях необходимо рассматривать специально.

Рис. 2. Распределение деформаций во времени



Возможно косвенно определять картину распределения деформаций конгломерата во времени. Для этого необходимо измерить напряжения в некоторой точке и по ним построить профилограмму. После получения профилограммы рассчитать корреляционные функции спектральной плотности, построить гистограмму распределения. В реальных сооружениях основными внешними воздействиями являются нагрузки на участках и, соответственно, их некоторые деформации. Для примера на рис. 2 представлена профилограмма некоторого участка, полученная путем моделирования процесса.

Выводы

1. Использование статических моделей дает возможность определения статических характеристик деформаций цементно-древесного композита под воздействием механической нагрузки.
2. Численные значения коэффициентов аппроксимированных корреляционных функций микропрофиля распределения деформаций во времени позволяют получить численные значения деформаций в зависимости от возмущающих усилий.
3. Распределение деформаций во времени дает возможность прогнозировать долговечность композиционных материалов и конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажанов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении М.: Стройиздат, 1970. 410 с.
2. Гоберман В.А., Гоберман Л.А. Технология научных исследований – методы, модели, оценки. М.: МГУЛ, 2002. 390 с.
3. Руденко Б.Д. Исследование процесса и разработка технологии цементно-стружечных плит из древесины лиственницы: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 1980. 143 с.
4. Руденко Б.Д. Уравнение обобщенной кривой прочности цементно-стружечных плит // Актуальные проблемы современной науки. Строительство и архитектура: сб. ст. Самара, 2006. С. 18–20.
5. Руденко Б. Д., Изотов В.Т., Шумакова О.С. Модель формы древесных частиц для искусственных строительных конгломератов // Материалы и технологии XXI века: сб. ст. Пенза, 2010. С. 118–120.
6. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М.: Высш. шк., 1978. 309 с.

7. Щербаков А.С., Хорошун Л.П., Подчуфаров В.С. Арболит. Повышение качества и долговечности. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 160 с.

B.D. Rudenko

9 n State Technological University

Static Condition Simulation of Cement-Wood Composite in Operational Process

The deformation distribution pattern produced during the study allows to forecast durability of cement-wood composite and structures made out of it.

Keywords: statistic characteristics, deformation, statistical model, composite.





УДК 630.86 (571.1/5)

С.О. Медведев, Р.А. Степень, С.В. Соболев

Сибирский государственный технологический университет

Медведев Сергей Олегович родился в 1986 г., окончил в 2008 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант, ассистент Лесосибирского филиала Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 40 печатных работ в области экономики, эколого-экономических и технических аспектов переработки древесных ресурсов.
E-mail: medvedev_serega@mail.ru



Степень Роберт Александрович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Сибирский технологический институт, доктор биологических наук, профессор кафедры промышленной экологии, процессов и аппаратов химических производств Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 200 печатных работ в области экологии, химии древесины и химической переработки древесных ресурсов.
Тел.: 8-913-839-22-06



Соболев Сергей Владимирович родился в 1965 г., окончил в 1989 г. Красноярский институт цветных металлов, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по учебной работе Лесосибирского филиала Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 40 печатных работ в области экономики, эколого-экономических и технических аспектов переработки древесных ресурсов.
E-mail: sergey_sobolev_2@mail.ru



РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОГО ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

На основе исследования возможностей и потенциала развития лесной отрасли в Красноярском крае предложена комплексная схема создания лесопромышленного кластера в Лесосибирском промышленном узле. Проведены исследования по созданию ряда продуктов из древесных отходов.

Ключевые слова: кластер, опилки, лесохимическое производство, гидролиз, пихтоварение, CO₂-экстракт.

Одной из наиболее острых проблем на пути перехода лесной промышленности России к современному высокодоходному, экологически устойчивому развитию является повышение эффективности использования ресурсов. В нашей стране в производство вовлечено в среднем 50 % древесной биомассы при малоэффективном потреблении отходов. Лишь на отдельных предприятиях организована переработка вторичного древесного сырья в продукцию со сравнительно высокой добавленной стоимостью, в частности в плитные материалы, пеллеты. При этом очевидны преимущества получения комплекса дополнительных продуктов сразу в нескольких направлениях: улучшение производственных и финансовых показателей деятельности предприятий, снижение воздействия на окружающую среду за счет изъятия ранее вывозившихся в отвалы отходов при повышении занятости населения.

