

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

4

2007

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Заместители главного редактора:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

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

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 4

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

Сдан в набор 21.08.2007. Подписан в печать 31.10.2007. Заказ № 222
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,35. Усл. кр.-отт. 14,35.
Уч.-изд. л. 17,26. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

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

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.П. Шелухо.</i> Управление состоянием хвойных лесов в районах техногенного воздействия.....	7
<i>О.Ф. Буторова, Е.А. Похабова.</i> Интродукция ореха маньчжурского в дендрарии Сибирского государственного технологического университета.....	12
<i>С.В. Рыбкина, М.В. Беляков.</i> Применение оптического излучения для стимулирования прорастания семян ели европейской.....	14
<i>М.В. Кистерная, Я.А. Аксененкова.</i> Изменение анатомического строения древесины сосны под влиянием комплекса лесохозяйственных мероприятий.....	19
<i>Е.В. Юркина.</i> Состав и функционально-биоценотическая структура энтомофауны в сосняках при разной степени их антропогенной нарушенности.....	25
<i>С.И. Горбунова.</i> Всхожесть семян хвойных растений различных географических образцов.....	30
<i>В.П. Шлапак.</i> Фитомасса надземной части чистых и смешанных культур сосны Черкасского бора.....	34
<i>Ф.М. Хабибуллина, Т.А. Творожникова.</i> Роль микромицетов в трансформации растительных остатков в ельнике чернично-зеленомошном средней подзоны тайги.....	40

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>С.М. Базаров, В.Д. Валяжонков.</i> Разработка теории циклов и полциклов в техноприродогенезе для различных технологических процессов лесозаготовок.....	47
<i>Ф.А. Павлов, Т.В. Чельшева.</i> Оценка прочности дорожной одежды, ослабленной оттаявшим весной слоем земляного полотна.....	53
<i>В.С. Сюнев, А.П. Соколов, В.М. Солнышков.</i> О новых методах, повышающих эффективность системы технического обслуживания лесотранспортных машин на основе ГИС-технологий.....	58
<i>В.П. Стуков.</i> Конструктивно-технологическая система пролетного строения моста с деревожелезобетонными балками.....	62
<i>Е.И. Платонов.</i> Станок для ударной окорки бревен с поперечной подачей.....	66
<i>В.А. Илинский, С. И. Морозов.</i> Определение параметров силовой функции при соударении деревянных и металлических тел.....	71

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>В.В. Сергеевичев.</i> Математическая модель процесса прокатки древесных материалов в валковых прессах.....	77
<i>Г.А. Пилюшина, Е.А. Памфилов.</i> Повышение работоспособности лесопильного оборудования.....	85
<i>С.В. Петухов.</i> Обоснование технологических параметров механизма перемещения узла резания торцовочного станка.....	92
<i>В.А. Ермичев, В.П. Тихомиров.</i> Расчет передач цилиндрических зубчатых колес лесохозяйственных машин.....	98
<i>С.П. Агеев.</i> Энергетические режимы работы окорочных станков.....	104

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- А.П. Карманов, Л.С. Кочева, Д.В. Кузьмин, О. В. Броварова, М. В. Миронов, В.Ю. Беляев.* Свойства растворов и конформационные характеристики макромолекул диоксанлигнинов..... 112
- В.А. Сулов.* Повышение эффективности регенерации отработанных варочных растворов целлюлозных предприятий..... 121
- В.И. Комаров, М.А. Холмова.* Влияние числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ на ее вязкоупругие свойства..... 134

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- А.Л. Невзоров, А.А. Кориунов.* Исследование свойств хвостовых отложений как источника техногенной нагрузки на окружающую среду..... 140
- Б.А. Мочалов, А.О. Сеньков.* Рост сеянцев сосны с закрытыми и открытыми корнями в культурах таежной зоны..... 144
- В.И. Малыгин, П.В. Перфильев.* Использование системы автоматического проектирования при моделировании деревянных домов из оцилиндрованных бревен..... 147



CONTENTS

FORESTRY

<i>V.P. Shelukho.</i> Management of Coniferous Forests in Regions of Technogeneous Impact.....	7
<i>O.F. Butorova, E.A. Pokhabova.</i> Introduction of Manchurian Walnut in Arboretum of Siberian State Technical University.....	12
<i>S.V. Rybkina, M.V. Belyakov.</i> Use of Optical Radiation for Simulation of Seed Germination of Common Spruce.....	14
<i>M.V. Kisternaya, Ya. A. Aksenenkova.</i> Change of Anatomic Structure of Pine Timber under Influence of Forest Management Measures.....	19
<i>E.V. Yurkina.</i> Composition and Functional-and-biocoenotic Structure of Entomofauna in Pineries under Different Degree of their Anthropogenic Disturbance.....	25
<i>S.I. Gorbunova.</i> Seed Germination of Coniferous Plants of Different Geographical Samples.....	30
<i>V.P. Shlapak.</i> Phytomass of Pine Top in Pure and Mixed Cultures of Cherkassy Pineries.....	34
<i>F.M. Khabibullina, T.A. Tvorozhnikova.</i> Role of Micromycets in Transformation of Plant Residues in Bilberry-moss Spruce Forests of Middle Taiga.....	40

WOODEXPLOITATION

<i>S.M. Bazarov, V.D. Valyazhonkov.</i> Development of Cycles and Semi-cycles Theory in Techno- and Naturegenesis for Different Technological Processes in Forest Harvesting.....	47
<i>F.A. Pavlov, T.V. Chelysheva.</i> Road Base Strength Assessment Weakened by Road Bed Layer Thawed in Spring.....	53
<i>V.S. Siounev, A.P. Sokolov, V.M. Solnyshkov.</i> On New Methods for Efficiency Increase of Maintenance Service of Timber Trucks Based on GIS Technologies.....	58
<i>V.P. Stukov.</i> Design-technological System of Bridge Superstructure with Wood-Reinforced Concrete Composite Beams.....	62
<i>E.I. Platonov.</i> Machine for Log Impact Debarking with Cross Feed.....	66
<i>V.A. Ilinsky, S.I. Morozov.</i> Determination of Force Function Parameters under Collision of Wooden and Metal Bodies.....	71

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>V.V. Sergeevichev.</i> Mathematical Model of Rolling Wood Materials in Roll Presses.....	77
<i>G.A. Pilyushina, E.A. Pamfilov.</i> Enhancing Operational Capacity of Sawmill Equipment.....	85
<i>S.V. Petukhov.</i> Substantiation of Operational Parameters for Mechanism of Cutting Angle Transfer in Butt Saw.....	92
<i>V.A. Ermichev, P.V. Tikhomirov.</i> Calculation of Spur Gears Transmissions for Forestry Machines.....	98
<i>S.P. Ageev.</i> Energy Operating Mode of Debarking Machines.....	104

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- A.P. *Karmanov, L.S. Kocheva, D. V. Kuzmin, O. V. Brovarova, M. V. Mironov, V.Yu. Belyaev.* Solution Properties and Conformational Characteristics of Dioxanelignin Macromolecules..... 112
- V.A. *Suslov.* Efficiency Enhancement of Worked-out Cooking Liquor Recovery of Pulp Enterprises..... 121
- V.I. *Komarov, M. A. Kholmova.* Influence of Kappa Number of High-Yield Sulphate Softwood Pulp on its Viscous-elastic Characteristics..... 134

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

- A.L. *Nevzorov, A.A. Korshunov.* Investigation of Tailing Deposits Characteristics as Source of Technogeneous Load on Environment..... 140
- B.A. *Mochalov, A.O. Senkov.* Growth of Bare-root and Containerized Pine Seedlings in Cultures of Taiga Zone..... 144
- V.I. *Malygin, P. V. Perfiljev.* Use of Computer-assisted Design System for Modeling Wooden Houses Made of Round Logs..... 147





УДК 630*425

В.П. Шелухо

Шелухо Василий Павлович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Брянский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесозащиты и охотоведения Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 70 печатных работ в области патологии леса, промышленного воздействия на лесные экосистемы, защиты леса от вредителей.



УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ В РАЙОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В целях управления состоянием и жизнеспособностью хвойных лесонасаждений в зонах промышленного загрязнения предложен дифференцированный режим ведения лесного хозяйства.

Ключевые слова: промышленные загрязнения, биоценоз, управление состоянием, режим ведения лесного хозяйства.

В условиях густонаселенной территории европейской части России, где хорошо развита промышленность, антропогенное влияние на растительность стало мощным экологическим фактором, негативно сказывающимся на скорости протекания биохимических реакций, габитуальных параметрах и устойчивости древесных растений [7]. При хроническом воздействии поллютантов значительно изменяются все элементы биогеоценоза (БГЦ), нарушается функционирование и гомеостаз лесных экосистем, снижаются биоразнообразие, продуктивность и устойчивость лесонасаждений [12, 13], что ведет к значительному прямому и косвенному ущербу лесному хозяйству страны.

Сокращение территорий лесных экосистем, включение в них чужеродных элементов обусловило появление концепции устойчивого управления лесами России. Мониторинг окружающей среды включен в перечень первоочередных задач и технологий РФ.

Поскольку продуценты являются основой устойчивого круговорота веществ и определяют параметры экосистем, то состояние среды целесообразно определять по реакциям на загрязнение именно со стороны продуцентов [3, 4].

Растительность, испытывающая стресс от загрязнений, становится более чувствительной к повреждению насекомыми и поражению болезнями [14]. Эффект от воздействия загрязнений воздуха на растения является беспороговым процессом и не связан линейно с его уровнем [1]. Увеличение дозы загрязнителя или экспозиции, превышая предел устойчивости, ведет к значительному падению прироста или гибели.

В последние 20 лет в Брянской области от стационарных источников ежегодно поступает 130 ... 170 тыс. т загрязнителей. Наибольшее количество загрязнителей атмосферного воздуха (60 ... 63 % от общего выброса) вносят промышленность и транспорт Дятьковского района, который насыщен предприятиями металлургии, строительной индустрии, стекольного производства. Крупнейшим из стационарных источников загрязнения является АО «Мальцовский портландцемент», ежегодно выбрасывающий 120 ... 150 тыс. т загрязнений, или 68,0 ... 73,2 % от общего выброса в районе.

Длительное изучение состояния хвойных лесонасаждений в зонах хронического воздействия пыли цементного производства, выбрасываемой в атмосферу этим предприятием, позволило выявить тенденции изменений лесной среды и определить основные направления деятельности по повышению устойчивости и жизнеспособности лесов в районах техногенного воздействия [12].

Промышленные загрязнения, снижая биоразнообразие, уменьшают потенциальную возможность поддержания устойчивости лесных экосистем. Ситуацию в загрязняемых лесах целесообразно контролировать методами фитоиндикации в системе лесопатологического мониторинга, дающей возможность многоуровневого и комплексного слежения за лесной средой. Управляющие оперативные решения должны быть основаны на анализе и прогнозных оценках ее развития.

В зависимости от характера воздействия аэрополлютантов возможны разные виды управления состоянием насаждений: 1) составом, объемами и условиями выхода загрязнений из источника; 2) состоянием атмосферы; 3) концентрацией загрязнений в компонентах экотопа БГЦ; 4) биоценозом (БЦ).

Управление состоянием насаждений в техногенных лесах со стороны лесохозяйственных органов сводится к регулированию концентрации загрязнений в приземных слоях воздуха путем изменения пространственной структуры насаждений (формирование ветроударных опушек и древостоев с определенной сомкнутостью крон) и управлению биоценозом через частичную замену малоустойчивых пород, изменение режима ведения хозяйства и адаптации существующих насаждений к промышленному воздействию.

Основными методами повышения устойчивости лесных БГЦ в условиях загрязнения среды должны быть профилактические мероприятия – формирование насаждений определенной структуры, состава и сомкнутости, дифференцированные в зависимости от количественных параметров загрязнения и текущего состояния древостоев.

Исходя из специфики хронического действия промышленной пыли на насаждения и результатов комплексного зонирования территории по сте-

пени воздействия поллютантов на компоненты БГЦ [12, 13], при сильном и умеренном воздействии поллютантов режим ведения лесного хозяйства должен отличаться от принятого в регионе, при слабом – соответствовать ему.

В зоне сильного воздействия цементной пыли на хвойные БГЦ концентрация взвешенных частиц в воздухе составляет 3 ... 4 ПДК, умеренного – 2,2 ... 3,0 ПДК (0,75 ... 0,90 мг/м³), слабого – 1,5 ... 2,2 ПДК при концентрации оксидов S и N, близкой к ПДК.

Состояние компонентов хвойных БГЦ при воздействии аэрополлютантов цементного производства нами исследовано ранее [13, 15].

При сильном воздействии, существенных изменениях лесной среды, значительном ослаблении древостоев, снижении их прироста на 50 % и более, превышении текущего отпада над естественным текущим в 2–4 раза, увеличении среднего диаметра отпада от среднего диаметра насаждения должны решаться две основные задачи: 1) поддержание устойчивости и долговечности насаждений; 2) сокращение до минимума возможных потерь древесного запаса и других продуктов.

Данные цели достигаются сохранением высокой сомкнутости древесного полога, подбором и смешением устойчивых и продуктивных пород (лиственница, тополя), сведением к минимуму главного пользования с применением только несплошных рубок, содействием естественному возобновлению и влиянием на подлесок, сохранением и созданием опушек из устойчивых пород, поддержанием полноты в средневозрастных и приспевающих хвойных насаждениях не ниже 0,7.

Цель лесовосстановления – создание газоустойчивых насаждений, способных поглощать и нейтрализовывать загрязнения. Лесные культуры должны быть смешанными, с участием хвойных не более 70 %. Учитывая устойчивость молодняков к поллютантам, необходимо поддерживать в них высокую сомкнутость крон, уход направлять на стимулирование быстрорастущих экземпляров с мощной кроной и большим запасом хвои. Рубки ухода в средневозрастных и приспевающих древостоях следует проводить неравномерно-куртинным способом слабой интенсивности с повторяемостью 3 ... 5 лет и поддержанием полноты не ниже 0,7 ... 0,8.

Для стабилизации состояния поврежденных насаждений и направления токов загрязненного воздуха в надкروновый горизонт целесообразно создавать защитные ступенчатые опушки плотной структуры с использованием желтой акации, робинии, березы повислой, рябины обыкновенной, которые быстро растут, образуют плотную крону и устойчивы к поллютантам [2, 5, 8].

Ввиду высокого хозяйственного значения насекомых-ксилофагов [14], в данной зоне необходимо более часто проводить санитарно-защитные мероприятия для снижения численности весенней феногруппы вредителей.

Отрицательное влияние нарушения круговорота веществ и ослабления БЦ может быть снижено при улучшении минерального питания внесе-

нием полных минеральных удобрений с микроэлементами в дозе от $N_{60}P_{60}K_{60}$ до $N_{120}P_{120}K_{100}$ [5, 6, 8 – 10].

При средней степени воздействия поллютантов, ослабленном состоянии древостоев, увеличении до 2,5 раз текущего отпада, средний диаметр которого равен 70 ... 80 % от среднего диаметра насаждения, хозяйство должно быть ориентировано на сокращение потерь древесного запаса и повышение устойчивости насаждений. Целесообразны меры по адаптации существующих насаждений к воздействию аэрополлютантов, широкое использование содействия естественному возобновлению, сохранение существующего подроста, с первых возрастных этапов адаптированного к местным экологическим условиям. Оправдано сохранение и введение быстрорастущих, устойчивых к поллютантам видов (лиственница, сосна крымская, тополя, клены остролистный и полевой).

Рубки ухода должны быть направлены на обеспечение хорошего роста хвойных пород и поддержание высокой сомкнутости крон [11]. В наиболее ослабленных насаждениях необходимо проводить качественный лесопатологический надзор и мероприятия по сокращению кормовой базы и численности ксилофагов. Значимость лесозащитных мероприятий в зоне особенно возрастает в действующих очагах корневых и стволовых гнилей, раковых заболеваний.

Удобрение насаждений рентабельно только для повышения устойчивости и усиления ростовых процессов насаждений, ослабленных одновременным действием промышленных загрязнений и других факторов (рекреация, вредители, болезни леса).

При слабом воздействии поллютантов должен быть усилен режим защиты леса от вредителей и болезней. Необходимы периодическая техническая учеба персонала лесной охраны, организация лесопатологического мониторинга и проведение лесозащитных мероприятий, направленных на контроль численности стволовых вредителей леса, локализацию очагов корневых гнилей и некрозно-раковых заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жидков, А.Н. Диагностика состояния насаждений хвойных пород [Текст]/ А.Н. Жидков // Лесн. хоз-во. – 2000. – № 4. – С. 20–22.
2. Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда [Текст]/ Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 125 с.
3. Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации [Текст]/ В.С. Николаевский. – М., 1998. – 192 с.
4. Николаевский, В.С. Экологические нормативы допустимого загрязнения воздуха для растительности [Текст]/ В.С. Николаевский, Х.Г. Якубов // Растительность и растительные ресурсы Европейского Севера России: X Перфильевские чтения. – Архангельск, 2003. – С. 196–198.

5. *Пастернак, П.С.* Влияние промышленных загрязнений атмосферы на лесные экосистемы и повышение их устойчивости [Текст]/ П.С. Пастернак [и др.]. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1985. – 33 с.

6. *Писаренко, А.И.* Экологические аспекты управления лесами России [Текст]/ А.И. Писаренко // Лесн. хоз-во. – 2000. – № 3. – С. 8–10.

7. *Сергейчик, А.А.* Эколого-физиологическая оценка устойчивости ассимиляционного аппарата хвойных лесобразующих пород Беларуси в техногенной среде [Текст]: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.А. Сергейчик. – Гомель, 2001. – 41 с.

8. *Смит, У.Х.* Лес и атмосфера: взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха [Текст]/ У.Х. Смит. – М.: Прогресс, 1985. – 429 с.

9. *Тарасенко В.П.* Влияние техногенного атмосферного загрязнения на лес в условиях европейской территории СССР [Текст]: обзор. информ. / В.П. Тарасенко [и др.]. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1991. – 38 с.

10. *Хуттунен, С.* Зависимость заболеваемости и других стресс-факторов от загрязнения атмосферы [Текст]/ С. Хуттунен // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 357–390.

11. *Цветков, В.Ф.* Лесоводственные аспекты оздоровления окружающей среды в районах аэротехногенного загрязнения на Кольском полуострове [Текст]/ В.Ф. Цветков // Лесн. журн. – 1999. – № 2-3. – С. 46–51. – (Изв. высш. учеб. заведений).

12. *Шелухо, В.П.* Биоиндикация хронического промышленного воздействия щелочного типа на компоненты хвойных насаждений [Текст]/ В.П. Шелухо. – Брянск: БГИТА, 2001. – 205 с.