Принятый Правительством России курс на модернизацию лесопромышленного комплекса (ЛПК) призван способствовать развитию глубокой переработки древесной биомассы, созданию мало- и безотходных производств [1]. Первыми шагами в данном направлении стали принятые регионами страны Лесные планы, в которых одними из важнейших элементов стали инвестиционные проекты по созданию на их территории предприятий, производящих продукцию с высокой добавленной стоимостью. В лесной отрасли к таким продуктам относятся бумага, древесные плиты, пеллеты, продукция лесохимических предприятий и др. Одним из наиболее обеспеченных лесными ресурсами регионов, принявших программу развития своего ЛПК до 2020 г., является Красноярский край. В нем важнейшее значение в развитии отрасли придается Лесосибирскому комплексу, являющемуся крупнейшим центром переработки древесины в крае. Основные объемы древесного сырья осваиваются здесь тремя комбинатами: ЗАО «Новоенисейский ЛХК», ОАО «Лесосибирский ЛДК № 1» и ОАО «Маклаковский ЛДК (ЗАО НЛХК, ОАО ЛЛДК и ОАО МЛДК), на двух из которых на базе кусковых отходов налажен выпуск ДВП, также они используются для производства клееных материалов, мебели, столярных изделий. По оценкам экспертов, дальнейшее развитие лесопиления в Лесосибирском узле связано с внедрением тонких пил, ведущим к увеличению образования опилок, которые до недавнего времени практически полностью использовались как топливо или оставались отходом производства [4].

В августе 2010 г. на ЗАО НЛХК запущена первая линия по производству древесных гранул, что является важным шагом к развитию глубокой переработки в Лесосибирском лесопромышленном комплексе. Мощность производства на первом этапе составит 40 тыс. т в год, после строительства второй линии возрастет в 2 раза. Сырьем выступают опилки и некондиционный лес, т.е. отходы производства, не находящиеся пока должного потребления. Вместе с тем, экспертами отмечается неразвитость внутреннего рынка пеллет и высокие расходы на транспортировку продукции зарубежным потребителям.

Проведенное нами исследование [2] показывает, что для существенного улучшения экономической, экологической и социальной ситуации в рассматриваемом комплексе (аналогичные выводы могут быть получены и по другим отечественным производственным комплексам) необходимо создание лесопромышленного кластера на базе существующих предприятий и инфраструктуры (рис. 1). Его важнейшими элементами, помимо уже существующих деревообрабатывающих комбинатов, должны стать планируемые к строительству целлюлозно-бумажный комбинат, гидролизный завод и сеть малых лесохимических предприятий. Создание первого из них отвечает потребностям в картоне и бумажной продукции всего Сибирского региона и является одним из приоритетов развития Нижнего Приангарья. Строительство и запуск второго планировались еще в 1980–1990-е гг., однако вследствие сложного экономического положения проект не был реализован. В то же время его запуск остается экономически и технологически обоснованным вследствие комплекса причин, в том числе ежегодного образования предприятиями города более 200 тыс. м³ опилок, весь объем которых не может быть направлен на получение пеллет. Однако для его наиболее успешной реализации требуется создать современный лесохимический комплекс, включающий несколько отдельных направлений потребления различного сырья, что должно позволить производить широкий ассортимент товаров и свести к минимуму воздействие на окружающую среду.

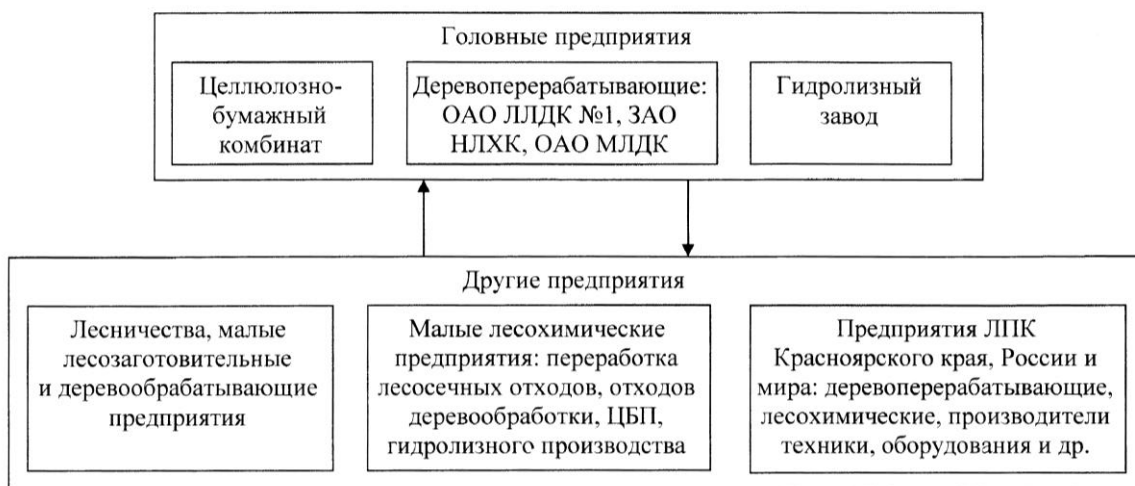


Рис. 1. Ведущие предприятия рекомендуемого кластера

Эффективное использование опилок в Лесосибирском кластере достигается за счет сочетания действующими предприятиями выпуска топливных гранул и гидролизного производства (рис. 2) [3]:

1) выпуск топливных гранул по применяемой в настоящее время технологии на ЗАО НЛХК и создание предлагаемого гидролизного комплекса за счет сырья двух других комбинатов;

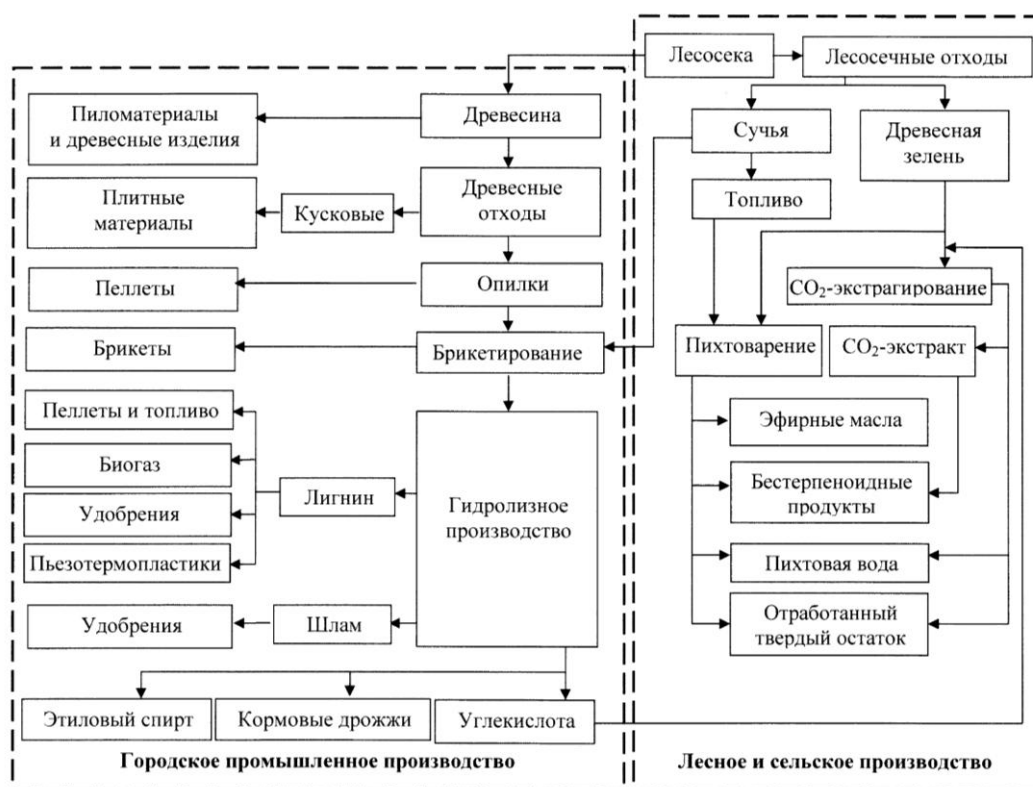


Рис. 2. Принципиальная схема современного производства в Лесосибирском лесопромышленном кластере

2) выпуск топливных гранул из гидролизного лигнина, в то время как основной объем опилок должен перерабатываться в продукцию гидролизного производства, а их оставшаяся часть, подвергаясь брикетированию в процессе загрузки гидролизаторов и отсеиваясь из технологического процесса, образует древесные топливные брикеты.

В табл. 1 представлены основные физико-химические показатели топливных гранул и брикетов из гидролизного лигнина, полученных в ходе проведенных исследований, и их сравнение с традиционным древесным топливом. Эксперименты по непосредственному получению образцов проводились в промышленных условиях (на предприятиях), а определение их физико-химических показателей стандартными методами на лабораторном оборудовании.

Таблица 1

Физико-химические показатели древесного топлива

Древесное топливо	Сернистость	Зольность	Влажность	Удельная теплота сгорания топлива, МДж/кг
	%			
Щепа, опилки	0,2...0,3	2...4	12...25	10,2...11,2
Дрова	0,2...0,3	2...4	20...25	9,4...12,5
Гидролизные:				
гранулы	0,6...0,7	4...5	4...5	20,1...21,8
брикеты	0,2...0,3	5...6	8...9	18,2...20,1

Полученные результаты свидетельствуют о несколько повышенной сернистости и зольности гидролизных брикетов и гранул, но также о существенном увеличении теплоты сгорания топлива.

Преобладание и использование в Лесосибирском промышленном узле хвойного сырья, а также потребность в развитии сельскохозяйственной отрасли в крае, для которой достаточно востребованным и ценным продуктом являются кормовые дрожжи, диктуют ориентацию гидролизного предприятия на спиртодрожжевое направление. Другим важным шагом к созданию эффективного лесопромышленного кластера является использование ресурсов лесосек, в частности древесной зелени, практически не применяемой в настоящее время. Единственным полупромышленным направлением ее использования является выработка эфирных масел, в частности пихтового. Однако в силу ряда причин данное производство обладает низкой эффективностью. Повышению экономических, производственно-технических, экологических и социальных показателей способствует комплекс предлагаемых решений, в частности дополнительная экстракция древесной зелени, получаемой в гидролизном производстве, углекислотой с образованием хвойных CO₂-экстрактов, использование флорентинной и хвойной вод, переработка отработанной древесной зелени в компост и хвойную муку. Получаемые в лесосибирском промышленном узле пихтовые экстракты отличаются повышенным содержанием эфирных масел и липидов в сравнении с аналогами, прежде всего в среднем и верхнем ярусе кроны (табл. 2).

Высокими физико-химическими показателями характеризуются также CO₂-экстракты древесной зелени пихты сибирской среднеенисейской тайги (табл. 3).

Таблица 2

**Содержание липидов (числитель) и эфирного масла (знаменатель)
в древесной зелени пихты среднеенсейской тайги, %**

Возраст пихты, лет	Ярус кроны		
	нижний	средний	верхний
15...20	11,0/4,0	12,5/4,9	13,8/5,7
30...35	12,0/4,2	14,0/5,2	14,9/5,9
50...60	10,5/3,5	11,8/4,3	12,7/4,9
100...120	9,3/2,7	10,4/3,4	11,4/3,8
130...150	7,7/1,7	8,6/2,0	9,2/2,3

Таблица 3

Физико-химические показатели CO₂-экстрактов древесной зелени

Показатель	Характеристика
Внешний вид и цвет	Маслянистая жидкость зелено-коричневого цвета
Запах	Характерный хвойный
Плотность при (20 ± 2) °С, г/см ³	0,940...0,990
Показатель преломления	1,4922...1,5034
Массовая доля воды, %	0,3
Кислотное число, мг КОН/г	28,8...31,1
Эфирное число, мг КОН/г	53,9...64,8
Содержание эфирных масел, %	53,4...53,6

Исследования древесной зелени пихты сибирской и получаемых из нее продуктов проводились в лабораторных условиях с использованием стандартных методик и специализированного оборудования. Полученные образцы соответствуют своим аналогам, получаемым как в лабораторных, так и полупромышленных условиях, а по ряду параметров несколько превосходят их, что объясняется особенностями произрастания деревьев в среднеенсейской тайге.

Таким образом, первоначальные шаги на пути создания глубокой переработки древесины, в частности использование опилок и древесной зелени в Лесосибирском промышленном узле, должны стать отправной точкой к созданию мощного лесопромышленного кластера. Представляется, что наиболее рациональным направлением развития выступает гидролизное производство с получением в качестве товарной продукции этилового спирта и кормовых белковых дрожжей. Побочные продукты и отходы гидролиза должны применяться при получении компостов, удобрений, углекислотных экстрактов и для энергетических целей, в том числе в виде топливных гранул и брикетов. В настоящее время производство топливных гранул уже запущено на ЗАО НЛХК, что свидетельствует о начале нового этапа развития Лесосибирского промышленного кластера. CO₂-экстракты должны стать вторым важным направлением в развитии лесохимии, в частности комплексной переработки древесной зелени пихты сибирской. Проведенные исследования указывают на возможности получения в промышленных условиях ценных продуктов из отходов действующих и планируемых производств: топливных брикетов и гранул из гидролизного лигнина, эфирных масел и CO₂-экстрактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов И.С.* Развитие инновационных экотехнологий, базирующихся на использовании древесных отходов // Экономика и управление. 2009. № 12. С. 64–69.
2. *Медведев С.О, Соболев С.В., Степень Р.А.* Возможности рационального использования древесных отходов в Лесосибирском лесопромышленном комплексе: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2010. 85 с.
3. *Медведев С.О, Степень Р.А. , Соболев С.В.* Пути расширения переработки древесных отходов в Лесосибирском промышленном комплексе//Вестн. КрасГАУ. Красноярск: КрасГАУ, 2010. № 3 (42). С. 173–176.
4. *Чистова, Н.Г., Петрушева Н.А., Алашкевич Ю.Д.* Возможные резервы комплексного использования древесного сырья//Современные наукоемкие технологии. 2005. № 5. С. 64–65.

S.O. Medvedev, R.A. Stepen, S.V. Sobolev
Siberian State Technological University

Development of Modern Forest-industrial Cluster in Krasnoyarsk Territory

The complex scheme of forest-industrial cluster establishment in Lesosibirsk industrial centre is proposed based on study of possibilities and potential of the forest industry development in the Krasnoyarsk Territory.