13. *Шелухо, В.П.* Зонирование хвойных лесов при хроническом воздействии выбросов цементного производства [Текст]/ В.П. Шелухо // Лесн. журн. – 2002. – № 2. – С. 31–35. – (Изв. высш. учеб. заведений).

14. *Шелухо, В.П.* Ксилофаги сосны при хроническом промвоздействии щелочного типа [Текст]/ В.П. Шелухо // Экологические основы рационального лесопользования в Среднем Поволжье: материалы науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – С. 30–33.

15. *Шелухо, В.П.* Ослабление сосновых насаждений выбросами цементного производства [Текст]/ В.П. Шелухо // Лесн. журн. – 1997. – № 1-2. – С. 115–118. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Брянская государственная
инженерно-технологическая академия

Поступила 22.09.05

V.P. Shelukho

Management of Coniferous Forests in Regions of Technogeneous Impact

Differential mode is offered for forest management in the industrial pollution zones aimed at managing the state and viability of spruce stands.

УДК 630*181.28

О.Ф. Буторова, Е.А. Похабова

Буторова Ольга Федоровна родилась в 1944 г., окончила в 1967 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции, лесных культур и озеленения Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 250 печатных работ в области искусственного лесовыращивания, интродукции древесных растений.



Похабова Елена Александровна родилась в 1979 г., окончила в 2001 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры селекции, лесных культур и озеленения СибГТУ. Имеет 3 печатные работы в области интродукции древесной растительности.



**ИНТРОДУКЦИЯ ОРЕХА МАНЬЧЖУРСКОГО
В ДЕНДРАРИИ СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Рассмотрены вопросы интродукции ореха маньчжурского в дендрарии. Проанализированы биометрические показатели, плодоношение образцов, произрастающих в различных отделениях.

Ключевые слова: интродукция, орех маньчжурский, изменчивость, Сибирь.

Орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.) растет в Корее, Северном Китае, на Дальнем Востоке России преимущественно в хвойно-широколиственных лесах, по долинам рек, не поднимаясь выше 600 м над уровнем моря. Он предпочитает аллювиальные или делювиальные глубокие рыхлые почвы с близким залеганием проточных грунтовых вод, обычно достигает 27 ... 29 м в высоту и 60 ... 70 (до 100) см в диаметре. До 90 лет растет быстро, затем прирост уменьшается, живет 200 ... 250 лет [2].

В дендрарии СибГТУ имеются образцы ореха маньчжурского 29–46-летнего возраста. Нами проанализированы биометрические показатели и плодоношение пяти образцов в трех отделениях (см. таблицу).

Высота растений находится в пределах от 3,2 до 12,0 м при средних значениях 4,2 ... 8,4 м. Наибольшую высоту имеют биогруппы, произрастающие в отделении В (№ 436 и 316), где некоторые особи достигают высоты 12 м. Коэффициенты варьирования признака от низкого до высокого (10,5 ... 33,3 %). Различие между биогруппами, оцениваемое t-критерием на 5 %-м уровне значимости, недостоверно ($t_{ф2} = 0,51$).

В отделении А высота образца № 642 на 19 % ниже, чем у образца № 316 того же возраста в отделении В, но на 38 % больше в сравнении с биогруппой Д 160. В отделении Д имеются биогруппы разного биологического возраста (29 и 43 года) одинаковой высоты, но в 1,8–2,0 раза

Показатели ореха маньчжурского

Шифр	Возраст, лет	Лимиты	\bar{x}	$\pm m$	V, %	$t_{\phi 1}$	$t_{\phi 2}$
Высота, м							
Д 160	43	3,2 ... 5,0	4,2	0,37	19,5	8,40	0,51
Д 6575	29	4,6 ... 5,2	4,4	0,12	10,5	11,41	
В 436	41	4,3 ... 12,0	7,9	0,93	33,3	0,51	0,51
В 316	44	7,5 ... 10,4	8,4	0,33	10,9	–	
А 642	46	4,5 ... 8,5	6,8	0,34	19,6	3,33	–
Диаметр ствола, см							
Д 160	43	4 ... 6	5,0	0,40	17,8	10,50	1,77
Д 6575	29	5 ... 6	5,8	0,20	13,4	10,40	
В 436	41	8 ... 17	11,7	1,40	33,3	1,21	1,21
В 316	44	10 ... 16	13,6	0,72	14,8	–	
А 642	46	8 ... 12	9,7	0,36	14,5	4,81	–
Диаметр кроны, м							
Д 160	43	3,1 ... 4,0	3,8	0,08	5,0	1,18	1,11
Д 6575	29	3,0 ... 4,2	3,7	0,05	4,9	1,39	
В 436	41	2,3 ... 5,0	4,4	0,50	31,6	–	2,00
В 316	44	2,0 ... 4,7	3,1	0,42	38,1	1,99	
А 642	46	2,2 ... 3,4	2,5	0,07	11,2	3,76	–

Примечание: $t_{\phi 1}$ – достоверность различий с наибольшим значением; $t_{\phi 2}$ – то же в пределах отделения.

уступающие растениям в отделении В. Уровень изменчивости у них также ниже. Сравнение с образцом В 316 наибольшей высоты показало, что различия достоверны ($t_{\phi 1} = 8,40 \dots 11,41$).

Диаметр ствола растений варьирует от 4 до 17 см при средних значениях 5,0 ... 13,6 см. Наибольший диаметр имеют биогруппы В 436, В 316, в 1,2–2,7 раза больше по сравнению с другими. Изменчивость признака находится на среднем уровне, у образца В 436 – на высоком. Различия между биогруппами, произрастающими в одном отделении, недостоверны (1,77 и 1,21). Растения в отделении Д уступают образцам отделения В в 2,3–2,7 раза, хотя возраст биогрупп Д 160 и В 316 почти одинаков.

Диаметр кроны исследуемых растений достигает 2,5 ... 4,4 м, наибольший – в биогруппе В 436, но достоверность различий подтверждается только с растениями образца А 642. Коэффициент варьирования признака от низкого до высокого.

В 2000 г. почти все биогруппы плодоносили, на одном растении насчитывалось в среднем от 14 (В 160) до 28 (В 316) плодов; в 2004 г. – от 16 (Д 6575) до 26 шт. (В 436). Растения плодоносят ежегодно, за исключением лет, когда распускающиеся листья и цветки повреждаются поздними весенними заморозками; но урожайность невысокая: по 4 ... 36 плодов на дереве. В отделении С экземпляр ореха маньчжурского № 26, имеющий высо-

ту 11 м, диаметр ствола 20 см, кроны 4,5 м, сформировал в 1995 и 2004 гг. по 160 ... 400 плодов.

Сравнивая полученные данные с материалами других интродукционных пунктов, видим, что растения ореха маньчжурского в дендрарии СибГТУ уступают по высоте и другим биометрическим показателям особям из дендрариев Барнаула, Омска, Новосибирска, Томска [1, 3].

С учетом значительной вариации признаков ведется отбор экземпляров для получения селекционного посадочного материала, адаптированного в данных экологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин, В.Т. Интродукция древесных растений в лесостепном Приобье [Текст] / В.Т. Бакулин [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1982. – 233 с.
2. Булыгин, Н.Е. Дендрология [Текст] / Н.Е. Булыгин. – СПб.: Агропромиздат, 1991. – 352 с.
3. Встовская, Т.Н. Древесные растения-интродуценты Сибири (*Abelia – Ligustum*) [Текст] / Т.Н. Встовская. – Новосибирск: Наука, 1991. – 227 с.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 27.04.05

O.F. Butorova, E.A. Pokhabova

Introduction of Manchurian Walnut in Arboretum of Siberian State Technical University

The questions of introducing Manchurian walnut in arboretum are considered. Biometric characteristics, fructification of samples growing in different departments are analyzed.

УДК 621.387.143: 630*

С. В. Рыбкина, М. В. Беляков

Рыбкина Светлана Владимировна родилась в 1971 г., окончила в 1995 г. Смоленский государственный педагогический институт, старший преподаватель кафедры экологии Смоленского государственного педагогического университета. Имеет более 30 печатных работ по проблемам роста и развития семян древесных растений и функционирования лесных экосистем.



Беляков Михаил Владимирович родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Смоленский филиал Московского энергетического института, аспирант кафедры опто-электронных систем Смоленского филиала Московского энергетического института (технического университета). Имеет 23 печатные работы в области спектроскопии оптического излучения и его воздействия на биообъекты.



ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ

Показано, что излучение плазмы гелия активирует всхожесть семян и рост корешков проростков.

Ключевые слова: гелиевая плазма, излучение, энергетическая экспозиция, всхожесть, длина корешков проростков.

В целях улучшения посевных качеств семян и усиления энергии роста семян используют различные способы их активации: химические, физические, в том числе оптическое излучение [1, 3, 4, 6]. Определенный интерес представляет, в частности, излучение плазмы инертных газов, действие которого испытано на ряде сельскохозяйственных культур [2]. Метод безвреден для здоровья человека и окружающей среды.

Цель нашей работы – изучить эффективность оптического излучения, в том числе гелиевой плазмы, для предпосевной обработки семян ели европейской.

Для генерации плазмы применены электродуговые плазмотроны со смешанным спектром излучения (сплошная составляющая теплового излучения и линии люминесценции гелия). Считается, что рабочей спектральной областью является диапазон 280...420 нм [2]. Семена ели наилучшим образом поглощают излучение в диапазоне длин волн 350...550 нм. В качестве источника полихроматического излучения применялась также разрядная ртутная лампа высокого давления.

После обработки семена ели проращивали в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 13056.6–97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести».

Энергетическая экспозиция H (Дж/м²) установлена по формуле

$$H = Et,$$

где E – облученность в зоне обработки, Вт/м²;

t – время обработки, с.

Облученность для рабочего диапазона спектра определена из закона «квадрата расстояния»:

$$E = (I_e / h^2) \cos \theta,$$

где I_e – сила излучения, Вт/ср;

h – расстояние от излучателя до облучаемых объектов, м;

θ – угол между направлением падения излучения и нормалью к поверхности семян, рад.

Таблица 1

Облученность, Вт/м ²	Всхожесть семян, %, при времени обработки, с					
	1	5	10	15	25	40
0,59	92	89	89	91	88	90
0,99	91	90	92	90	91	92
1,21	91	85	88	88	88	89
2,07	88	91	91	91	88	90
2,98	92	90	91	90	92	91

Примечание. Всхожесть в контроле – 88 %.

Таблица 2

t , с	H , Дж/м ²	n	$M \pm m$, мм	% к контролю	$t_{\text{факт}}$	p , %
1	1,25	251	30,6 ± 0,5	117,1	8,4	99,9
5	6,25	269	32,0 ± 0,3	122,4	16,4	99,9
10	12,50	265	32,8 ± 0,3	125,7	18,6	99,9
15	18,75	240	39,0 ± 0,4	149,4	28,8	99,9
25	31,25	249	32,6 ± 0,5	124,9	12,1	99,9
40	50,00	262	23,5 ± 0,5	90,1	4,8	99,9
Контроль	0	261	26,1 ± 0,2	100,0	–	–

Поскольку семена размещались преимущественно в центре светового пятна, то $\theta \approx 0^\circ$ и $\cos \theta \approx 1$.

При одинаковой силе излучения плазмотрона и расстояния от излучателя до семян энергетическая экспозиция изменялась за счет варьирования времени воздействия на объекты. Контрольные образцы семян не облучали.

Установлено, что почти во всех вариантах наблюдается повышение (до 4 %) всхожести семян (табл. 1).

Влияние излучения гелиевой плазмы на рост корешков проростков ели приведено в табл. 2.

Очевидно, что оптимальной энергетической экспозицией при облучении семян ели является 18 ... 19 Дж/м², что соответствует времени облучения около 15 с. При меньшей экспозиции стимулирующий эффект снижается, если она выше оптимальной, проявляется ингибирование.

Таким образом, существенным достоинством данного метода является сравнительно малое время обработки (до 15 ... 25 с) и, как следствие, высокая производительность.

Считая оптимальным время облучения 15 с, мы поставили серию опытов по изучению влияния силы излучения плазмотрона на параметры роста. В табл. 3 представлена зависимость длины корешков проростков ели от энергетической экспозиции при различной силе излучения.

Таблица 3

I_e , мВт/ср	H , Дж/м ²	n	$M \pm m$, мм	% к контролю	$t_{\text{факт}}$	p , %
7,1	9,5	259	15,7 ± 0,4	108,8	2,3	95,0
8,3	11,1	268	18,3 ± 0,1	127,0	9,5	99,9
10,0	13,3	239	16,1 ± 0,4	111,4	3,0	99,9
15,0	20,0	274	15,6 ± 0,2	107,9	2,7	99,0
27,0	36,0	258	13,1 ± 0,4	90,9	2,3	95,0
Контроль	0	269	14,4 ± 0,4	100,0	–	–

Таблица 4

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Процент непроросших семян			Класс качества семян по ГОСТ 14161–86
			загнивших	пустых	зараженных вредителями	
Полный спектр	82	88	9	2	1	I
УФС8	88	90	7	3	–	I
ФС6	86	89	7	3	1	I
ФС1	87	90	7	3	–	I
БС3	88	90	6	4	–	I
Контроль	77	84	14	1	1	II

Максимальная длина корешков проростков (прирост 27 %) зафиксирована при силе излучения 8,3 мВт/ср. Однако стимулирующий эффект проявляется слабее, чем при варьировании временем.

В другом опыте семена ели европейской обрабатывали излучением ртутной разрядной лампы ДРТ230, пропущенным через выделяющие ультрафиолетовый (УФС8), фиолетовые (ФС6, ФС1) и отрезающий бесцветный (БС3) светофильтры (ГОСТ 9411–81) с расстояния 20 см в течение 5 с, после чего в установленные сроки определяли их энергию прорастания и всхожесть. Результаты представлены в табл. 4.

Для всех вариантов облучения энергия прорастания и всхожесть заметно увеличиваются (на 5 ... 11 и на 4 ... 6 % соответственно), хотя при использовании светофильтров результаты несколько лучше. Крайне важно то, что предпосевная обработка переводит семена из второго класса качества в первый, что позволяет существенно экономить семена при посеве.

Полевые опыты по изучению влияния оптического излучения разрядной ртутной лампы авторы проводили в 2003–2005 гг. в питомниках Ярцевского, Вяземского и Краснинского лесхозов Смоленской области. Усредненные результаты опытов по этим лесхозам представлены в табл. 5.

Во всех вариантах обработки отмечено превышение данных над контролем. Наилучшие результаты получены при обработке ртутной лампой со светофильтром УФС8 (прибавка по длине надземной части превышает 14 %, по длине главного корня близка к 30 %).

Таблица 5

Вариант	Число проростков	Длина надземной части		Длина главного корня	
		мм	% к контролю	мм	% к контролю
Полный спектр	195	39,1±0,1	108,6	130,5±10,6	119,2
УФС8	203	41,2±3,9	114,4	141,8±11,0	129,5
БСЗ	190	37,9±1,7	105,3	140,0±3,9	127,8
Контроль	209	36,0±1,1	–	109,5±3,1	–

2

Таким образом, предлагаемый способ стимуляции существенно активизирует рост проростков и сеянцев и при дальнейшем его совершенствовании (оптимизация спектра излучения и энергетической экспозиции обработки), возможно, будет рекомендован для применения в лесовосстановлении. В настоящее время ведутся исследования по изучению действия оптического излучения на посевные качества семян и рост сеянцев других важных лесобразующих пород – сосны обыкновенной и лиственницы сибирской [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Буторина, А.К.* Воздействие импульсных магнитных полей на семена сосны обыкновенной [Текст] / А.К. Буторина [и др.] // Лесн. хоз-во. – 2001. – № 6. – С. 27–28.
2. *Гордеев, Ю.А.* Использование оптического излучения для предпосевной обработки семян [Текст]: учеб. пособие / Ю.А. Гордеев, М.В. Беляков. – Смоленск: ССХИ, 2005. – 104 с.
3. *Максименко, А.П.* Предпосевная лазерная активация семян и черенков лесных пород [Текст] / А.П. Максименко // Лесн. хоз-во. – 1997. – № 6. – С. 31–32.
4. *Проказин, А.Е.* Использование ультразвука и парааминобензойной кислоты при предпосевной подготовке лесных семян [Текст] / А.Е. Проказин [и др.] // Лесн. хоз-во. – 1990. – № 3. – С. 46–49.
5. *Рыбкина, С.В.* Применение оптического излучения в качестве стимулятора роста древесных растений [Текст] / С.В. Рыбкина, М.В. Беляков. – Смоленск: Изд-во СГТ, 2005. – 46 с.

6. *Чилимов, А.И.* Проблемы использования стимуляторов роста в лесном хозяйстве [Текст]/ А.И. Чилимов, С.К. Пентелькин // Лесн. хоз-во. – 1995. – № 6. – С. 11–12.

Смоленский государственный
педагогический университет

Смоленский филиал
Московского энергетического
института (технического университета)

Поступила 31.10.05

S.V. Rybkina, M.V. Belyakov

**Use of Optical Radiation for Simulation of Seed Germination
of Common Spruce**

It is shown that radiation of helium plasma activates the seed germination and germ roots growth.

УДК 582.475:630*181.65:630*237(470.22)

М.В. Кистерная, Я.А. Аксененкова

Кистерная Маргарита Васильевна родилась в 1967 г., окончила в 1990 г. Ленинградский государственный университет, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 30 печатных работ в области древесиноведения.



Аксененкова Яна Анатольевна родилась в 1980 г., окончила в 2002 г. Петрозаводский государственный университет, сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства Института леса Карельского НЦ РАН.



ИЗМЕНЕНИЕ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ КОМПЛЕКСА ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Приведены результаты многолетних наблюдений за изменением ширины годичного кольца, процента поздней древесины, числа рядов трахеид и размера клеток в древесине сосны под действием комплекса лесохозяйственных мероприятий.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, ширина годичного кольца, процент поздней древесины, трахеиды, размер люмена, клеточная стенка.

Известно, что такие лесохозяйственные мероприятия, как рубки ухода, мелиорация, внесение удобрений в значительной степени влияют на качество древесины [4]. Имеется достаточно много сведений, подтверждающих заметный скачок радиального прироста древесины сосны после проведения лесохозяйственных мероприятий [1, 7, 8]. Данные об изменении плотности менее однозначны [1, 6, 7].

Изучению анатомического строения древесины в таких древостоях уделяется недостаточно внимания [1]. Однако данные характеристики (число рядов трахеид, размеры последних) существенно влияют на прочностные свойства древесины. На сегодняшний день этот вопрос остается актуальным и практически неизученным.

Большинство исследователей описывают последствия таких мероприятий, как осушение, рубки ухода, внесение удобрений, но крайне мало сообщений о влиянии их комплекса, особенно в долгосрочном аспекте. Участки, на которых проводились наши исследования, характерны для Южной Карелии, что придает актуальность полученным данным.