Keywords: cluster, sawdust, forest-chemical production, hydrolysis, fir-cooking, CO₂-extract.



УДК 630*(075.32):630*627.3

О.С. Артемьев

Сибирский государственный технологический университет

Артемьев Олег Сергеевич родился в 1956 г., окончил в 1978 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры лесной таксации, лесоустройства и геодезии Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 печатных работ в области ландшафтной таксации и лесопаркустройства.
E-mail: artemjev.ol@yandex.ru



МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПРИ ЛАНДШАФТНОЙ ТАКСАЦИИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ НАЗЕМНОЙ ЦИФРОВОЙ ФОТОСЪЕМКИ

Изложена методика оценки таксационных показателей: эстетичности лесопаркового ландшафта, проходимости и санитарно-гигиенического состояния участка, густоты древостоя. Эти показатели предлагается таксировать с применением материалов наземной цифровой фотосъемки.

Ключевые слова: таксация, наземная фотосъемка, эстетичность лесопаркового ландшафта, проходимость участка, санитарно-гигиеническое состояние, густота.

При ландшафтной таксации лесопарковых лесов такие ландшафтно-архитектурные показатели, как эстетичность лесопаркового ландшафта, проходимость и санитарно-гигиеническое состояние участка, оцениваются глазомерно по трехбалльным шкалам. Для повышения информативности показателей предлагается использовать наземные цифровые снимки обследуемой территории. Это повысит качество таксационных материалов, так как очевидно, что снимок дает больше информации для оценки, например, эстетичности лесопаркового ландшафта, чем упоминание в таксационном описании, что участок относится к одному из трех классов эстетичности. Кроме того, использование снимков позволит увеличить производительность полевых работ, так как эти показатели можно будет оценивать в камеральных условиях.

Для апробации предлагаемой методики были выбраны 38 выделов в 6 кварталах Городского лесничества г. Красноярск. При натурном обследовании территории в соответствии с существующей методикой* произведена оценка трех ландшафтно-архитектурных показателей: эстетичность ландшафта, санитарно-гигиеническое состояние и проходимость обследуемого лесотаксационного участка. Одновременно осуществлялась съемка обследуемых выделов на цифровую фотокамеру. Фотосъемку желательнее проводить так, чтобы солнце находилось поза-

* Основы лесопаркового хозяйства/Артемьев О.С. [и др.]. М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. 160 с.

ди фотографа. Лучшие результаты достигаются при съемке в пасмурную погоду, но и при солнечной не возникало значительных затруднений в дешифрировании таксационных показателей по снимкам.

В камеральный период путем изучения изображений обследуемых участков с помощью программы ACDSsee 10 Photo Manager на мониторе компьютера производилась оценка ландшафтно-архитектурных показателей. Эта стандартная программа дает возможность масштабирования дешифрируемых снимков. Анализ показал, что максимальное отклонение данных, полученных глазомерным методом при дешифрировании снимков, составило 18 % (при оценке проходимости участка). Среднее отклонение при оценке класса эстетичности лесопаркового ландшафта равно 6,0, проходимости участка – 10,7, при санитарно-гигиенического состояния – 9,7 %. В глазомерной таксации такая разница считается допустимой. Следовательно, оценка ландшафтно-архитектурных показателей по предлагаемой методике, основанной на дешифрировании наземных цифровых фотоснимков с использованием компьютера, возможна.

В целях повышения производительности таксационных работ предлагается по наземным снимкам дешифрировать также густоту древостоя. Методика заключается в следующем. Работу выполняют три человека. Двое идут по таксируемому выделу на расстоянии 10 м друг от друга, выдерживая его с помощью мерной ленты. В это же время третий снимает их на цифровую фотокамеру и лазерной рулеткой измеряет расстояние до каждого. Таким образом, становятся известны все стороны образующегося треугольного участка. При камеральных работах полученные снимки выводятся на монитор компьютера. Затем считается количество деревьев, расположенных на участке перед лентой. Далее по формуле Герона вычисляется площадь участка и количество деревьев в расчете на 1 га, т.е. густота древостоя.

Для разработки и апробирования методики по дешифрированию густоты древостоев была заложена 21 проба в городских лесах Красноярска и в Мининском лесничестве Красноярского края. Анализ полученных данных показал, что на цифровых фотоснимках древостоев с густотой до 1500 экз./га или полнотой менее 0,9 дешифрируются практически все деревья. На снимках древостоев с густотой от 1500 до 3200 экз./га и полнотой выше 0,9 в среднем изображается 80 % деревьев.

Таким образом, использование наземных цифровых фотоснимков позволяет оценивать ландшафтно-архитектурные показатели с большей информативностью, а дешифрирование густоты древостоя уменьшает объем полевых работ.

O.S. Artemiev

Siberian State Technological University

Assessment Technique for Indicators Determined under Landscape Inventory by Using Materials of Ground Digital Survey

The assessment technique for inventory indicators is provided: aesthetics of woodland landscape, site and sanitary-hygienic state assessment, stand density. It is proposed to carry out inventory of these indicators based on the use of materials of terrestrial digital survey.

Keywords: inventory, ground survey, aesthetics of woodland landscape, site assessment, sanitary-hygienic state, density.

УДК 676.15/16.054.1075

В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич

Сибирский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СКОЛЬЖЕНИЯ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ НОЖЕЙ РАЗМОЛЬНОЙ ГАРНИТУРЫ**

Проанализирован эффект проскальзывания режущих кромок прямолинейных ножей диска ротора относительно режущих кромок прямолинейных ножей диска статора в месте их сопряжения. Анализ осуществлен на базе аналитических зависимостей окружной скорости режущей кромки единичного ножа вращающегося диска ротора и ее нормальной и касательной (скользящей) составляющих.

Ключевые слова: гарнитура, диск, касательная, коэффициент, кромка, нож, нормальная, окружная, поверхность, прямолинейный, разمول, режущая, скользящая, скорость, составляющая, статор, ротор.

Известно, что окружная скорость вращающегося рабочего элемента в зависимости от его геометрических особенностей раскладывается на две составляющие: нормальную и касательную.

В связи с этим можно предположить, что в местах сопряжений вращающегося и неподвижного рабочих элементов совершается работа, сопровождающаяся движением подвижных элементов в перпендикулярном к ним направлении и касательном (скользящем), направленном вдоль них.

В частности, в процессе информационного поиска по известным литературным источникам авторами была выявлена аналогия с механизмом проскальзывания скрещающихся лезвий ножниц [3].

С учетом этого возникла острая необходимость в проведении сопоставительного анализа данного механизма с механизмом проскальзывания скрещающихся режущих кромок ножей размольной гарнитуры. Эта задача представляется достаточно актуальной и интересной. Ниже предлагается ее общее решение.

Рассмотрим особенности, характерные для окружной скорости режущей кромки и ее составляющих и имеющие место в ножевых размальвающих машинах. На рисунке представлена часть фронтальной проекции размальвающей поверхности гарнитуры ротора с режущей кромкой AB^p (1) единичного ножа, условно наложенную на размальвающую поверхность гарнитуры статора с режущей кромкой AB^c (2).

Обозначения, нанесенные на поле рисунка:

r – радиус внутренней окружной кромки 3 диска;

R – радиус наружной окружной кромки 4;

r_x – радиус окружности рабочей кольцевой зоны диска, проходящей через произвольную точку скрещивания A_x ;

AB^p и AB^c – режущие кромки 1 и 2 соответственно ротора и статора;

α_p – угол наклона режущей кромки 1 единичного ножа ротора к радиусу r внутренней окружной кромки 3, проведенному в лежащую на ней т. А из центра O ;