Объектом исследований служила древесина сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на опытных участках Института леса Карельского НЦ РАН на территории стационара «Киндасово» (Пряжинский район). Опытные участки заложены в одном из наиболее распространенных типов осушенных лесов Карелии – сосняке травяно-сфагновом на осушенной

переходной почве [5]. Изучены четыре варианта: 1) контроль – осушенный древостой (участок I); 2) осушенный древостой, пройденный проходной рубкой (участок II); 3) осушенный удобренный древостой (участок III); 4) осушенный, пройденный проходной рубкой, удобренный древостой (участок IV). Осушение всех участков проведено в 1972 г., проходные рубки с полной выборкой березы на участке II выполнены в 1982 г., на участке IV – в 1984 г., минеральные удобрения ($N_{75}P_{125}K_{75}$) внесены на участках III и IV в 1984 г. Подробно опытные участки и технология лесохозяйственных мероприятий описаны в литературе [5].

Анатомическое строение древесины изучали на кернах, отобранных на модельных деревьях на высоте 1,3 м возрастным буравом Пресслера, и на спилах*.

Ширину годичного кольца и процент поздней древесины измеряли с помощью программы KERN (А.Ермаков, 2000) на оцифрованных изображениях. Образцы древесины для микроскопических исследований вырезали из спилов. На роторном микротоме изготавливали поперечные срезы толщиной 30 мкм. Готовые постоянные препараты анализировали на световом микроскопе МБИ-15.

Число рядов клеток, радиальный размер люмена и толщину радиальных стенок ранних и поздних трахеид измеряли двумя способами с приблизительно одинаковой точностью: 1) окуляр-микрометром; 2) при помощи программы цифровой обработки компьютерных изображений Sigma ScanPro.

Улучшение водно-гидрологического и теплового режима почв после осушения активизировало работу камбиального слоя древесины, что привело к увеличению ширины годичного кольца за счет интенсивного образования трахеид большего диаметра. Число рядов ранних и поздних трахеид под влиянием осушения возросло в 3-4 раза (см. таблицу). Положительное влияние мелиорации на радиальный прирост прослеживается в течение всего периода наблюдений (рис. а). Тенденция к снижению числа рядов клеток в годичном кольце проявилась лишь через 20 ... 25 лет после осушения.

**Изменение числа рядов трахеид в приросте,
радиального диаметра полости и толщины радиальной стенки трахеид
под влиянием комплекса лесохозяйственных мероприятий**

Участок	Анализируемый период, годы	Общее число клеток в приросте	Ранние клетки			Поздние клетки		
			Число клеток в приросте	Диаметр люмена, мкм	Толщина стенки, мкм	Число клеток в приросте	Диаметр люмена, мкм	Толщина стенки, мкм
I	1969-1971	12,4/6,5	7,6/3,4	25,9/4,3	2,1/0,3	4,8/3,3	6,4/1,3	4,7/0,5
	1973-1975	11,8/9,2	5,9/2,9	21,9/6,6	2,1/0,3	6,0/7,2	5,7/1,0	4,1/1,0
	1985-1990	47,1/18,4	22,6/11,7	31,2/2,0	3,3/0,6	20,6/12,7	8,4/2,6	7,8/0,9

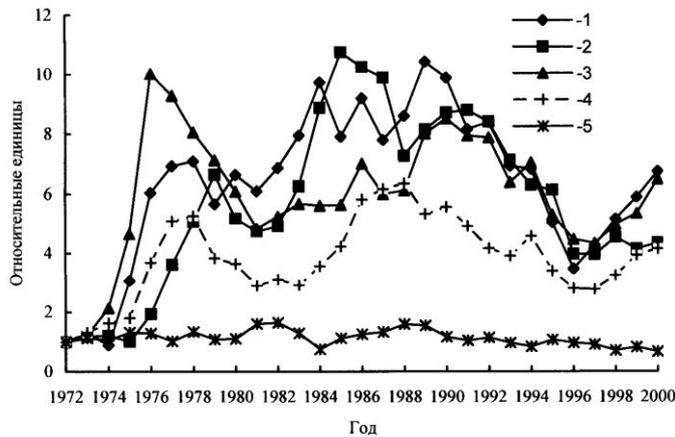
* Выбор модельных деревьев и отбор образцов проведены главным инженером В.А. Матюшкиным, измерения выполнены канд. биол. наук Е.А. Житковой.

	1995-1999	21,2/18,4	10,3/8,4	26,3/5,3	2,7/0,8	10,8/10,1	6,5/1,9	5,8/2,1
II	Среднее	23,2	11,59	26,3	2,6	10,56	6,7	5,6
	1969-1971	9,2/4,5	5,6/1,9	20,2/2,7	2,3/0,6	3,6/2,1	4,5/0,7	4,0/0,9
	1973-1975	8,0/3,0	5,4/2,4	20,3/2,9	2,4/0,5	2,6/0,7	4,7/0,6	3,8/0,6
	1985-1990	59,5/19,1	32,3/10,1	29,5/2,8	3,0/0,6	27,2/9,4	6,5/1,0	6,1/0,9
	1995-1999	26,1/7,3	11,9/4,4	27,0/4,7	3,1/1,2	14,3/6,4	5,9/1,5	5,4/1,2
III	Среднее	25,7	13,79	24,3	2,7	11,91	5,4	4,8
	1969-1971	11,4/1,8	6,7/0,9	25,0/1,8	4,4/1,8	4,7/1,1	6,1/1,1	6,5/1,8
	1973-1975	37,2/27,0	19,4/16,0	24,5/6,0	3,3/1,0	19,5/16,5	7,3/1,4	5,4/1,3
	1985-1990	55,8/18,7	27,0/7,7	31,6/2,3	3,6/1,0	28,8/13,3	8,7/2,4	6,4/1,0
	1995-1999	41,2/12,0	18,3/4,0	27,5/2,4	3,6/0,6	22,9/10,3	7,5/1,8	6,8/0,9
IV	Среднее	36,39	17,83	27,1	3,8	18,97	7,4	6,3
	1969-1971	14,3/12,5	8,1/6,3	20,1/5,4	2,8/0,9	6,3/6,4	4,7/0,9	5,1/1,1
	1973-1975	22,3/11,4	13,1/5,6	24,9/4,3	2,5/2,8	6,8/7,7	7,4/2,8	4,4/0,9
	1985-1990	61,4/15,4	29,6/10,2	29,3/2,6	3,5/1,7	31,8/8,0	8,0/1,7	5,9/2,2
	1995-1999	39,2/9,9	16,5/3,8	28,1/2,3	2,8/0,9	22,7/8,0	6,7/0,9	6,2/1,7
	Среднее	34,3	16,8	25,6	2,9	16,88	6,7	5,4

Примечание. В числителе – средние значения, в знаменателе – стандартное отклонение.

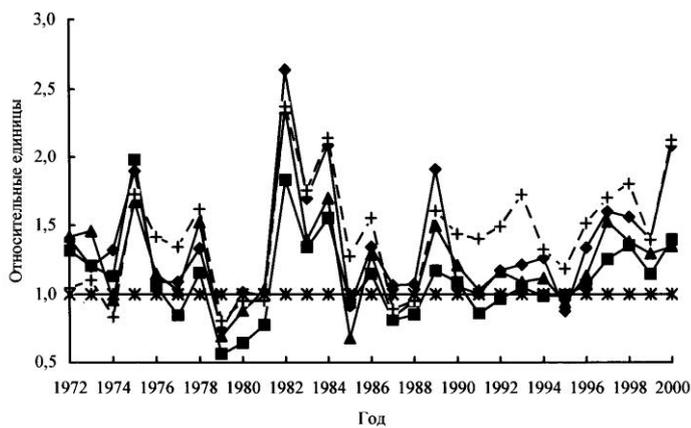
Можно отметить значительное влияние осушения на размеры как ранних, так и поздних трахеид. Наши результаты согласуются с данными В.А. Ипатьева [1] о повышении прироста за счет увеличения размеров трахеид. Радиальный диаметр люмена ранних трахеид снизился в первое пятилетие на 15 % ($p = 0,017$), но в последующие годы он увеличивался (+16 %, $p = 0,04$) с одновременным возрастанием толщины клеточной стенки (см. таблицу). Для поздней зоны древесины характерно интенсивное образование более толстостенных трахеид большего диаметра. Максимальное увеличение диаметра люмена поздних трахеид составило 31, а толщины клеточной стенки 66 % и пришлось на 1985–1990 гг. Формирование в ранней и поздней зонах древесины более крупных и толстостенных трахеид под влиянием мелиорации отмечали В.А. Матюшкин и В.А. Козлов [3].

Известно, что влияние рубок на качество древесины в значительной степени зависит от интенсивности и способа их проведения [6]. Проходные рубки с полным удалением березы в сосняке травяно-сфагновом на осушен-



Год

а



Год

б

Изменение относительной ширины годичного кольца (а) и доли поздней древесины в годичном кольце (б) под влиянием лесохозяйственных мероприятий: 1 – 4 – участки I – IV; 5 – неосушенный участок. Данные нормированы на 1972 г.

ной переходной почве аналогично осушению способствовали активизации камбиальной деятельности, что вызвало увеличение ширины годичного слоя. Изменение прироста, как и после осушения, произошло за счет возрастания числа рядов трахеид: ранних в 6, а поздних в 7 раз (см. таблицу). Однако отмечен отрицательный эффект данного мероприятия на содержание поздней древесины в течение всего периода наблюдений, по сравнению с осушенным участком ее доля уменьшилась на 15 % ($p = 0,05$) (рис. б). Полученные данные согласуются с утверждением С.М. Синькевича [6] о снижении процента поздней древесины в стволах разреженного древостоя.

Оптимальные условия для роста древостоя устанавливаются к 3-7-му году после проведения рубки, в этот период фиксируется максимальный

прирост по диаметру (см. рис. *a*). Благоприятные условия произрастания сохраняются довольно долго. В течение 9 лет радиальный прирост был на 10 ... 20 % выше, чем на осушенном участке, на 10–14-й годы достоверных различий показателя не выявлено, а затем прирост заметно снижался (ниже контрольного значения на 30 %, $p = 0,001$).

Проведение рубки отразилось на размерах трахеид. Т. Morling [7] отмечал характерное образование тонкостенных трахеид в ранней и поздней зонах древесины после проходных рубок. В нашем случае выявлено снижение толщины клеточной стенки (–12 %, $p = 0,001$) и радиального диаметра люмена (–15 %) лишь для поздних трахеид относительно осушенного участка (см. таблицу). Через 20 ... 25 лет после рубки в ранней зоне начинают образовываться более толстостенные трахеиды.

Внесение удобрений в сосняке травяно-сфагновом на переходной почве вызвало значительный скачок прироста по диаметру через 3 года благодаря увеличению числа рядов трахеид в 4–5 раз. Наибольший прирост отмечен на 3-й год, но последствие удобрений прослеживается еще в течение 14 лет, что является подтверждением данных М.П. Корчагиной и В.А. Матюшкина [2]. Под влиянием удобрений радиальный диаметр люмена ранних трахеид древесины возрос на 24 % ($p = 0,002$). Можно говорить об интенсивном образовании менее толстостенных поздних трахеид, толщина клеточной стенки которых снизилась на 17 % ($p = 0,001$) (см. таблицу).

Проведение рубки и внесение удобрений в комплексе вызывают двукратное увеличение прироста по диаметру. Наибольшая ширина годовичного кольца отмечается на 3–5-й годы после осуществления мероприятий (см. рис. *a*). При этом повышается число рядов ранних и поздних трахеид (на 20 ... 90 %) по сравнению с осушенным участком. Однако, это отрицательно сказывается на толщине клеточной стенки поздних трахеид (–15 %, $p = 0,015$). Доля поздней древесины повысилась лишь через 15 лет (1991–1995 гг., $p = 0,0001$), а в 1985–2000 гг. она была на 5 % больше показателя осушенного участка, что говорит об эффективности комплекса лесохозяйственных мероприятий (см. рис. *b*). Их последствие оказалось более длительным по сравнению с просто рубкой и осушением.

Увеличение годовичного прироста (и числа рядов трахеид в кольце) после проходных рубок и внесения удобрений обусловлено в большой мере их положительным влиянием на формирование кроны и функционирование ассимиляционного аппарата [8].

Известно, что в изреженном древостое увеличение относительной протяженности кроны, значительно влияющее на формирование древесины, может наблюдаться в течение достаточно длительного времени, в то время как внесение минеральных удобрений повышает доступность питательных веществ лишь на несколько лет [8]. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что рубки оказывают наибольшее влияние на изменение прироста, а длительность последствия этих мероприятий примерно одинакова.

Наши многолетние исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Лесомелиорация оказала положительное влияние на запас и качество древесины в сосняках травяно-сфагновых на переходной почве. Осушение способствует интенсивному формированию более крупных и толсто-стенных трахеид, а также увеличению процента поздней древесины.

2. Проведение рубок ухода и внесение минеральных удобрений в осушенных сосняках вызывают образование более тонкостенных трахеид в ранней и поздней зонах древесины сосны. Выявлено достоверное снижение доли поздней древесины после рубки. В то же время при внесении минеральных удобрений значительно увеличивается диаметр ранних трахеид.

3. По степени воздействия на годичный прирост лесохозяйственные мероприятия можно ранжировать следующим образом: удобрения <проходные рубки < рубка+удобрение, а по длительности: рубка или удобрение < рубка+удобрение < осушение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ипатьев, В.А.* Гидролесомелиорация и качество древесины [Текст] / В.А. Ипатьев // Современные проблемы гидролесомелиорации: тез. докл. Третьего советско-финского симпозиума, г. Псков, 9-10 сент. 1982. – Л., 1982. – С. 116–119.

2. *Корчагина, М.П.* Применение удобрений в сосняках кустарничково-сфагновых на осушенных торфяных почвах [Текст] / М.П. Корчагина, В.А. Матюшкин // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве: тез. докл. Всесоюз. совещ., г. Архангельск, 12-13 авг. 1986 г. – Архангельск, 1986. – С. 152–153.

3. *Матюшкин, В.А.* Изменение плотности древесины под влиянием гидролесомелиорации [Текст] / В.А. Матюшкин, В.А. Козлов // Проблемы и перспективы развития народнохозяйственного комплекса Карелии: тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. – Петрозаводск, 1989.

4. *Перелыгин, Л.М.* Древесиноведение [Текст] / Л.М. Перелыгин. – М., 1969. – 316 с.

5. *Саковец, В.И.* Экологические аспекты гидролесомелиорации в Карелии [Текст] / В.И. Саковец, Н.И. Германова, В.А. Матюшкин. – Петрозаводск, 2000. – 155 с.

6. *Синькевич, С.М.* Влияние разреживания и удобрения на качество древесины в средневозрастном сосняке [Текст] / С.М. Синькевич // Сосново-лиственные насаждения Карелии и Мурманской области. – Петрозаводск, 1981. – С. 115–122.

7. *Morling, T.* Effects of nitrogen fertilization and thinning on growth and clear wood properties in Scots pine [Text]: Doct. dissertation / T. Morling; Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. – Silvestria. – 1999. – 84.

8. *Valinger, E.* Effects of thinning and nitrogen fertilization on growth of Scots pine trees: total annual biomass increment [Text] / E. Valinger // Can. J. For. Res. – 1993. – Vol. 23. – P. 1639–1644.

Институт леса Карельского НЦ РАН

Поступила 25.03.05

M.V. Kisternaya, Ya. A. Aksenenkova

**Change of Anatomic Structure of Pine Timber under Influence
of Forest Management Measures**

The results of long-term observations of changes in pine timber are provided such as annual ring width, as well as late wood percentage, number of tracheid rows and their size formed under the impact of forest management measures.

УДК 630*435

Е.В. Юркина

Юркина Елена Вениаминовна родилась в 1950 г., окончила в 1973 г. Петрозаводский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой воспроизводства лесных ресурсов Сыктывкарского лесного института. Имеет около 60 печатных работ в области лесной энтомологии, экологии насекомых.



СОСТАВ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-БИОЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЭНТОМОФАУНЫ В СОСНЯКАХ ПРИ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ИХ АНТРОПОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ

Исследованы насекомые сосновых лесов средней подзоны тайги Республики Коми. Проанализирована структура энтомофауны в сосняках малонарушенных, нарушенных, искусственного происхождения.

Ключевые слова: насекомые сосновых лесов, характер распределения, биологическое разнообразие.

Во всех подзонах таежной зоны в Республике Коми широко распространены светлохвойные леса, образованные сосной. Наши исследования проводились в сосняках Княжпогостского, Корткеросского, Койгородского, Сыктывдинского, Сысольского, Прилузского, Усть-Вымского, Усть-Куломского, Ухтинского административных районов республики. Основными объектами исследования в сосняках всех классов возраста были насекомые, обитающие в естественных малонарушенных, нарушенных лесах и сосняках искусственного происхождения. Первая группа сосняков представлена тремя сосновыми заказниками. Среди нарушенных лесов исследованы вырубки, гари, территории, подвергшиеся техногенному воздействию, песчаные карьеры и пригородные леса. Сосняки искусственного происхождения – лесные моно- или поликультуры, лесосеменные плантации и участки.

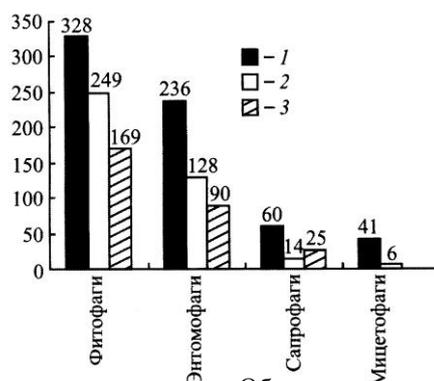
Анализ фаунистического комплекса членистоногих животных сосновых лесов выполнен на основе их общего списка по ряду показателей, в том числе распределению по классам встречаемости. На основании собранного материала с использованием программы Microsoft Excel 9.0 составлена электронная база данных, включающая сводную таблицу растений в естественных малонарушенных и нарушенных лесах и в сосняках искусственного происхождения и списки встречающихся в них видов беспозвоночных животных с дальнейшим распределением по четырем функционально-биоценотическим комплексам: фитофагов, энтомофагов, сапрофагов и ксило-мицетофагов. В пределах этих комплексов выделен ряд экологических групп. Фитофаги подразделены на филлофагов (343 вида), ксило-

мицетофагов (93), ризофагов (37), антофилов (37), карпофагов (7), бластофагов (5); энтомофаги – на хищников (269) и паразитов (47); сапрофаги – на детритофагов (46), копрофагов (10) и некрофагов (8); ксило-мицетофаги (46 видов) на группы не разделялись.

Видовое разнообразие является одной из важнейших характеристик состояния лесных экосистем. В естественных малонарушенных сосновых лесах обитает наибольшее число видов насекомых (665), в естественных нарушенных значительно меньше (397), еще меньше в сосняках искусственного происхождения (284 вида). Общее число видов и их распределение по четырем ценокомплексам в лесах изученных категорий отражены на рисунке. Как видим, участие насекомых разных функционально-биоценологических комплексов неодинаково. Доля фитофагов по отношению к другим комплексам выше в естественных нарушенных, энтомофагов – в естественных малонарушенных лесах. В сосняках искусственного происхождения возраста до 5 лет из ценокомплекса закономерно выпадают ксило-мицетофаги.

Видовая структура насекомых в сосняках характеризуется частотой встречаемости. В лесах и на лесных площадях всех категорий больше всего редких и единичных видов. В естественных малонарушенных лесах лишь 16 % видов относятся к массовым и многочисленным, обычных видов – 22, редких и единичных – 62 %. В естественных нарушенных насаждениях соотношение выделенных показателей меняется: 17, 24 и 59 %. В искусственных экосистемах наблюдается значительный рост числа массовых и многочисленных видов (26 %) за счет сокращения редких и единичных (50 %).

Анализ фаунистических списков насекомых показал, что во всех сосняках достаточно постоянна группа эвритопных видов, включающая более 70 представителей. Это виды из отр. Collembola – *Orchesella flavescens* (сем. Orchesellidae); отр. Coleoptera – *Melolontha hippocastani* – хрущ майский восточный (сем. Scarabaeidae), *Prosternon tessellatum* (сем. Elateridae), *Calvia quatuordecimguttata* (сем. Coccinellidae), *Gonioctena quinquepunctata* – листоед черемуховый (сем. Chrysomelidae), *Hylobius abietis* – большой сосновый долгоносик, *Phyllobius pyri* – грушевый листовой слоник, *Strophosoma capitatum* – яйцевидный долгоносик (сем. Curculionidae); отр. Lepidoptera – *Blastesthia turionella* – почковый побеговьюн, *Petrova resinella* – побеговьюн-смолевщик (сем. Tortricidae), *Dioxyctria mutata* – сосновая побеговая огневка (сем. Phycitidae); отр. Hymenoptera – *Formica cinerea*, *Myrmica rubra* (сем. Formicidae). Но при этом



Общее число насекомых в функционально-биоценологических комплексах в сосновых лесах различных категорий: 1 – сосняки естественные малонарушенные; 2 – сосняки естественные нарушенные; 3 – сосняки искусственного происхождения

структура фаунистических комплексов сосновых лесов разных категорий высоко специфична в отношении редких видов. Среди них существенна доля насекомых стенобионтов, обладающих характерными потребностями. Целый ряд факторов наличествует только в естественных малонарушенных старовозрастных лесах, и набор редких видов здесь самый широкий. Это такие представители отр. Coleoptera, как *Agathidium atrum* (Leiodidae), *Choleva agilis* (Cholevidae), *Atheta nigrifida* (Staphylinidae), *Megasternum obscurum* (Hydrophilidae), *Microrhagus pygmaeus* (Eucnemidae); отр. Lepidoptera – *Autographa buraetica* (Noctuidae); отр. Hymenoptera – *Crossocerus cetratus* (Sphecidae); отр. Diptera – *Didea intermedia* (Syrphidae). В нарушенных лесных сообществах региона наиболее очевидно изменение светового режима (на горячих, вырубках, карьерных комплексах). Перемены, происходящие на биоценотическом уровне, приводят к тому, что здесь взамен исчезающих появляются новые экологические ниши. Их заполняют насекомые, потребности которых более всего соответствуют модифицированным условиям среды. Среди них такие редкие виды, которых практически нет в других лесных местообитаниях. Так, оголенные песчаные откосы, котлованы карьеров заполняют колонии пчел коллетид – *Colletes cunicularius* (Colletidae), на мелких членистоногих хищничают жуки *Pselaphus heisei* (Pselaphidae), на прибрежной растительности водоемов, образовавшихся в карьерах, питаются жуки *Cyphon padi* (Scirtidae). Гари осваивают такие редкие для сосняков республики виды жесткокрылых, как *Stagetus borealis* (Anobiidae), и перепончатокрылых – *Miscophus niger* (Sphecidae). Высокий уровень специфичности комплекса насекомых отмечен в местах складирования леса. Здесь обитают короеды – *Ips duplicatus* – короед-двойник, *Orthotomicus proximus*, *O. suturalis* – короед пожара, златки – *Chrysobothris chrysostigma*, хищные жесткокрылые – *Pytho depressus* (Pythidae), *Thanasimus rufipes* (Cleridae) и мицетофаги – *Boros schneideri* (Boridae). В непосредственной близости к лесопромышленному комплексу обнаружен паразит бражников – *Callajoppa cirrogaster* (Hymenoptera, Ichneumonidae), ранее не известный для северо-востока европейской части.

Энтомофауна лесных экосистем включает обязательный набор из четырех биоценотических комплексов насекомых: фитофагов, энтомофагов, сапрофагов, мицетофагов. Отсутствие даже одной из них говорит о нарушениях на экосистемном уровне. В малонарушенных естественных лесах соотношение между количеством видов фитофагов, энтомофагов, сапрофагов и ксило-мицетофагов составляет пропорцию 5,0 : 3,5 : 1,0 : 0,5. При слабой нарушенности лесов энтомоценоз реагирует на происходящее воздействие только изменением видового состава в пределах отдельных биоценотических комплексов и групп. При сильной нарушенности изменения энтомоценоза проявляются как на видовом, так и на популяционном и биоценотическом уровнях. При этом эвритопные виды занимают основной объем экологического гиперпространства. Господствуют светлюбивые лугово-лесные виды. Число фитофагов уменьшается, а их доля в составе анализируемого

комплекса, напротив, возрастает. В искусственных лесах происходит перестройка энтомоценоза как на видовом, так и на экосистемном уровнях.

Анализ распределения экологических группировок насекомых в 16 сосновых ассоциациях показал, что в естественных малонарушенных сосняках присутствует не менее 10 экологических групп насекомых. Для таких лесов характерно обилие хищников. При этом весь спектр экологических групп насекомых (12) представлен в сосняках-беломошниках. Здесь же зафиксировано самое большое общее количество видов насекомых (447), что свидетельствует о широком спектре условий в лесах данного типа.

В нарушенных естественных лесах меняется соотношение и ценотическая значимость видов насекомых. Главную роль играет степень и характер антропогенного воздействия. Среди всех исследованных ассоциаций данного типа наибольшее число экологических групп (11) выявлено в хвойно-лиственных пригородных лесах с участием сосны. Для остальных местообитаний присуще выпадение из спектра двух и более экогрупп.

Крайняя степень деградации растительности характерна для сосняков искусственного происхождения. В таких биотопах среднее число экологических группировок обычно не превышает 9. Наибольшее их количество зарегистрировано в посадках сосны, достигших 20 лет и старше в период, когда они по своему характеру и структуре приближаются к естественным соснякам (156 видов).

Индексы разнообразия энтомофауны рассчитаны на примере трех ключевых сосновых ассоциаций: малонарушенного бора-беломошника, поврежденного пожаром спелого леса и сосновых культур 6–9-летнего возраста. Характерно уменьшение разнообразия насекомых от сосняков естественных малонарушенных (111 видов) через нарушенные (75 видов) к соснякам искусственного происхождения (58 видов).

В малонарушенных естественных лесах распределение особей между видами наиболее равномерное: индекс доминирования первого по обилию вида превышает 26 %, в нарушенных пожаром сосновых лесах – более 52 %, в искусственных фитоценозах – 48 % от общего числа особей. В малонарушенных естественных лесах доминируют яйцевидный долгоносик и муравьи родов *Camponotus*, *Formica*, *Lasius*, *Myrmica*, в нарушенных сосновых лесах – большой сосновый долгоносик и муравьи рода *Formica*, в искусственных фитоценозах – группа насекомых почкоедов с главными видами – сосновой побеговой огневкой и почковым побеговьюном и муравьи рода *Lasius*. Среди субдоминантов из фитофагов отмечены шишковая смолевка, восточный майский хрущ, июньский хрущ, сосновый подкорный клоп, точечная смолевка, жуки-корнежилы, побеговьюн-смолевщик. Во всех лесах доминантами и субдоминантами являются виды, принадлежащие группе фитофагов и энтомофагов. Важное место в биоценозах хвойно-лиственных молодняков занимает комплекс бореальных видов насекомых, таких как слоники-коротконосики, малый и большой лесной садовники, сосновые пилильщики. Здесь хищничают сетчатокрылые – *Chrysopa perla*, *Parasemidalis fuscipennis*, жуки стафилиниды – *Amischa analis*, *Atheta*

pallidicornis, двукрылые родов *Eristalis*, *Xylota* (Syrphidae). Активны насекомые антофилы и перепончатокрылые из сем. Apidae, Andrenidae, Melittidae и Megachilidae.

Результаты, полученные при сравнении видового состава, показали, что наибольший уровень сходства состава энтомофауны (более 50 %) наблюдается между коренными малонарушенными сосняками лишайникового типа и фауной лесосеменных плантаций, достигших возраста 25 лет и старше, что указывает на близость последних к естественным соснякам.

Анализ разнообразия видового состава с учетом обилия насекомых показал, что максимальный уровень сходства (более 50 %) наблюдается между фауной малонарушенных сосновых боров, произрастающих на границе с болотом, и фауной естественных нарушенных сосняков, расположенных в зоне действия лесопромышленного комплекса. Главной причиной этого являются специфические условия роста сосны на заболоченных участках (переувлажненность почвы) и в антропогенно нарушенных местах (загрязнение среды), которые вызывают повышенный отпад в древостоях и изреженность насаждений, что создает сходную экологическую обстановку.

В малонарушенных лесах сосна имеет «свиту» разнообразных потребителей. В старовозрастных насаждениях, как правило, создаются хорошо выраженные группировки насекомых, состоящие из фитофагов, энтомофагов, сапрофагов и ксило-мицетофагов. Характерными обитателями высокоствольных лесных сообществ являются чешуекрылые – *Sphinx pinastri* – сосновый бражник (Sphingidae), клопы (*Rhinocoris annulatus*, *Rhyparochromus pini*). Среди перепончатокрылых господствуют муравьи родов *Formica* и *Myrmica*. Достаточно высоким постоянством в таких сообществах характеризуется группа ксилофагов – *Chalcophora mariana* – большая златка (Coleoptera, Buprestidae), *Acanthocinus griseus* (Coleoptera, Cerambycidae) и связанных с ними хищников. Так, одним из характерных элементов тайги является красногрудый муравей-древоточец (*Camponotus herculeanus*).

В нарушенных естественных лесах вместе с гибелью растений исчезают и соответствующие им беспозвоночные животные, при этом первыми пропадают монофаги, связанные с высокоствольными лесами.

Таким образом, сосновые леса естественные малонарушенные, нарушенные и сосняки искусственного происхождения характеризуются заметными различиями в энтомофауне по числу и составу видов в слагающих ее функционально-ценотических комплексах и экологических группах насекомых. По видовому составу наиболее разнообразны естественные малонарушенные леса, затем нарушенные и искусственные леса.

Сыктывкарский лесной институт
С.-Петербургской государственной
лесотехнической академии

Поступила 14.10.05

E. V. Yurkina

**Composition and Functional-and-biocoenotic Structure
of Entomofauna in Pineries under Different Degree of their
Anthropogenic Disturbance**

The insects of pine forests of middle subzone of Taiga of Komi Republic are investigated.
The structure of entomofauna is analyzed for intact, disturbed and artificial pine forests.

УДК 630**2:631.53

С.И. Горбунова

Горбунова Светлана Ивановна родилась в 1950 г., окончила в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, заведующий дендрарием Мурманского государственного технического университета. Имеет 20 печатных работ в области интродукции растений.



ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Показана возможность выращивания растений в почве дендрария МГТУ из семян, поступивших из различных регионов России и зарубежных стран.

Ключевые слова: всхожесть семян, интродукция.

В условиях сурового климата Крайнего Севера* необходимо подобрать состав растений, которые могут быть там успешно акклиматизированы. Субарктика – сравнительно новый район деятельности интродуктора, где отсутствие многолетнего опыта посадок переселенных растений должно компенсироваться анализом имеющихся данных о поведении как аборигенных видов, так и уже испытанных интродуцентов.

Современное состояние интродукционной науки показывает, что бедность видового состава северной флоры определяется не только климатическими факторами, но и историческими, географическими, экологическими и другими причинами. Это позволяет сделать вывод о перспективности и необходимости введения в северную флору новых видов растений с целью увеличить видовое разнообразие, повысить его устойчивость, декоративность, производительность, сохранить исчезающие виды.

Растения-интродуценты можно получить вегетативным путем и выращиванием из семян. Первый способ в условиях Крайнего Севера имеет ограничения из-за короткого вегетационного периода, трудности перевозки растений из отдаленных районов. Вегетативно размножают растения из Полярно-альпийского ботанического сада, которые успешно приживаются в условиях Мурманска. Наиболее приемлемый способ увеличения ассортимента растений, их видового разнообразия на Крайнем Севере – размножение семенами.

В 1999 г. при кафедре биологии Мурманского государственного технического университета создан дендрологический участок (дендрарий) с

* Киселев, А.А. Мурманская область: география и история освоения [Текст]: учеб. пособие для учащихся старших классов, студентов, учителей /А.А. Киселев, А.В. Шевченко. – Мурманск: Мурман. кн. изд-во, 1996. – 214 с.

целью расширить количественный состав растений в условиях правобережья Кольского залива при использовании интродуцентов с последующими их акклиматизацией и распространением. В этом году были пересажены растения-интродуценты из Полярно-альпийского ботанического сада с территории Первомайского дома творчества, а 09.07.2001 г. – кустарниковые растения из питомника Костромы.

В 2001–2003 гг. в дендрарий МГТУ поступили семена древесных, кустарниковых, травянистых и цветочно-декоративных растений: из Финляндии – 39 образцов, Исландии – 33, Чехии – 40, Норвегии – 63, Швеции – 99, Тувы – 2, Турачакского лесхоза – 1, Чемальского лесхоза – 1, Берентакского лесничества – 2, дендрария Архангельского государственного технического университета – 55, Черекского лесхоза – 1, Сочи – 3, Сибири – 1, Таджикистана – 6, Крыма – 2, Абхазии – 4, Калининграда – 8, Варзуги – 1, Республики Марий Эл – 3, Магаданской области – 2, Адыгеи – 8, Саха Якутии – 1, Дальнего Востока – 8, Хакасии – 2, Красноярского края – 2, Севастополя – 1, Майкопа – 1, Петрозаводского государственного университета – 9, Курска – 5, Приэльбрусья – 1, Кабардино-Балкарии – 11, Карелии – 4, высеяны 3 образца семян неизвестного происхождения, всего 422 образца.

Семена высевали в теплицы с полиэтиленовым покрытием. В качестве почвенного субстрата использовали низинный торф. Через 2 года часть выращенных сеянцев высаживали в коллекции открытого грунта. На основании проведенных испытаний установлено, что температурный режим под пленкой положительно сказался на всхожести семян и росте сеянцев.

В зависимости от всхожести и сроков стратификации посев семян в теплицы проводили дважды: в начале вегетационного периода, когда каркас теплицы закрывали пленкой, и в конце его. Летние всходы семян и осенние посевы уходили под снег, что снижало влияние отрицательных температур.

В почву теплиц дендрария МГТУ было высеяно 79 образцов семян хвойных растений, всхожесть наблюдалась у 48 образцов. Не взошли 4 вида кипарисовиков: погребальный (*Chamaecyparis funebries*), Лавсона (*C. lawsoniana*) из Сочи, нутканский (*C. nootkatensis*), горохоплодный (*C. pisifera*) из Калининграда, туя корейская (*Thuja coreana*) из Сочи, головчатотис Харрингтона (*Cephalotaxus harringtonia*), таксодиум обыкновенный (*Taxodium distichum*), метасеквойя глибтостробоидная (*Metasequoia glyptostroboides*) из Чехии.

Было высеяно в почву теплиц 11 образцов 3 видов можжевельника: зеравшанский (*Juniperus seravschanica*) из Таджикистана, вонючий (*J. phoenicia*) из Чехии, обыкновенный (*J. communis*) из Финляндии – 4 образца, Норвегии – 2, по одному – из Исландии, Швеции, Варзуги. Всхожесть наблюдалась у 2 образцов из Финляндии, а также у образцов из Норвегии и Исландии через 2 года после посева. Сеянцы 2 образцов можжевельника из Финляндии высажены в коллекции, остальные не выжили, как и сеянцы жетсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii*) из Чехии.

Семена лиственницы представлены 15 образцами 6 видов: сибирская (*Larix sibirica*), даурская (*L. dahurica*), американская (*L. laricina*), японская

(*L. leptolepis*), Каяндера (*L. kajanderi*). Семена лиственницы сибирской поступили из Чемальского лесхоза, Берentakского лесничества, дендрария Архангельского государственного технического университета, Хакасского лесхоза, Исландии (последние не взошли). Дали всхожесть семена лиственницы европейской из Чехии и Калининграда, даурской из дендрария АГТУ и Хабаровского края, Каяндера из Магаданской области, не взошли семена лиственницы американской из Калининграда и Норвегии, японской из Норвегии. Средняя всхожесть семян лиственниц 2,7 ... 32,0 %, наибольшая у даурской из Хабаровского края – 76 %. Высота полученных сеянцев в первый год достигла 4,0 ... 10,5, во второй – 6 ... 40, в третий – 12...41, в четвертый – 50 см у высеянных в 2001 г. Самыми высокими оказались сеянцы лиственницы сибирской. Произошел отпад лиственницы европейской из Чехии и Калининграда, сибирской из Чемальского лесхоза. Сеянцы лиственницы сибирской из Чемальского лесхоза, дендрария АГТУ, Берentakского лесничества и даурской из дендрария АГТУ высажены в коллекции открытого грунта.

Все 8 образцов 4 видов семян ели – европейской (*Picea abies*) из Чехии, 2 образцов из Финляндии, Марий Эл, Адыгеи, сибирской (*P. sibirica*) из Тувы, гибридной и аянской из Владивостока – дали всхожесть в почве теплиц. Наибольшей оказалась всхожесть ели европейской из Финляндии и Адыгеи. Высота полученных сеянцев в первый год достигла 2 ... 5, во второй – 5 ... 10, в третий – 12 ... 23 см. Наблюдался отпад сеянца сибирской из Тувы. Сеянцы ели обыкновенной из Чехии и Финляндии высажены в коллекции открытого грунта.