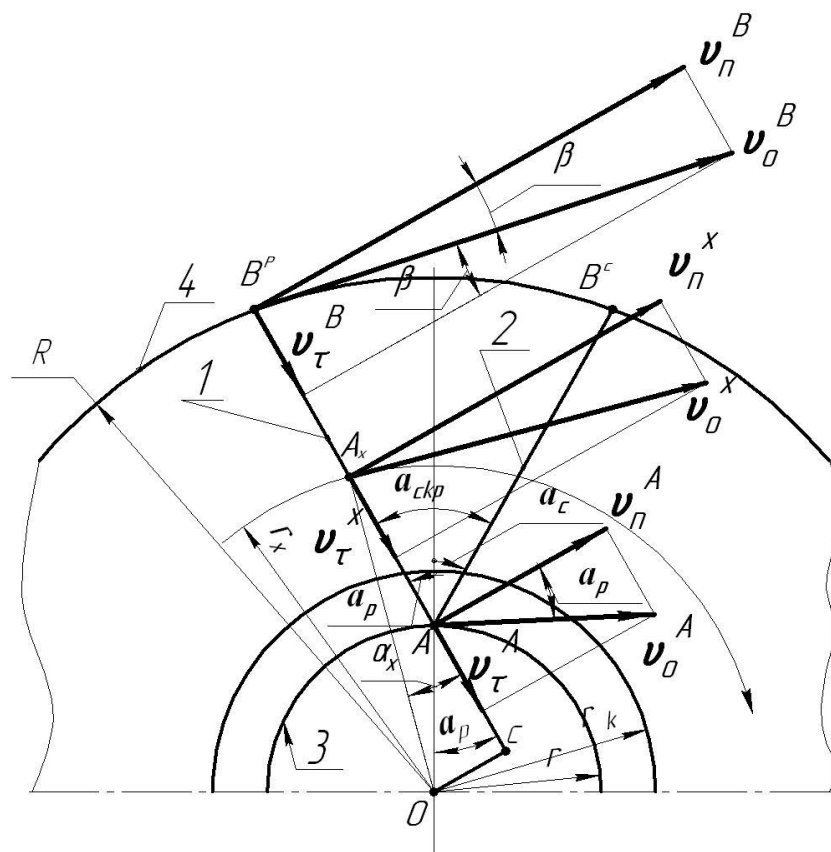


Схема расположения режущих кромок единичных ножей с двухсторонним исполнением рисунка сочленения ножей: 1 – режущая кромка ножа ротора; 2 – режущая кромка ножа статора; 3 – внутренняя окружная кромка диска; 4 – наружная окружная кромка диска

β – угол наклона режущей кромки 1 единичного ножа ротора к радиусу R наружной окружной кромки 4, проведенному в лежащую на ней точку B^p из центра O ;

α_x – угол наклона режущей кромки 1 единичного ножа ротора к радиусу r_x окружности, проведенному из центра O в лежащую на ней произвольную т. A_x их скрещивания;

V_0^A , V_0^x и V_0^B – векторы окружных скоростей (изображены прямыми жирными стрелками, длины которых соответствуют расчетным значениям) входной A , произвольной A_x и выходной B^p точек режущей кромки AB^p .

Тонкой окружной стрелкой показано направление вращения диска ротора.

Скорости V_0^A , V_0^x и V_0^B , и разложены на две составляющие: нормальные V_n^A , V_n^x и V_n^B , перпендикулярные кромке (1); касательные (скользящие) V_τ^A , V_τ^x и V_τ^B вдоль кромки AB^p (1).

Для определения каждой из составляющих необходимо найти окружную скорость произвольной точки режущей кромки единичного ножа диска гарнитуры.

Окружная скорость. Определим величину данного параметра в произвольной точке A_x кромки AB^p (1) единичного ножа ротора:

$$V_0^x = \frac{2\pi r_x n_d}{60}, \quad (1)$$

где n_d – частота вращения диска ротора, мин^{-1} .

Известно, что

$$n_d = \frac{n_{\text{дв}}}{u}, \quad (2)$$

где $n_{\text{дв}}$ – частота вращения вала двигателя, мин^{-1} ;
 u – передаточное число.

После подстановки (2) в (1)

$$V_0^x = \frac{2\pi r_x n_{\text{дв}}}{60u}. \quad (3)$$

Упростим зависимость (3):

$$V_0^x = 0,105 \frac{r_x n_{\text{дв}}}{u}. \quad (4)$$

Рассмотрим каждую из составляющих скорости отдельно.

Касательная (скользящая) составляющая:

$$V_\tau^x = V_0^x \sin \alpha_x. \quad (5)$$

После подстановки (4) в (5)

$$V_\tau^x = 0,105 \frac{r_x n_{\text{дв}}}{u} \sin \alpha_x. \quad (6)$$

Из рисунка следует, что

$$\sin \alpha_x = \frac{r}{r_x} \sin \alpha_p. \quad (7)$$

Подставив (7) в (6), получим

$$V_\tau^x = 0,105 \frac{r_x n_{\text{дв}} r}{u r_x} \sin \alpha_p. \quad (8)$$

После сокращения будем иметь

$$V_\tau^x = 0,105 \frac{n_{\text{дв}} r}{u} \sin \alpha_p = \text{const}. \quad (9)$$

Все параметры, входящие в правую часть зависимости (9), являются постоянными величинами. Это говорит о том, что и значение касательной (скользящей) составляющей V_τ^x также постоянно по величине на всей длине кромки AB^p (I). Данный вывод подтверждается данными В.П. Горячкина [3].

Нормальная составляющая:

$$V_n^x = V_0^x \cos \alpha_x. \quad (10)$$

Подставив (4) в (10), получим

$$V_n^x = 0,105 \frac{r_x n_{\text{дв}}}{u} \cos \alpha_x. \quad (11)$$

Из рисунка следует, что

$$\cos \alpha_x = \frac{A_x C}{r_x}; \quad (12)$$

$$A_x C = \sqrt{r_x^2 - OC^2}; \quad (13)$$

$$OC = r \sin \alpha_p. \quad (14)$$

После подстановок (14) в (13), (15) в (12) и (16) в (11) будем иметь:

$$A_x C = \sqrt{r_x^2 - r^2 \sin^2 \alpha_p}; \quad (15)$$

$$\cos \alpha_x = \frac{\sqrt{r_x^2 - r^2 \sin^2 \alpha_p}}{r_x}. \quad (16)$$

$$V_n^x = 0,105 \frac{n_{\text{дв}}}{u} \sqrt{r_x^2 - r^2 \sin^2 \alpha_p}. \quad (17)$$

Кроме постоянных входных параметров, в правую часть зависимости (17) входит радиус r_x – переменная величина, растущая от центра к периферии. Следовательно, в этом же направлении пропорционально возрастает и нормальная составляющая V_n^x .