Высеяны семена 13 образцов 11 видов пихты: одноцветной (*Abies concolor*) из Норвегии, сибирской (*A. sibirica*) из Турачакского лесхоза и Марий Эл, корейской (*A. koreana*) и сикорианской (*A. sikoriana*) из Швеции, белой (*A. alba*) из Чехии, 2 образцов белокорой (*A. nephrolepis*) из Норвегии и Владивостока, *A. procera* и бальзамической (*A. balsamea*) из Норвегии, цельнолистной (*A. holophylla*) из Приморского края, кавказской, или Нордманна (*A. nordmanniana*) из Адыгеи. Проявили всхожесть семена 6 образцов: сибирской из Турачакского лесхоза и Марий Эл, сикорианской из Швеции, Нордманна из Адыгеи, цельнолистной и белокорой из Приморского края. Всхожесть семян пихты находилась в пределах 4 ... 14 %. В коллекции открытого грунта высажена лиственница сибирская из Турачакского лесхоза и Марий Эл. В 2004 г. высота растений достигла 20, у цельнолистной – 4 см. Произошел отпад лиственниц кавказской и сикорианской.

В почву теплиц дендрария высеяны семена 23 образцов 10 видов сосны: обыкновенной (*Pinus silvestris*) – 2 образцов из Финляндии, а также из Чехии, Марий Эл, Адыгеи, Амурской области, горной (*P. mugo mughus*) из Чехии, крючковатой (*P. hamata*) из Приэльбрусья и Кабардино-Балкарии, крымской (*P. pallasiana*) из Адыгеи, кедровой сибирской (*P. sibirica*) из Берentakского лесничества, Тувы, Хакасского лесхоза, Красноярского и Приморского краев, кедрового стланика (*P. pumila*) из Норвегии, Саха Якутии, Сибири, Магаданской области, кедровой корейской (*P. coreana*) неизвестно-

го происхождения, Тунберга (*P. Thunbergii*) из Чехии, кедровой европейской (*P. cembra*) из Норвегии, реликтовой из Майкопа.

Дали всхожесть семена 20 образцов сосны из 23 высевных. Всхожесть их от 2 % у сосны кедровой сибирской из Берentakского лесничества до 60 % у обыкновенной из Адыгеи. Не взошли семена этого вида из Красноярского края, Хакасского лесхоза, кедрового стланика из Сибири. Хотя сосна Тунберга из Чехии дала хорошую всхожесть (97 %), ее сеянцы погибли. На третий год произошел отпад у сосны обыкновенной из Финляндии и горной из Чехии в коллекциях, а также крючковатой из Приэльбрусья, кедровой корейской. Установлено, что хвоя сеянцев сосен горной и обыкновенной из Чехии имела окраску от темно-зеленой до светло-зеленой. Не выжили в условиях почвы теплицы сеянцы сосны реликтовой. Часть сеянцев разных видов сосны продолжает свой рост в коллекциях. Их высота в первый год составила 2 ... 9, во второй – 9 ... 20, в третий – 24 см.

Проведенные наблюдения показали, что всхожесть семян хвойных растений в почве теплиц дендрария связана со сроками и условиями хранения, почвой, температурой окружающего воздуха и другими причинами, которые необходимо установить в процессе дальнейших наблюдений.

Выводы

Несмотря на условия, вызывающие понижение всхожести семян (сроки и хранение, время пересылки), а также отпад части полученных сеянцев, созданы первые коллекции хвойных растений: ели европейской, сосны обыкновенной, кедровой сибирской, пихты сибирской, лиственницы даурской и сибирской, за которыми будут продолжены наблюдения.

Мурманский государственный
технический университет

Поступила 02.02.05

S.I. Gorbunova

Seed Germination of Coniferous Plants of Different Geographical Samples

The possibility of growing plants in the soil of MSTU Arboretum from the seeds delivered from different regions of Russia and foreign countries is shown.

УДК 630*23(477)

В.П. Шлапак

ФИТОМАССА НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЧИСТЫХ И СМЕШАННЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ЧЕРКАССКОГО БОРА

Изучено накопление фитомассы надземной части в чистых и смешанных культурах сосны Черкасского бора в Украине. Определен ее выход в зависимости от возраста, типа условий местопроизрастания и типа смешения культур. Установлен наиболее точный и упрощенный метод учета фитомассы.

Ключевые слова: культуры сосны, фитомасса, возраст, Черкасский бор, условия местопроизрастания.

Резюмирующими показателями хода физиологического процесса и состояния растительных сообществ и отдельных особей являются количество и характер накопления фитомассы [9]. Эти характеристики важны как с научной, так и с практической стороны. Черкасский бор, кроме рекреационных, мелиоративных и защитных функций, служит также источником древесины и технической зелени, получаемой из крон деревьев. Ежегодный объем заготовок сосновой лапки в бору составлял более 1800 т и в ближайшие годы должен значительно возрасти.

Методике определения фитомассы надземной части древесных насаждений и ее возрастной динамики посвящены многочисленные исследования [1–6, 8].

В программу наших исследований входило изучить:

- выход фитомассы надземной части по взвешиванию и по уравнению Sato ($W = D^2H$) [8];
- выход ствола, ветвей и хвои из 1 м^3 стволовой древесины сосны в свежих субориях;
- фитомассу надземной части 35-летних культур сосны в различных типах условий местопроизрастания;
- фитомассу надземной части в различных типах смешения 51-летних культур сосны в свежих субориях (B_2) и сугрудках (C_2).

Нами для определения фитомассы надземной части сосновых насаждений в Черкасском бору было отобрано по 10 модельных деревьев, средних по диаметру и высоте для насаждений возраста 30, 74 и 110 лет. Все модельные деревья разделяли на фракции (ствол, ветви, хвоя) и взвешивали. Массу фракций учитывали в свежесрубленном и абс. сухом состоянии.

Выход фитомассы надземной части среднего дерева в свежесрубленном состоянии как по взвешиванию, так и по уравнению ($\Phi = D_{1,3}^2 H$) не зависит от возраста, отклонение составило 0,20 ... 0,67 % (табл. 1), что подтверждает высокую точность метода. Однако для некоторых деревьев на

пробных площадях отклонение превышало точность опыта и находилось в пределах 10,2 ... 38,8 %, что связано со сбежистостью ствола.

Выход отдельных фракций вычисляли на 1 м³ стволовой древесины, масса ветвей с возрастом уменьшается более существенно, чем масса хвои (табл. 2). Стволовая часть фитомассы не зависит напрямую от возраста деревьев, а в большей мере связана с физиологическим состоянием особей и отражает процессы, свойственные каждому возрастному состоянию. Так, максимальная масса ствола сосны в культурах приходится на 70 ... 100 лет, а затем, с конца 5-го – начала 6-го класса возраста, снижается на 15 ... 20 %. Несколько иначе развивается крона сосны: наибольшая масса ветвей и хвои характерна для периода максимального роста дерева в высоту и по диаметру, т. е. 30 ... 50 лет. В приспевающих и спелых древостоях масса ветвей и хвои сокращается на 25 ... 30 %, а в возрасте спелости составляет всего 30 % от максимальных показателей (табл. 2).

Ограниченность информации не позволяет говорить о сокращенном способе выращивания спелой древесной массы сосны на песках. Однако полученные данные явно свидетельствуют о более раннем наступлении периода старения в культурах в сравнении с данными таблиц хода роста Н.В. Третьякова, П.В. Горского, Г.Г. Самойловича [7].

Представляет интерес зависимость фитомассы от условий местопроизрастания (табл. 3). Наибольшие показатели фитомассы надземной части сосны отмечены в чистых 35-летних культурах на более богатых почвах. Так, фитомасса ствола и кроны сосны в расчете на среднее модельное

Таблица 1

Выход фитомассы надземной части (свежесрубленное состояние)

3*

№ учетного дерева	Средние		Фитомасса, кг		Отклонение	
	H, м	D _{1,3} , см	по взвешиванию	по уравнению ($\Phi = D_{1,3}^2 H$)	абсолютное, кг	относительное, %
Пробная площадь 83, 10С, 30 лет, V _{ср} = 0,09 м ³ , запас 160 м ³ /га						
1	12,9	11,8	82,7	91,9	-9,2	-11,1
2	13,6	11,0	83,6	83,4	0,2	0,2
3	12,9	10,8	87,2	76,3	10,9	12,5
4	11,4	10,1	55,1	59,0	-3,9	-7,1
5	10,3	10,6	54,9	58,7	-3,8	-6,9
6	11,4	10,9	49,5	68,7	-19,2	-38,8
7	11,4	10,8	65,6	67,4	-1,8	-2,7
8	13,3	10,8	84,6	78,7	5,9	7,0
9	10,3	10,0	52,5	52,2	0,3	0,6
10	10,2	10,5	73,0	57,0	16,0	21,9
Среднее дерево	11,8	10,7	68,9	69,3	-0,5	-0,67
Пробная площадь 50, 10С, 74 года, V _{ср} = 0,99 м ³ , запас 624 м ³ /га						
1	27,3	29,9	999,8	835,0	164,8	16,5
2	27,4	30,5	770,8	872,0	-101,2	-13,1

3	29,3	27,8	848,9	774,7	74,2	8,7
4	28,2	28,9	814,1	805,8	8,3	1,0
5	27,8	28,2	735,7	756,3	-20,6	-2,8
6	27,3	28,7	755,8	769,3	-13,5	-1,8
7	29,4	29,0	928,3	845,9	82,4	8,9
8	27,1	30,0	756,9	834,4	-77,5	-10,2
9	25,6	29,1	749,9	741,6	8,3	1,1
10	27,3	28,5	667,2	758,6	-91,4	-13,7
Среднее дерево	27,7	29,1	802,7	799,4	3,4	0,4
Пробная площадь 140, 10С, 110 лет, $V_{ср} = 1,62 \text{ м}^3$, запас $137 \text{ м}^3/\text{га}$						
1	33,4	35,5	1291,7	1270,5	21,2	1,6
2	32,6	43,2	1603,4	1836,4	-233,0	-14,5
3	31,4	37,2	1308,9	1311,6	-2,7	-0,2
4	32,8	38,4	1623,6	1475,1	148,5	9,1
5	30,8	38,0	1478,6	1342,4	136,2	9,2
6	32,6	36,3	1251,4	1296,6	-45,2	-3,6
7	31,7	36,2	1344,8	1253,0	91,8	6,8
8	33,1	36,0	1102,3	1294,0	-191,7	-17,4
9	29,9	35,7	1206,8	1150,0	56,8	4,7
10	28,3	38,3	1242,7	1253,0	-10,3	-0,8
Среднее дерево	31,7	37,5	1345,4	1348,3	-2,8	-0,2

Таблица 2

**Выход ствола, ветвей и хвои из 1 м^3 стволовой древесины сосны
в свежих суборях**

№ пробной площади	Возраст, лет	Абс. сухая масса, кг / %			
		Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
83	30	<u>625,6</u>	<u>64,4</u>	<u>71,1</u>	<u>761,1</u>
		82,2	8,5	9,3	100,0
50	74	<u>721,1</u>	<u>41,6</u>	<u>47,8</u>	<u>810,5</u>
		89,0	5,1	5,9	100,0
116	110	<u>769,9</u>	<u>27,4</u>	<u>33,2</u>	<u>830,5</u>
		92,7	3,3	4,0	100,0

Таблица 3

**Фитомасса надземной части сосны в различных типах условий
местопроизрастания в 35-летних культурах**

№ пробной площади	ТУМ	Состав	H, м	D _{1,3} , см	Абс. сухая фитомасса надземной части среднего модельного дерева, кг / %				Общая фитомасса надземной части, т/га
					Ствол	Ветви	Хвоя	Итого	
150	A ₂	10С	9,8	11,0	<u>39,6</u>	<u>3,6</u>	<u>4,2</u>	<u>47,4</u>	101,0
					83,5	7,6	8,9	100,0	

25	B ₂	10С	18,1	18,4	<u>203,3</u> 82,9	<u>18,4</u> 7,5	<u>23,4</u> 9,6	<u>245,1</u> 100,0	221,8
81	C ₂	10С	20,7	19,5	<u>260,1</u> 82,6	<u>22,6</u> 7,2	<u>32,6</u> 10,2	<u>314,8</u> 100,0	245,5

дерево в типе условий местопроизрастания A₂ равна 45 ... 50 кг (в среднем 47,4 кг), в условиях B₂ – 235 ... 250 кг и C₂ – 300 ... 330 кг (средняя соответственно 245,1 и 314,8 кг). Доля ветвей в общей массе надземной части сосны в этих трех типах близка по значению (7,2 ... 7,6 %). Различия в содержании хвои более выражены на почвах, разных по плодородию, хотя и здесь они несущественны. В условиях A₂ хвоя сосны составляет 8,9 % от общей массы надземной части, в C₂ – 10,2 %. Следовательно, можно говорить лишь о тенденции увеличения доли хвои в фитомассе надземной части по мере повышения плодородия почв. Сравнивая фитомассу надземной части сосны чистых и смешанных культур в двух типах условий местопроизрастания (B₂ и C₂), видим, что в более бедных условиях (B₂) показатели выше в чистых культурах, в богатых и относительно более богатых (C₂) – в смешанных культурах с дубом, кленом, грабом, липой.

В табл. 4 приведены данные о фитомассе надземной части сосны в чистых и смешанных культурах в условиях местопроизрастания B₂ и C₂. Анализ показывает, что в B₂ фитомасса сосны уменьшается по мере снижения ее доли в составе; в C₂, наоборот, минимальный запас фитомассы от-

Таблица 4

Фитомасса надземной части сосны в различных типах смешения 51-летних культур в свежих суборях (B₂) и сугрудках (C₂)

№ пробной площади	Состав	H, м	D _{1,3} см	Абс. сухая фитомасса надземной части среднего модельного дерева, кг / %			
				Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
Свежая суборь (B ₂)							
103	10С	24,8	22,7	<u>237,1</u> 85,1	<u>17,1</u> 6,1	<u>24,5</u> 8,8	<u>314,7</u> 100,0
97	5С4Д1Б	20,4	20,2	<u>126,5</u> 86,8	<u>7,9</u> 5,4	<u>11,3</u> 7,8	<u>145,7</u> 100,0
91	3С6Д1Лп	20,6	18,8	<u>98,6</u> 86,8	<u>6,1</u> 5,4	<u>8,9</u> 7,8	<u>113,6</u> 100,0
Свежая судубрава (C ₂)							
82	10С	23,6	24,4	<u>122,4</u> 86,9	<u>7,4</u> 5,3	<u>11,0</u> 7,8	<u>140,8</u> 100,0
101	8С1Кл1Б, ед. Г, Лп	23,2	20,0	<u>209,4</u> 86,8	<u>13,0</u> 5,4	<u>18,8</u> 7,8	<u>241,3</u> 100,0
93	5С4Д1Лп, ед. Б, Г	39,9	27,7	<u>321,9</u> 86,8	<u>20,2</u> 5,4	<u>28,8</u> 7,8	<u>370,9</u> 100,0

мечен в чистых культурах, а максимальный при 50 %-м участии сосны в составе с дубом и липой.

Обобщая изложенное, можно сделать вывод, что учет фитомассы и ее структуры имеет большое значение для оценки ресурсного потенциала. Нами выявлено, что для учета фитомассы наиболее приемлем метод Sato, который в условиях Черкасского бора дает наиболее точные результаты ($\pm 1\%$), в то время как по методам других авторов отклонения достигают $\pm 10\%$. Основу фитомассы составляет стволовая древесина, причем ее доля повышается с возрастом (30 лет – 82,2; 74 года – 89,0; 110 лет – 92,7 %).

Между общей фитомассой (W) надземной части сосны в свежесрубленном состоянии и D^2H (где D – диаметр ствола на 1,3 м; H – высота дерева) существует тесная прямолинейная связь, которую можно выразить формулой в любом возрасте. Так, в Черкасском бору для 30-летнего древостоя $D^2H = 24,81W$; 70-летнего – $D^2H = 35,35W$; 110-летнего – $D^2H = 37,70W$.

Для ветвей и хвои зависимость обратная. Накопление фитомассы тесно связано с условиями местопроизрастания. Так, если для 35-летних культур общую фитомассу надземной части в A_2 – 101,0 т/га принять за 100 %, то в B_2 она составляет 221,8 т/га, или 219,6 %, в C_2 – 245,5 т/га, или 243,0 %. Обращает на себя внимание резкое нарастание биомассы от боров к суборям, что характеризует относительное богатство суборей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаев, В.А. Таксация надземной фитомассы культур сосны в степи [Текст] / В.А. Бугаев, Ю.Э. Папез, В.В. Успенский // Лесн. хоз-во. – 1988. – № 3. – С. 28–30.
2. Горбатенко, В.М. О точности учета фитомассы коры и хвои сосновых древостоев [Текст] / В.М. Горбатенко, В.В. Протопопов // Там же. – 1971. – № 4. – С. 30.
3. Маргайлик, Г.И. Влияние света на древесные растения [Текст] / Г.И. Маргайлик, Н.Д. Нестерович. – Минск: Наука и техника, 1971. – 22 с.
4. Моисеев, В.С. Лесная таксация [Текст]: метод. указания по учету древесной зелени / В.С. Моисеев, Л.Н. Яновский. – Л.: ЛТА, 1985. – 39 с.
5. Семечкина, М.Т. Оценка методов определения надземной фитомассы сосновых древостоев [Текст] / М.Т. Семечкина, И.В. Семечкин // Исследование биологических ресурсов средней тайги Сибири. – Красноярск, 1973. – С. 105–115.
6. Токмурзин, Т.Х. Способы таксации биомассы кроны сосны [Текст] / Т.Х. Токмурзин, С.П. Байзаков // Лесн. хоз-во. – 1975. – № 4. – С. 41.
7. Третьяков, Н.В. Справочник таксатора [Текст] / Н.В. Третьяков, П.В. Горский, Г.Г. Самойлович. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 856 с.
8. Чмыр, А.Ф. Категории учетности и морфологический состав культур в условиях южной тайги [Текст] / А.Ф. Чмыр, Л.Н. Яновский // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. – Л.: ЛТА, 1979. – № 8. – С. 99–105.

9. Шлапак, В.П. Лесоводственная оценка агротехнических приемов создания и выращивания культур сосны в Черкасском бору [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.П. Шлапак. – Л., 1990. – 19 с.

Национальный дендрологический парк
«Софиевка» – НИИ НАН Украины

Поступила 10.11.04

V.P. Shlapak

**Phytomass of Pine Top in Pure and Mixed Cultures of Cherkassy
Pineries**

The phytomass accumulation in top in pure and mixed cultures of pine in Cherkassy pineries is studied. Its yield is determined depending on age, type of its habitat and culture mixing. The most accurate and simplified method of phytomass determination is established.