Коэффициент скольжения режущих кромок прямолинейных ножей. По мнению В.П. Горячкина [3], это отношение «...скользящей составляющей окружной скорости произвольной точки режущей кромки вращающегося лезвия ножниц к нормальной». Для размоленной гарнитуры представим данный параметр в виде

$$f = \frac{V_{\tau}^x}{V_n^x} = \operatorname{tg} \alpha_x. \quad (18)$$

Подставим (4) и (17) в (18):

$$f = \frac{r \sin \alpha_p}{\sqrt{r_x^2 - r^2 \sin^2 \alpha_p}}. \quad (19)$$

Среднее значение коэффициента скольжения рассчитывается в зависимости от распределения ножей на рабочей поверхности гарнитуры [4].

Равномерное распределение ножей. Обозначим длину перпендикуляра OC через q .

Средний угол наклона режущей кромки AB^p (I) единичного ножа к среднему радиусу r_x рабочей поверхности гарнитуры обозначим через α_{cp} . Определим средний коэффициент скольжения режущей кромки AB^p (I) единичного ножа по [1, 2, 4]:

$$f_{cp} = \langle \text{tg} \alpha_{cp} \rangle = \frac{\int_{CA}^{CB^p} \frac{q}{r_x} dr_x}{AB^p}. \quad (20)$$

Числитель выражения (20)

$$\int_{CA}^{CB^p} \frac{q}{r_x} dr_x = q \int_{CA}^{CB^p} \frac{dr_x}{r_x} = q \ln r_x \Big|_{CA}^{CB^p} = q(\ln CB^p - \ln CA). \quad (21)$$

После подстановки (21) в (20)

$$f_{cp} = \frac{q(\ln CB^p - \ln CA)}{AB^p}. \quad (22)$$

Распределение ножей по отдельным секторам. Средний коэффициент скольжения равен усредненному значению средних коэффициентов скольжения всех режущих кромок параллельных ножей, размещенных на рабочей поверхности единичного сектора. Усредненный коэффициент скольжения определяется аналогично (22). Однако все ножи единичного сектора различаются по длине. Поэтому сначала рассчитываем средний коэффициент скольжения для каждого ножа по (22), а затем для единичного сектора по [1, 2, 4]:

$$f_{cp}^{\text{ед. сект.}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} q(\ln CB^p - \ln CA)}{n AB^p}, \quad (23)$$

где i – порядковый номер ножа;

n – количество ножей на поверхности единичного сектора.

Очевидно, что скольжение вращающейся относительно центра вращения прямолинейной режущей кромки единичного ножа ротора имеет место в любой точке ее скрещивания с прямолинейной режущей кромкой ножа неподвижного статора, на всей ее длине.

По результатам проведенного анализа установлено:

предложенная методика расчета коэффициента скольжения применительно к ножевым размалывающим машинам не имеет аналогов в целлюлозно-бумажной промышленности;

коэффициент скольжения уменьшается по мере удаления от оси вращения и возрастает по мере увеличения значения угла наклона режущей кромки единичного ножа к радиусу внутренней окружной кромки.

Полученные результаты в перспективе предполагают рассмотрение ряда вопросов, возникших в процессе анализа, в частности исследование причин, по которым резание тела прямым движением требует очень значительного усилия, в то время как такой же эффект может быть достигнут при слабом давлении и скользящем движении.

В дальнейшем эти результаты можно использовать для самых различных рисунков сопряжения рабочих ножевых поверхностей дисков размалывающих машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алашкевич Ю.Д.* Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 1986. 170 с.
2. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. М.; Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1953. 597 с.
3. *Горячкин В.П.* Собрание сочинений: в 3 т. Т. 3. М.: Колос, 1968. С. 384.
4. *Ковалев В.И.* Размол волокнистых полуфабрикатов при различном характере построения рисунка ножевой гарнитуры: автореф. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 22 с.

Y.I. Kovalev, Yu.D. Alashkevich
Siberian State Technological University

The Determination of the Coefficient of Sliding Knife Rectilinear Typefaces of the Grinding

Effect analysis of slippage cutter straight knife drive rotor on the cutter straight rectilinear knife stator disk in place of their pairing. The analysis made on the basis of the dependencies district speed cutting edge single knife the rotor disk blade and its normal and tangential (sliding) components.

Keywords: headset, disk, tangent factor, coefficient, straight, knife, normal, linear, surface rectilinear, grinding, cutting, moving, speed, intersect.