УДК 582. 288:631.466. 1/2

Ф.М. Хабибуллина, Т.А. Творожникова

Хабибуллина Флюза Мубаракровна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Московский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, докторант Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 80 печатных работ в области микологии и фитопатологии.



Творожникова Татьяна Александровна родилась в 1983 г., окончила в 2005 г. Сыктывкарский государственный университет, аспирант Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 2 печатные работы в области ботаники, экологии.



**РОЛЬ МИКРОМИЦЕТОВ В ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ
В ЕЛЬНИКЕ ЧЕРНИЧНО-ЗЕЛЕНОМОШНОМ
СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ**

Изучены качественные характеристики микобиоты и ее количественные показатели в растительном опаде и органогенном горизонте подзолистых почв зеленомошных лесов средней подзоны тайги. Установлена динамика состава микобиоты и общей заселенности грибами в ходе минерализации опада.

Ключевые слова: микромицеты, гифомицеты, деструкторы, целлюлозолитики, олиготрофы, сахаролитики, сукцессия.

Одним из свойств лесных биогеоценозов является ежегодный опад органических остатков древесных пород на поверхность почвы. Среди элементов лесного опада наибольшее количество зольных веществ и энергетического материала для обитателей лесных почв содержат листья и хвоя, составляя одно из основных звеньев в постоянном обмене питательных веществ в этих почвах [6].

В различных типах леса опад содержит разное количество органических веществ: в ельниках – до 5,85; в сосняках – до 3,96; в дубравах – до 3,5 т/га. Кислотность опада листьев и хвои также неодинакова, наибольшая в ельниках. Опад тем кислее, чем меньше в нем нейтрализующих зольных элементов, особенно кальция.

Скорость разложения опада и подстилки зависит от содержания в них продуктов обмена растений, фитонцидов и пр., токсических для многих микроорганизмов [3, 6, 13]. Процессы распада сложных органических веществ биологического происхождения, таких как клетчатка и лигнин, представляют собой одну из важных проблем биологии и почвоведения. Эти вещества являются главными составными частями растительного опада и древесины, и от их разложения зависит круговорот соединений углерода в природе [8]. Биогенная деструкция растительного опада осуществляется в детритном блоке с помощью специфических ферментов сапротрофными организмами. Первичными колонизаторами опада в лесных биогеоценозах являются грибы. По сравнению с бактериями они обладают более мощным

ферментным аппаратом, разнообразными физиологическими функциями, крайне экономным обменом веществ, что дает им возможность с наибольшей эффективностью использовать самые различные субстраты [3]. Грибы – активные разрушители целлюлозы и единственные деструкторы лигнина, что представляет собой уникальное явление; разлагая также и клетчатку, они активно участвуют в изменении растительного опада.

Почвенные грибы обладают рядом адаптивных особенностей, позволяющих успешно осуществлять деструкцию органического вещества. К основным из них относятся: мощный и разнообразный ферментативный аппарат, участвующий в снятии фенольного «барьера» трудноразлагающихся компонентов опада [4]; высокая радиальная скорость роста, позволяющая осуществлять как локальное, так и пространственное заселение органических субстратов [7]; способность утилизировать трудноминерализуемые вещества при низких температурах, вплоть до отрицательных. Перечисленные характеристики очень актуальны для почв Севера и в ряде случаев делают грибы основными деструкторами растительного опада [4, 11].

Несмотря на то, что гифомицеты, обитающие на опавших листьях и хвое, играют важную роль в образовании и разложении лесной подстилки, влияя на долготеление и уровень производительности лесных биогеоценозов, их место и роль в различных экосистемах изучены недостаточно.

Цель настоящей работы – выявить состав и количество микроорганизмов, участвующих в разложении опада древесного яруса в лесной экосистеме среднетаежной зоны Республики Коми, определить микобиоту в органогенном слое, а также рассмотреть сезонную сукцессию микромицетов, минерализующих растительные остатки.

Исследования проводили в течение 2002–2004 гг. на стационарном участке лаборатории проблем природовосстановления, который расположен в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкара, в верхней части пологого склона водораздельного возвышения, в 50 м от автодороги. Леса близ города нарушены, широко развиты мелколиственные и смешанные насаждения. Одна из площадок представляет собой коренной ельник чернично-зеленомошный, который расположен на вершине межручейного холма высотой около 1 м. Состав древостоя 6Е2Б2Ос, возраст 110 ... 130 лет. В подлеске рябина, жимолость, ольха; в подросте пихта, ель. В напочвенном покрове преобладают гипновые мхи, встречаются земляника, седмичник, костяника, хвощ.

Почва подзолистая легкосуглинистая на среднесуглинистом покровном суглинке. В данном сообществе изучали микобиоту растительного опада и органогенного слоя почвы. Образцы опада закладывали осенью 2002 г. и отбирали поэтапно: весной 2003, осенью 2003 и весной 2004 г. в трех повторностях. Пробы почвы отбирали в весенний и осенний периоды 2004 г. также в трех повторностях. Микробиологический анализ образцов проводили общепринятыми методами [1, 2, 5]. Микромицеты идентифицировали по определителям различных таксономических групп грибов. При статистической обработке полученных данных использовали коэффициент Сьеренсена-Чекановского.

Основное внимание нами было направлено на изучение сукцессионного изменения видового состава микромицетов в ходе разложения опада. Всего выделено 35 видов микромицетов, относящихся к двум классам: *Hyphomycetes* и *Zygomycetes*. Как видно из табл. 1, в разлагающемся опаде ельника в течение весны 2003 г. выделены грибы родов *Aspergillus* (3 вида), *Penicillium* (2 вида) и виды *Geomyces pannorum*, *Torula herbarum*, *Nigrospora gossypii*, колонии *Mycelia sterilia*. При этом наиболее обильны роды *Torula* (81 %) и *Geomyces* (12 %), являющиеся основными лигнинразрушающими грибами [8]. В последующий период осени 2003 г. максимального обилия достигает род *Aspergillus* (25 %) и уменьшается обилие рода *Torula* до 19 %. Также обильны роды *Geomyces* и *Mycelia sterilia* (по 19 %). Кроме того, появляются роды *Trichoderma*, *Diheterospora*, наблюдается большее видовое разнообразие рода *Penicillium*. Весной 2004 г. максимальное обилие наблюдается у рода *Geomyces* (73 %), увеличивается обилие *Penicillium* до 16 %. Появляются виды рода *Mucor* (5 видов). Основными доминантами в разлагающемся опаде являются *Aspergillus ochraceus*, *Geomyces pannorum*, *Mycelia sterilia*, *Torula herbarum*.

Таблица 1

**Сукцессионные изменения видового состава микромицетов
в ходе разложения опада с осени 2002 г. по весну 2004 г.**

Вид грибов	Весна 2003 г.	Осень 2003 г.	Весна 2004 г.
Отдел <i>Zygomycota</i>			
Класс <i>Zygomycetes</i>			
Порядок <i>Mucorales</i>			
Сем. <i>Mucoraceae</i>			
<i>Mucor</i> sp.	-	-	+
<i>M. circinelloides</i> Tiegh.	-	-	+
<i>M. pusillus</i> Hagem	-	-	+
<i>M. plumbeus</i> Bonord.	-	-	+
<i>M. globosus</i> A. Fischer	-	-	+
<i>M. hiemalis</i> Rifai Wehmer	-	-	+
Отдел <i>Deuteromycota</i>			
Класс <i>Hyphomycetes</i>			
Порядок <i>Hyphomycetales</i>			
Сем. <i>Moniliaceae</i>			
<i>Aspergillus</i> sp.	+	-	-
<i>A. niger</i> Tiegh.	+	-	-
<i>A. ochraceus</i> Wilhelm	+	+	+
<i>Cephalosporium</i> sp.	-	-	+
<i>Diheterospora catenulate</i> Kamyschko	-	+	-
<i>Geomyces meridianum</i> (Link) Carm.	-	+	-
<i>G. pannorum</i> (Huges) v. Oorshr.	+	+	+
<i>Nigrospora gossypii</i> Jaczewski	+	-	-
<i>Paecilomyces farinosus</i> (Holm) Brown et Smith	-	-	+

Окончание табл. 1

Вид грибов	Весна 2003 г.	Осень 2003 г.	Весна 2004 г.
<i>Penicillium</i> sp. 1	+	-	-
<i>P.</i> sp. 2	-	+	-
<i>P.</i> sp. 3	-	-	+
<i>P. albo-cinereascens</i> Chalabuda	-	-	+
<i>P. camemberti</i> Thom	+	-	-
<i>P. baradicum</i> Baghdadi	-	-	+
<i>P. cyclopium</i> Westl.	-	-	+
<i>P. expansum</i> Link	-	-	+
<i>P. kurssanovii</i> Chalabuda	-	-	+
<i>P. lanosum</i> Westl.	-	+	-
<i>P. simplicissimum</i> (Oud.) Thom	-	+	-
<i>P. purpurogenum</i> Stoll	-	+	-
<i>P. radulatum</i> Smith	-	-	+
<i>Rhinocladium</i> sp.	-	+	-
<i>Trichoderma album</i> Preuss	-	-	+
<i>T. fasciculatum</i> Bissett	-	+	-
<i>T. polysporum</i> (Link: Fr.) Rifai	-	+	-
<i>Torula herbarum</i> Link ex Fries	+	+	+
Сем. <i>Dematiaceae</i>			
<i>Cladosporium herbarum</i> (Persoon) Link ex Fries	-	-	+
Порядок <i>Mycelia sterilia</i>			
<i>Mycelia sterilia</i> (Basidiomyc.)	+	+	+
<i>M. sterilia</i> (Mucedin.)	+	+	+
<i>M. sterilia</i> (Dematiac.)	+	+	+

Кроме грибов в разложении опада большую роль играют разные физиологические, эколого-трофические группы микроорганизмов. Весной количество аммонификаторов преобладает над количеством нитрификаторов, т.е. активно потребляется органическая форма азота, а минеральный азот используется незначительно и коэффициент минерализации невелик. Поэтому ранней весной разложение опада составляет всего 17 %. За лето количество аммонификаторов уменьшилось, так как разложилась большая часть органики, и увеличилась доля нитрификаторов, происходит минерализация органического азота. Остатки органики подвергаются дальнейшему разложению, и процент минерализации снижается к весне следующего года, в то же время уменьшается и количество аммонификаторов, процент разложения опада составляет уже 36. Так как в опаде много легкодоступных, используемых сахаролитическими микроорганизмами органических веществ, максимум их развития наблюдается весной и далее существенно снижается. Количество целлюлозолитических микроорганизмов незначительно в начальные периоды разложения и максимума достигает в последний период,

т. е. весной 2004 г., что подтверждается и высоким обилием доминирующего вида-целлюлозолитика *Geomyces pannorum*.

Таким образом, в разлагающемся опаде ельника наблюдается значительное увеличение численности аммонифицирующих и сахаролитических микроорганизмов в весенний период и олиготрофных и нитрифицирующих – в осенний.

Таблица 2

Сукцессионные изменения видового состава микромицетов в образцах почвы

Вид грибов	Весенняя проба	Осенняя проба
Отдел <i>Zygomycota</i>		
Класс <i>Zygomycetes</i>		
Порядок <i>Mucorales</i>		
Сем. <i>Mucoraceae</i>		
<i>Mucor circinelloides</i> Tiegh.	-	+
Сем. <i>Mortierellaceae</i>		
<i>Mortierella vinaceae</i> Dixon-Stewart	-	+
<i>M. ramanniana</i> (Moller) Linnem	+	+
Отдел <i>Deuteromycota</i>		
Класс <i>Hyphomycetes</i>		
Порядок <i>Hyphomycetales</i>		
Сем. <i>Moniliaceae</i>		
<i>Geomyces pannorum</i> Huges	+	-
<i>Paecilomyces carneus</i> (Duche et Heim) Brown et G. Sm.	-	+
<i>P. lilacinus</i> (Thom) Samson	+	+
<i>Penicillium decumbens</i> Thom	-	+
<i>P. expansum</i> Link	-	+
<i>P. implicatum</i> Biourge	+	-
<i>P. jensenii</i> Zaleski	+	+
<i>P. kapuscinskii</i> Zaleski	+	-
<i>P. kurssanovii</i> Chalabuda	+	+
<i>P. waksmanii</i> Zaleski	-	+
<i>Rhinocladium</i> sp.	+	-
<i>Trichoderma</i> sp.	+	-
<i>T. koningii</i> Oudemans	-	+
<i>T. lignorum</i> (Tode) Harz	+	-
Сем. <i>Dematiaceae</i>		
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen) de Vries	+	-
<i>C. herbarum</i> (Persoon) Link ex Fries	+	-
Порядок <i>Tuberculariales</i>		
Сем. <i>Tuberculariaceae</i>		
<i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht. ex Fries	-	+
Порядок <i>Mycelia sterilia</i>		
<i>Mycelia sterilia</i> (Basidiomyc.)	+	+
<i>M. sterilia</i> (Mucedin.)	+	+
<i>M. sterilia</i> (Dematiac.)	+	+

В результате разложения и минерализации опада питательные вещества поступают в почву, активизируя микробиологические процессы. В органогенном слое наблюдается наибольшее количество аммонификаторов и нитрификаторов в осенний период, но процент минерализации в обоих случаях остается низким. По сравнению с опадом количество микроорганизмов на всех питательных средах значительно меньше, что вызвано снижением доли органических веществ в почве. Максимум сахаролитических микроорганизмов наблюдается осенью, когда в почву поступает большое количество органики вместе в опадом. Целлюлозолитические микроорганизмы представлены в незначительном количестве, в основном бактериями и актиномицетами.

При исследовании образцов почвы выделено 23 вида микромицетов из 11 родов 5 семейств 2 классов: *Zygomycetes* и *Hyphomycetes* (табл. 2). Преобладают виды родов *Penicillium*, *Trichoderma*, составляющие наиболее многочисленную группу плесневых грибов в подзолистых почвах [1, 6, 7]. В весенней пробе почвы присутствуют виды родов *Mortierella*, *Penicillium* (4 вида), *Rhinocladium*, *Geomyces*, *Trichoderma* (2 вида), *Cladosporium* (2 вида). В осенний период появляются виды родов *Mucor*, *Mortierella*, *Paecilomyces* (2 вида), *Fusarium*.

В весенний период в почве ельника широко представлены роды *Mortierella*, *Penicillium*, в осенний их обилие уменьшается, наибольшее развитие получает *Mycelia sterilia*. Также обилён род *Fusarium*, обладающий целлюлозолитической и пектинолитической активностью [8]. Среди доминирующих видов почвы ельника обнаружены *Mortierella ramanniana*, *Paecilomyces lilacinus*, *Penicillium jensenii*, *Mycelia sterilia*, причем только в подзолистых почвах отмечен первый вид, характерный для лесных и тундровых почв [8, 10].

Преобладание видов родов *Mortierella* и *Penicillium* в весенний период и представителей порядка *Mycelia sterilia* в осенний, вероятно, связано с ухудшением условий осенью и, как следствие, увеличением доли стерильного мицелия, который развивается в основном в северных почвах.

Таким образом, в почве ельника наблюдается увеличение аммонифицирующих, олиготрофных и сахаролитических микроорганизмов в осенний период и нитрифицирующих – в весенний.

При сравнении видового состава микромицетов в опаде и органогенном слое почвы с помощью коэффициента Сьеренсена-Чекановского наблюдается незначительное сходство (19 %).

Выводы

В ельнике чернично-зеленомошном в весенний период идет наиболее активное разложение опада, о чем говорит количественный и качественный состав микроорганизмов, участвующих в деструкции растительных остатков. В выделенной микобиоте по численности и видовому разнообразию преобладают пенициллы и триходермы (которые известны как грибы, разрушающие клетчатку) [12], часто встречаются стерильные формы, имеются светло- и темноокрашенные гифомицеты. Среди целлюлозолитиков абсо-

лютым доминантом является *Geotmyces pannorum* [9]. При переходе от подстилки к органогенному слою резко уменьшается численность микроорганизмов, обедняется видовой состав микромицетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникеев, В.В.* Руководство к практическим занятиям по микробиологии [Текст] / В.В. Аникеев, К.А. Лукомская. – М.: Просвещение, 1977. – С. 66–80.
2. *Аристовская, Т.В.* Микробиология подзолистых почв [Текст] / Т.В. Аристовская. – М.: Наука, 1965. – 345 с.
3. *Борисова, В.Н.* Гифомицеты листовного опада [Текст] / В.Н. Борисова // Микромицеты почв / под общ. ред. В.И. Билай. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 155–180.
4. *Гришкан, И.Б.* Микобиота и биологическая активность почв верховий Колымы [Текст] / И.Б. Гришкан. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 136 с. – (Биологические проблемы Севера).
5. *Добровольская, Т.Г.* Структура бактериальных сообществ почв [Текст] / Т.Г. Добровольская. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 282 с.
6. *Зонн, С.В.* Почвы как компонент лесного биогеоценоза [Текст] / С.В. Зонн // Основы лесной биогеоценологии. – М.: Изд-во АН СССР, 1964. – С. 372–454.
7. *Марфенина, О.Е.* Антропогенная экология почвенных грибов [Текст] / О.Е. Марфенина. – М.: Медицина для всех, 2005. – 196 с.
8. *Мирчинк, Т.Г.* Почвенная микология [Текст] / Т.Г. Мирчинк. – М.: МГУ, 1976. – 206 с.
9. Посттехногенные экосистемы Севера [Текст]. – СПб.: Наука, 2002. – 159 с.
10. *Стенина, Т.А.* Микробиологическая характеристика некоторых почв Коми АССР [Текст] / Т.А. Стенина // Изв. Коми филиала Всесоюз. геогр. общ-ва. – Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1964. – № 9. – С. 38–48.
11. *Хабибуллина, Ф.М.* Почвенные микромицеты ельника чернично-зеленомошного средней тайги [Текст] / Ф.М. Хабибуллина // Лесоведение. – 2001. – № 1. – С. 43–48.
12. *Частухин, В.Я.* Биологический распад и ресинтез органических веществ в природе [Текст] / В.Я. Частухин. – Л., 1969. – 326 с.
13. *Harrison, A.F.* The inhibitory effect of oak leaf litter lannins on the growth of fungi, in relation to litter decomposition [Text] / A.F. Harrison // Soil Biol. and Biochem. – 1971. – 3. – P. 167–172.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Поступила 29.05.06

F.M. Khabibullina, T.A. Tvorozhnikova

Role of Micromycets in Transformation of Plant Residues in Bilberry-moss Spruce Forests of Middle Taiga

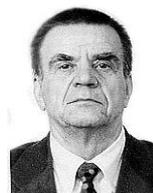
Qualitative characteristics of micobiota are studied as well as its quantitative parameters in the plant waste and organogenic horizon of podzolic soils in green-moss forests of the middle taiga subzone. The micobiota composition dynamics as well as general fungi population are established in the course of waste mineralization.



УДК 630*3

С.М. Базаров, В.Д. Валяжонков

Базаров Сергей Михайлович родился в 1938 г., окончил в 1960 г. Высшее военноморское инженерное училище, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет 112 печатных работ по механике древесной среды, процессам обезвоживания – пропитки материала древесины силовыми полями различной физической природы.



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



РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ ЦИКЛОВ И ПОЛУЦИКЛОВ В ТЕХНОПРИРОДОГЕНЕЗЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК

Дан анализ развития лесных технологий и производств как группы путей в информационно-физическом пространстве на основе использования принципа симметрии. Представлен класс аналитических функций, описывающих гармонизированные траектории эволюции и инволюции, носящие кардиоидный характер. Это позволяет по начальной стадии развития определять будущие эволюции – инволюции.

Ключевые слова: циклы, информационно-физическое пространство, инвариант, биотехногенная система, гармония, лесопромышленный комплекс.

Лесопромышленный комплекс (ЛПК) представляет собой биотехногенную систему с большим числом степеней свободы, в которой биогенная и техногенная подсистемы подчиняются основному принципу: от простого к сложному. Теория развития базируется на теории инвариантов. В качестве инварианта особую роль играет принцип симметрии. В основе развития системы лежит группа путей ее движения в информационно-физическом пространстве: в физическом находится движение структуры, в информационном – ее целевая функция.

ЛПК можно рассматривать как единый организм, состоящий из взаимосвязанных и взаимодополняющих органов. Поэтому становится актуальным и перспективным раскрытие законов его развития путем построения с единых позиций вполне понятного и определенного класса аналитических функций (вместо большого числа не связанных друг с другом уравнений регрессии).

Внутренняя связность элементов системы, погруженных в пространство, и само пространство формируют симметрию образующихся форм структуры развивающейся системы, ее устойчивость и гармоничность путей эволюции – инволюции [2].

Для замкнутых систем действует принцип стремления к устойчивому равновесию, в соответствии с которым система постоянно переходит от менее к более устойчивому.

Классическая механика, описывающая движение частиц в пространстве и времени, основывается на принципе наименьшего действия. В биомире на этот принцип накладывают цель, которую ставят перед ним. Биосистемы находятся в состоянии гомеостаза, которое характеризуется пространственно-временной решеткой, образующей структуру, а цель заключается в развитии в условиях непрерывно изменяющейся окружающей среды.

Наличие противоречий в техноприродной системе ставит задачу поиска гармонических путей эволюции. Гармония возникает там, где есть противоречия, она призвана разрешить их без разрушения системы.

Известно, что основным принципом самоорганизации системы является оптимизация по целевой функции и стабилизирующее развитие через состояние резонанса в самой универсальной форме. Оптимальные параметры самоорганизующейся системы лежат между крайними значениями, определяющими ее существование (организация – хаос, жизнь – смерть, начало – конец, эволюция – инволюция и т. д.) и приводящими к представлению о циклическом развитии.

Важная задача развития систем – совмещение дискретности экстремумов и непрерывности пути. Она решается при допущении цикличности как неизменного элемента развития систем.

Одним из геометрических образов, сочетающих дискретность и непрерывность, являются винтовые линии, которые образуются в результате суперпозиционного движения вращения и поступательного перемещения.

Группа движения в пространстве складывается из вращений и трансляций. Развитие системы удобно рассматривать в фазовом пространстве. Фазу определяют внутренним временем (периодом), которое имеет начало и конец. Цикл развития, в свою очередь, характеризуют полуциклами эволюции и инволюции.

Таким образом, развитие ЛПК можно рассматривать как траекторию движения в информационно-физическом пространстве. При этом возникают две задачи: прямая, при которой формулируют законы эволюции – инволюции; и обратная, при которой по этим законам выстраивают представление о развитии во времени.

При построении математической модели циклов и полуциклов рассмотрим фазовый портрет маятника. Общее уравнение можно записать в безразмерном виде [1]

$$\omega_0^{-2} d^2 \varphi / dt^2 + 4 \sin^2 (\varphi / 2) = E / E_0,$$

где φ – угол отклонения маятника от вертикальной оси;

ω – частота колебания, $\omega = d\varphi/dt$;

E – полная энергия маятника;

E_0 – кинетическая энергия, соответствующая собственной частоте колебания ω_0 .

Величину $4\sin^2(\varphi/2)$ рассмотрим как характерную высоту вертикального подъема маятника. Здесь следует различать три режима периодического движения.

Первый режим. Если $E/E_0 < 4$, то угол отклонения маятника максимален. Это означает, что имеет место колебательное движение между $-\varphi_m$ и φ_m .

Второй режим. Если $E/E_0 > 4$, то движение маятника вращательное с неравномерной скоростью: внизу максимальной, вверху минимальной.

Третий режим. Если $E/E_0 = 4$, то возникает солитонное движение, которое описывают формулой

$$\operatorname{tg}(\pi - \varphi)/4 = \exp(-\omega_0 t) .$$

Таким образом, фазовое движение описывают квадратом синуса, а сама фаза является экспоненциальной функцией времени.

Первые два режима представляют периодическое развитие, а третий – эволюцию, не достигающую предельного состояния (система экспоненциально приближается к асимптотике).

Дискретный и непрерывный характер движения развития систем объединяют представлением трехмерной спирали, выстраиваемой в координатном пространстве (R, φ, t) . Напомним характерные алгебраические спирали в виде радиус-вектора (R) на фазовой плоскости (R, φ) : архимедова – $R = \varphi$; галилеева – $R = \varphi^2$; гиперболическая – $R = \varphi^{-1}$; ферма-спираль – $R = \varphi^{1/2}$. Эти спирали можно обобщить полиспиралью

$$R = \varphi^n .$$

Представив информационный параметр развития I в виде радиус-вектора в фазовой плоскости (I, φ) , можно записать обобщенную формулу для циклов в виде деформируемой кардиоиды:

$$I = 2\varphi^n \sin^2\varphi = \varphi^n (1 - \cos 2\varphi) .$$

Введем в рассмотрение трехмерное информационно-физическое пространство: параметр развития I , внешнее время t и фазу развития $\varphi = \omega t$, $\omega = 2\pi/T$ (T – период развития). Фаза развития является характеристикой внутреннего времени протекания процесса. Цикл развития определяется временем эволюции T_3 и инволюции T_n , а время цикла развития $T_{\text{ц}}$ является их суммой: $T_{\text{ц}} = T_3 + T_n$.

Здесь информационную нагрузку несет параметр развития, а физическую – время. Законы развития построим как группу путей в цилиндриче-

ской системе координат: t – ось времени протекания, I – радиус, φ – угол поворота вокруг оси времени t (внутреннее время).

При этом развитие информации представляет собой винтовую линию, поэтому класс функций, описывающих группу путей винтового движения, будет характеризовать форму законов развития систем, несущих различное информационное содержание.

Известно, что образующими цилиндра являются окружность постоянного радиуса и прямая. Винтовое движение точки можно представить как суперпозицию:

вращательного

$$I = 2R\sin^2\varphi = R(1 - \cos 2\varphi);$$

поступательного

$$Z = t.$$

Здесь время эволюции $T_э$ и инволюции $T_и$ совпадает ($T_э = T_и$):

$$I_э = R(1 - \cos 2\varphi), \quad 0 \leq \varphi \leq \pi/2; \quad \varphi = \frac{2\pi t}{T};$$

$$I_и = R(1 - \cos 2\varphi), \quad \pi/2 \leq \varphi \leq \pi.$$

Если $T_э$ и $T_и$ не совпадают, то условию плавного перехода вершины эволюции к началу инволюции отвечает равенство

$$\frac{R_э}{T_э} = \frac{R_и}{T_и}; \quad R_э\omega_э = R_и\omega_и$$

или

$$\frac{R_э}{R_и} = \frac{T_э}{T_и} = \alpha; \quad T_э + T_и = T_ц,$$

откуда

$$T_э = \alpha T_и; \quad T_и = \frac{T_э}{\alpha}$$

и

$$T_ц = (\alpha + 1) T_и = \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) T_э,$$

где α – параметр асимметрии путей эволюции и инволюции.

В этих условиях цикл эволюции – инволюции описывают формулами:

для эволюции

$$I_э = R(1 - \cos 4\pi t/T_э),$$

для инволюции

$$I_и = R(1 - \cos 4\pi t/T_и).$$

С учетом ранее принятого представления R получаем:

$$I = \varphi^n(1 - \cos 4\pi t/T_э);$$

$$I_э = \varphi^n(1 - \cos 4\pi t/T_э);$$

$$I_и = \varphi^n(1 - \cos 4\pi t/T_и).$$

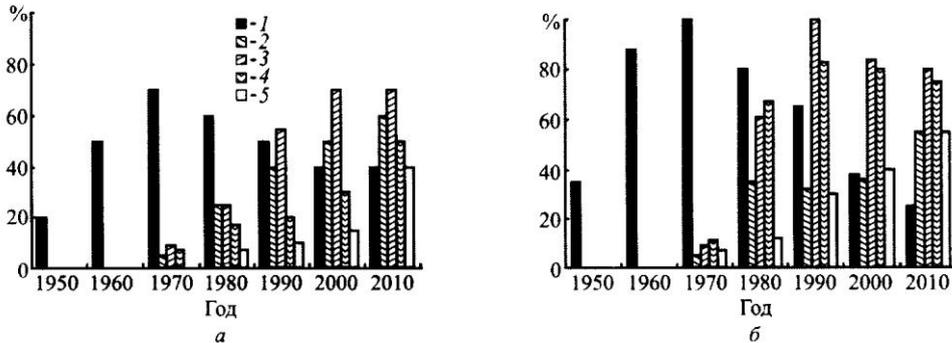


Рис. 1. Тенденция развития механизации лесозаготовок в России (а) и Скандинавских странах (б) на период до 2010 г.: 1 – цепная пила; 2 – механизированная валка; 3 – механизированная обрезка сучьев; 4 – механизированная раскряжевка; 5 – переработка в щепу

По данным рис. 1 построена фазовая диаграмма развития симметричности эволюции и инволюции лесных технологий в России и Скандинавских странах (рис. 2).

На рис. 3, а показаны циклы, у которых время эволюции больше времени инволюции; на рис. 3, б – циклы, для которых время эволюции меньше времени инволюции. В последнем случае циклы можно описать симметричной формулой

$$I = (\pi - \varphi)^n [1 - \cos 2(\pi - \varphi)].$$

В экстремальной точке цикл

$$dI/d\varphi = 0,$$

происходит переход от эволюции к инволюции (или наоборот), это условие позволяет определить значение экстремальной фазы при $T_3 > T_{II}$:

$$2\varphi \operatorname{ctg} \varphi = -n,$$

и при $T_3 < T_{II}$:

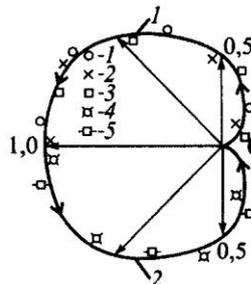
$$2(\pi - \varphi) \operatorname{ctg} (\pi - \varphi) = n.$$

В общем случае на траекторию гармонического пути развития могут накладываться так называемые конъюнктурные волны, способные колебать саму траекторию. При этом анализ развития возможен с использованием формулы

$$I = [1 + \sum a_i \sin(\omega_i t + \varphi_{0i})] \varphi^n (1 - \cos 2\varphi),$$

где амплитуда колебания $a \ll 1$.

Рис. 2. Фазовая диаграмма симметричности эволюции (I) и инволюции (II) технологий лесозаготовительного процесса: 1 – механизированная валка (Россия); 2 – механизированная раскряжевка (Скандинавия); 3 – переработка в щепу (Скандинавия); 4 – вывозка на лошадях; 5 – сплав по рекам



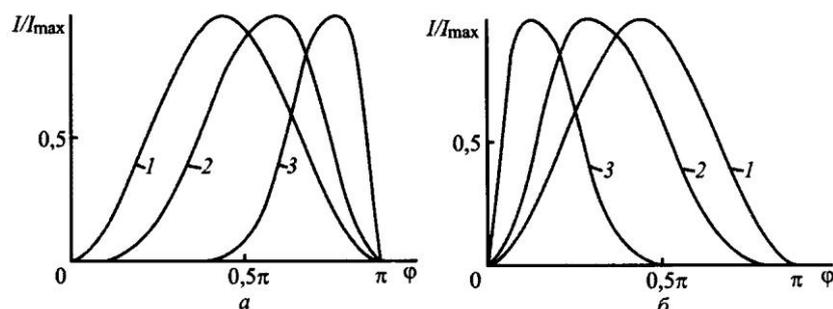


Рис. 3. Циклы развития при $T_3 > T_n$ (а) и $T_3 < T_n$ (б): 1 – $n = 0$; 2 – $n = 2$; 3 – $n = 8$

Представленный принцип развития лесных технологий и производств как группы путей в информационно-физическом пространстве позволяет естественным образом выстроить гармонизированный характер траектории при наличии множества факторов, среди которых могут быть и исключающие друг друга. Данный подход (как принцип симметрии) отличается от вариационного (оптимального), согласно которому выстраивается функциональная экстремизация системы по нескольким, достаточно ограниченным и предпочтительным, факторам из их большого множества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов, А.Т. Многоликий солитон [Текст] / А.Т. Филиппов. – М., 1986. – 224 с.
2. Шифрановский, И.И. Симметрия в природе [Текст] / И.И. Шифрановский. – Л., 1968. – 184 с.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 25.05.05

S.M. Bazarov, V.D. Valyazhonkov

Development of Cycles and Semi-cycles Theory in Techno- and Naturegenesis for Different Technological Processes in Forest Harvesting

The analysis of forest technologies and productions development is provided as a path group in the information-and-physical space based on the use of the symmetry principle. The analytic functions class describing the harmonized trajectories of evolution and involution bearing the cardioid character is presented. It allows to determine future evolutions and involutions based on the starting stage of development.

УДК 625.711.84

Ф.А. Павлов, Т.В. Чельшева

Павлов Фридрих Алексеевич родился в 1934 г., окончил в 1957 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник по специальности «Автомобильные дороги», профессор кафедры промышленного транспорта Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН, изобретатель СССР, заслуженный работник лесной промышленности РФ. Имеет около 100 печатных работ по проблемам создания эффективной лесотранспортной сети, ленточных дорожных покрытий.



Чельшева Татьяна Валерьевна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного транспорта АГТУ. Имеет 10 печатных работ в области исследования процесса пылеобразования на гравийных (щебеночных) дорогах.

**ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ ОТТАЯВШИМ ВЕСНОЙ СЛОЕМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

На основе теории упругости проанализирована роль слабого промежуточного слоя в деформировании дорожных конструкций.

Ключевые слова: осадка, деформирование, прочность, прослойка, Пуассон, модуль упругости, покрытие, основание, интегрирование, устойчивость, отпечаток.

В весенний период часто наблюдаются последствия морозного пучения грунтов, которые, как правило, промерзают глубоко. Непрочное земляное полотно вследствие образования ледяных прослоек зимой неравномерно поднимается. Весной дорожная одежда вместе с земляным полотном оттаивает. В этот период насыщенные водой грунты имеют слабую прочность, и под воздействием тяжелых грузовых автомобилей дорожная одежда разрушается. На асфальтобетонных покрытиях образуются трещины и ступени. Поэтому в наиболее неблагоприятный (весенний) период года необходимо вести наблюдение за дорогой и при необходимости ограничивать движение транспортных средств. Важно знать, в какое время под дорожной одеждой возникает слой разуплотненного грунта и как долго он сохраняется в полотне.

Для выяснения сущности данного вопроса рассмотрим конструкцию дорожной одежды при появлении весной оттаявшего слоя основания, разрез которой схематично показан на рис. 1, а.

Образующаяся прослойка часто представляет собой переувлажненный грунт или сырой гравийно-песчаный материал. Отвод воды от нее ограничен. Возникает своеобразный вариант дорожной одежды со слабым слоем внутри, так как прочное покрытие не покоится на мерзлом грунте.

При наличии слабого слоя внутри конструкции невозможно оценить ее прочность обычным методом через эквивалентный модуль упругости.

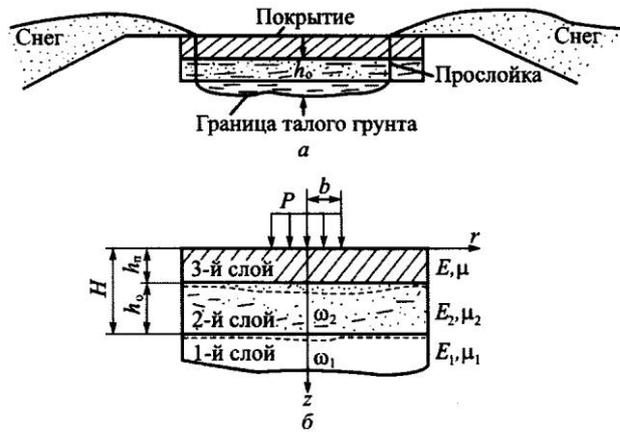


Рис. 1. Разрез дорожной одежды при наличии оттаявшего основания

Необходимо знать деформации отдельных слоев конструкции, которые можно определить расчетом трехслойной системы методами теории упругости.

Действующие вертикальные напряжения вызывают осадку отдельных слоев дорожной одежды в соответствии с их жесткостью и местом расположения относительно точки приложения сил. На деформацию поверхности покрытия влияют главным образом размеры и свойства прослойки. Однако устойчивость одежды зависит и от деформируемости первого слоя, принимаемого обычно при трехслойной системе за бесконечное полупространство.

Для установления роли прослойки необходимо вычислить осадки на контакте первого и второго, а также третьего и второго слоев (ω_1 и ω_2 на рис. 1, б). Упругие деформации под центром отпечатка колеса автомобиля, в соответствии с рис. 1, б, определяют по формулам зависимости [3]

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= -\frac{1 + \mu_1}{E_1 H^2} \int_0^\infty \{A + B[2(1 - \mu_1)]\} e^{-\alpha \eta} \alpha^2 d\alpha. \\ \omega_2 &= -\frac{1 + \mu_2}{E_2 H^2} \int_0^\infty \left\{ A + B[2(1 - \mu_2) + \alpha(\eta - 1)] - C_2[(1 - 2\mu_2)(1 - e^{-2\alpha(1-\eta)}) - \right. \\ &\quad \left. - \alpha(1 - \eta)(1 + e^{-2\alpha(1-\eta)})] + D_2[2(1 - \mu_2)(1 + e^{-2\alpha(1-\eta)}) - \right. \\ &\quad \left. - \alpha(1 - \eta)(1 - e^{-2\alpha(1-\eta)})] \right\} e^{-\alpha \eta} \alpha^2 d\alpha, \end{aligned} \right\} (1)$$

где E_1, E_2 – модули упругости слоев, МПа;
 μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона;
 H – общая толщина дорожной одежды, м;
 α – параметр интегрирования;

η – коэффициент, зависящий от места расположения слоя,

$$\eta = \frac{z}{H};$$

z – координата, м;

h_n – толщина покрытия, м;

A, B, C_2, D_2 – сложные функции от α , которые могут быть найдены из граничных условий.

Функции C_2, D_2 связаны с A и B цепными зависимостями. Коэффициенты C_2 и D_2 выражают через A и B следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} C_2 &= \frac{1}{4}(\lambda A - \nu B); \\ D_2 &= \frac{1}{4}[\lambda A + 2(m_2 - 1)B]; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где m_2, λ, ν – параметры, зависящие от упругих характеристик первого и второго слоев:

$$m_2 = \frac{E_2}{E_1} \frac{1 - \mu_1^2}{1 - \mu_2^2}; \quad \lambda = \frac{m_2}{1 - \mu_1} - \frac{1}{1 - \mu_2}; \quad \nu = \frac{m_2(1 - 2\mu_1)}{1 - \mu_1} - \frac{1 - 2\mu_2}{1 - \mu_2}.$$

Представим нагрузки на поверхности в виде интегралов Фурье–Бесселя и выразим функции A, B, C_2 и D_2 в масштабе $-\frac{P\beta H^3}{\alpha^3} I_1(\alpha\beta)$, где β – удельное давление на поверхности, $\beta = b/H$ (b – радиус отпечатка колеса, м); P – нормальная распределенная нагрузка.

В результате получим следующие выражения для расчета ω_1 и ω_2 [2]:

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \frac{(1 + \mu_1)P\beta H}{E_1} \int_0^\infty \{A + B[2(1 - \mu_1)]\} e^{-\alpha\eta} \frac{1}{\alpha} I_1(\alpha\beta) d\alpha; \\ \omega_2 &= \frac{(1 + \mu_2)P\beta H}{E_2} \int_0^\infty \{A + B[2(1 - \mu_2) + \alpha(\eta - 1)] - \\ &\quad - C_2[(1 - 2\mu_2)(1 - e^{-2\alpha(1-\eta)}) - \alpha(1 - \eta)(1 + e^{-2\alpha(1-\eta)})] + \\ &\quad + D_2[2(1 - \mu_2)(1 + e^{-2\alpha(1-\eta)}) - \alpha(1 - \eta)(1 - e^{-2\alpha(1-\eta)})]\} e^{-\alpha\eta} \frac{1}{\alpha} I_1(\alpha\beta) d\alpha. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Вычисление осадок ω_1 и ω_2 под центром отпечатка колеса по формулам (3) выполняли численным интегрированием по формуле Симпсона. Рассмотрено пять вариантов дорожной конструкции с параметрами слоев, приведенными в табл. 1. Нормальные нагрузки соответствуют давлению от заднего колеса автомобиля МАЗ-5434 и составляют 0,55 МПа, диаметр отпечатка колеса (D) равен 37 см. Верхний слой дорожной одежды выполнен из асфальтобетона с модулем упругости 600 МПа. Модуль упругости грунта

Таблица 1

№ варианта	h_o , см	H , см	h_o/h_n	β	z , см	η
1	30	43	2,31	0,4302	5	0,1163
					9	0,2093
					13	0,3023
2	20	33	1,54	0,5606	5	0,1515
					9	0,2727
					13	0,3939
3	13	26	1,00	0,7115	5	0,1923
					9	0,3461
					13	0,5000
4	7	20	0,54	0,9250	5	0,2500
					9	0,4500
					13	0,6500
5	2	15	0,15	1,2333	5	0,3333
					9	0,6000
					13	0,8667

земляного полотна принят $E_1 = 600$ МПа, прослойки $E_2 = 87$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu_1 = 0,36$, $\mu_2 = 0,11$; толщина покрытия $h_n = 13$ см; толщина прослойки $h_o = 2 \dots 30$ см.

Результаты расчета ω приведены в табл. 2.

Таблица 2

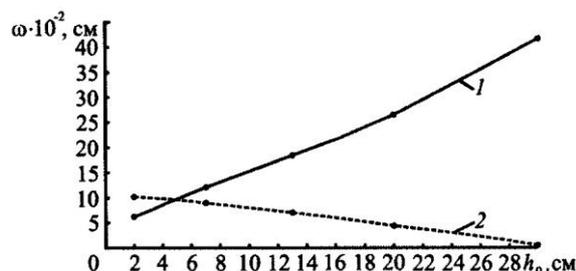
№ варианта	h_o , см	H , см	$\omega_1 \cdot 10^{-2}$, см	$\omega_2 \cdot 10^{-2}$, см	$(\omega_2 - \omega_1) \cdot 10^{-2}$, см
1	2	15	10,25	6,23	-4,02
2	7	20	9,01	12,03	3,02
3	13	26	7,09	18,52	11,43
4	20	33	4,50	26,63	22,13
5	30	43	0,45	41,64	41,19

Разность $\omega_2 - \omega_1$ в табл. 2 представляет собой осадку покрытия за счет деформирования оттаявшего промежуточного слоя. При одной и той же толщине покрытия с увеличением толщины прослойки осадка постели верхнего слоя увеличивается. На рис. 2 представлена установленная расчетом зависимость ω от толщины прослойки h_o .

Несмотря на то, что прослойка имеет слабую прочность ($E_2 = 87$ МПа), с увеличением h_o осадка ω_1 уменьшается; деформация ω_2 , характеризующая прогиб верхнего слоя, возрастает.

Согласно исследованиям проф. А.К. Бирули [1], предельные относительные деформации для асфальтобетонных покрытий составляют $\lambda = 0,035$. Поэтому для выбранной конструкции дорожной одежды осадка должна составлять $\omega = \lambda D = 0,035 \cdot 370 = 12,95$ мм.

Рис. 2. График зависимости ω от h_0 : 1 – ω_2 ; 2 – ω_1



Из табл. 2 видно, что при толщине прослойки $h_0 > 15$ см осадки выше допустимых. Поэтому с увеличением толщины прослойки дорога начнет интенсивно разрушаться, и ее на время следует закрыть, пока не будет обеспечен оптимальный водно-тепловой режим дорожного массива.

При расчете деформаций дорожной одежды с оттаявшим слоем основания использован только метод теории упругости. Наличие пластических деформаций в талом слое, отжатие влаги и уплотнение грунта будут несколько искажать общую картину деформирования одежды. Однако при обжатой прослойке (без выхода воды в стороны) полученные результаты позволяют качественно оценить деформирование дорожных конструкций, ослабленных в весенний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бируля, А.К. Проектирование автомобильных дорог [Текст]. Ч. 1 / А.К. Бируля. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 500 с.
2. Павлов, Ф.А. Расчет деформаций дорожной одежды в период оттаивания основания [Текст] / Ф.А. Павлов // Сб. тр. СевНИИП. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1970. – Вып. 2. – С. 18–23.
3. Туроверов, К.К. К вопросу исследования напряженного и деформируемого состояния упругого слоистого полупространства [Текст] / К.К. Туроверов // Науч. тр. ЛТА. – 1962. – № 94.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 21.01.05

F.A. Pavlov, T.V. Chelysheva

Road Base Strength Assessment Weakened by Road Bed Layer Thawed in Spring

The role of weak intermediate layer in the road structure deformation is analyzed based on the elasticity theory.

УДК 630*375.5:658.58

В.С. Сюнев, А.П. Соколов, В.М. Солнышков

Сюнев Владимир Сергеевич родился в 1957 г., окончил в 1980 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тяговых машин ПетрГУ. Имеет более 80 печатных работ в области технологии лесосечных работ, проектирования лесных машин и оборудования, информатизации лесного комплекса.



Соколов Антон Павлович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин ПетрГУ. Имеет более 30 печатных работ в области информатизации лесного комплекса.



Солнышков Виктор Михайлович родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук. Имеет около 10 печатных работ в области технического обслуживания и ремонта автомобилей, информатизации лесного комплекса.



О НОВЫХ МЕТОДАХ, ПОВЫШАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрены метод назначения технического обслуживания и ремонта машин с применением геоинформационных технологий и реализующая его информационно-аналитическая система.

Ключевые слова: лесовозный автомобиль, техническое обслуживание.

В настоящее время лесной сектор сохраняет одно из лидирующих положений в экономике России. В лесозаготовительном процессе определяющую роль играет вывозка древесины автомобильным транспортом, поэтому очень важно поддерживать лесовозную технику в надлежащем состоянии, повышать ее эксплуатационную надежность.

Опыт последних лет показывает, что значительное время машины простаивают в неработоспособном состоянии в ходе технического обслуживания (ТО) и устранения отказов, при этом расходуется много средств на запасные части. Кроме того, ухудшение технического состояния лесовозной машины является основанием для направления ее в капитальный ремонт (Р), хотя ресурс работоспособности отдельных агрегатов и узлов полностью не исчерпан. Следовательно, существующая система ТО и Р машин требует значительного совершенствования.

Необходимо разработать новые методики назначения режимов ТО и Р, учитывающие особенности эксплуатации машин в конкретных природно-производственных условиях. На современном уровне эта задача может быть решена с использованием новых информационных технологий, методов математического моделирования и оптимизации.

Вместе с тем эксплуатация техники в лесном секторе, несмотря на принятые меры по повышению надежности как новых, так и отремонтированных машин, сопровождается, с одной стороны, большими простоями из-за неисправностей, а с другой – преждевременным ремонтом с полной разборкой значительного количества машин и их агрегатов. Это обуславливает значительные расходы средств на техническое обслуживание и ремонт машинно-тракторного парка.

Для решения этих и других проблем эксплуатации лесовозной техники необходимо проводить большой комплекс работ. Особое место занимают вопросы оптимального управления надежностью машин. В качестве основных управляющих показателей выступают технические требования на обслуживание и ремонт, определяющие состояние деталей, сопряжений, узлов, агрегатов и машин в целом, а также периодичность их контроля. Сужая или расширяя диапазон допускаемых значений параметров межконтрольного периода, можно управлять износным состоянием лесовозных машин, прогнозируя безотказность, долговечность, межремонтный ресурс, расход запасных частей, эксплуатационные затраты на лесовозные машины.

До настоящего времени не разработаны методы прогнозирования состояния лесовозной техники с оптимизацией ее эксплуатационных показателей на основе новых компьютерных технологий. Не обобщены исследования влияния ряда основных факторов на реальный процесс изменения параметра технического состояния лесовозной машины. Нет обоснованных правил и приемов прогнозирования применительно к техническому состоянию лесовозных машин, эксплуатируемых в конкретных условиях.

В настоящее время предложен ряд способов выбора технического обслуживания. При этом в основном используют методы определения периодичности ТО: по вероятности исправного состояния, с учетом производительности, по параметру технического состояния, метод статистических испытаний и др. [2].

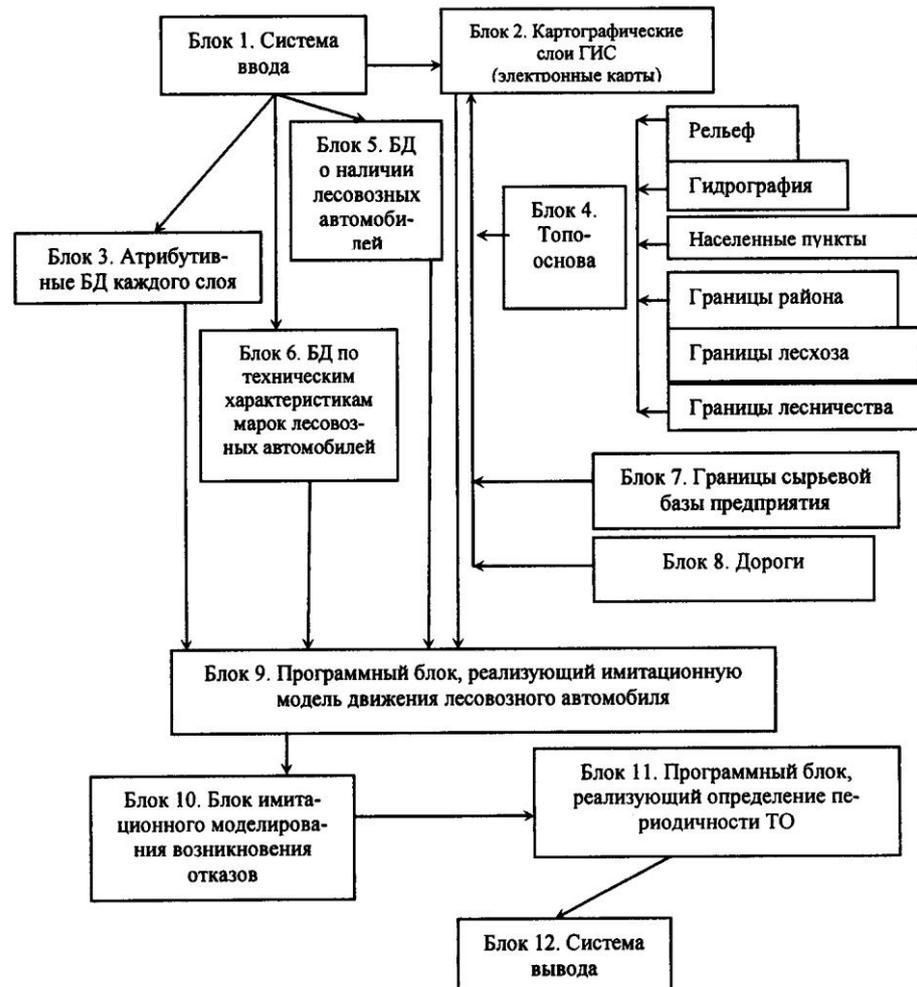
Наиболее адекватным и полно отвечающим модели эксплуатации лесовозного автомобиля считается метод имитационного математического моделирования процессов функционирования с отображением возможных аспектов и режимов эксплуатации техники посредством проигрывания ситуаций на компьютере [3, 4]. Однако в настоящее время он недостаточно отработан для прикладного использования.

В связи с необходимостью увеличения производительности ЛЗП и облегчения выбора режимов ТО нами разработана и создана информационно-аналитическая автоматизированная система (ИААС) «АРМ инженера лесозаготовительного предприятия «Выбор периодичности ТО», позволяющая научно обосновать и значительно упростить процесс выбора периодич-

ности ТО. Поскольку предметом труда является лес, запасы которого распределены на значительных площадях, применение геоинформационных систем (ГИС) наиболее актуально, так как с их помощью можно быстро и точно собирать и анализировать большой объем пространственных данных с высокой периодичностью [1, 3].

Разработанная методика реализована в виде программного обеспечения информационно-аналитической ГИС «Периодичность ТО», выполненной в среде MapInfo на языке MapBasic. Система имеет следующие компоненты (см. рисунок):

система ввода (блок 1) – программное обеспечение получения данных, источниками которых являются сведения о лесозаготовительном предприятии. В подмену *Добавить*, *Изменить*, *Удалить* можно редактировать базы данных по лесовозным автомобилям, а также



Компоненты информационно-аналитической ГИС

карты районов, в которых предполагается движение лесовозной техники;

графическая и тематическая базы данных (блоки 2–8) – наборы (файлы) данных, хранящиеся на магнитных носителях. В графических базах хранят топологическую основу, в тематических – нагрузку карты и данные о лесовозных автомобилях и дорогах предприятия. Они относятся к пространственным, но не могут быть непосредственно нанесены на карту (описания территорий и объектов);

система визуализации – программное обеспечение вывода на монитор имеющейся информации в виде карт, таблиц, схем и т. д. происходит в среде MapInfo;

программный блок, реализующий имитационную модель движения лесовозного автомобиля (блок 9). Для имитационной модели движения лесовозного автомобиля используют программу на языке MapBasic. Производят расчет движения лесовозного автомобиля по маршруту. Программа автоматически считывает данные из таблиц;

блок имитационного моделирования возникновения отказов (блок 10);

программный блок, реализующий определение периодичности ТО (блок 11);

система вывода (блок 12) – программное обеспечение представления результатов работы в виде, удобном для пользователя. Они могут быть выведены на монитор, распечатаны на принтере, плоттере, записаны на магнитных носителях или отправлены по сети во внешние компьютерные системы.

Таким образом, созданная ИААС основана на имитационной модели движения лесовозного автомобиля по дорогам в конкретных условиях производственной базы ЛЗП и математической модели, связывающей режим эксплуатации с процессом возникновения отказов. Имитационное моделирование позволяет прогнозировать надежность лесовозных автомобилей на необходимый срок эксплуатации, не расходуя значительных средств на проведение эксперимента, а периодичность ТО и Р лесовозных автомобилей целесообразно устанавливать автоматизированно на основе использования ГИС-технологий, так как их применение позволяет учесть рельеф местности, характер и тип дорог, уклоны, климатические условия и другие факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов, Ю. Ю. Информатизация лесного комплекса: обработка и анализ растровых изображений в геоинформационных системах [Текст]: учеб. пособие / Ю.Ю. Герасимов, С.А. Кильпеляйнен, М.А. Мазуркевич, А.П. Соколов; ПетрГУ. – Петрозаводск, 2001. – 236 с.

2. *Кузнецов, Е.С.* Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учеб. для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 431 с.

3. *Солнышков, В.М.* Повышение эффективности эксплуатации лесотранспортных машин с использованием ГИС-технологий [Текст] / В.М. Солнышков // Тр. лесотехн. ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 2003. – Вып. 4. – С. 128–130.

4. *Сюнев, В.С.* Имитационное моделирование как средство поддержания системы принятия решений в области лесных технологий и машин [Текст] / В.С. Сюнев; Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск, 1998. – 69 с. – Деп. в ВИНТИ 04.08.98, № 2509-B98.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 22.10.04

V.S. Siounev, A.P. Sokolov, V.M. Solnyshkov

**On New Methods for Efficiency Increase of Maintenance Service
of Timber Trucks Based on GIS Technologies**

The method for technical service and repair of timber trucks based on GIS technologies and information-analytical system realizing it is considered.

УДК 624.21:691.16

В.П. Стуков

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства верфи филиала Севмашвуз С.-Петербургского государственного морского технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный дорожник РФ. Имеет более 80 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.



КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА С ДЕРЕВОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ БАЛКАМИ

С помощью системотехнического метода проектирования мостов рассмотрена конструктивно-технологическая система пролетного строения как совокупность оптимальных решений подсистем и связей между ними, что способствует успешному внедрению КТС в производство.

Ключевые слова: системотехнический метод проектирования, конструктивно-технологическая система, деревожелезобетонное пролетное строение.

Последняя четверть XX в., как отмечает С. Р. Владимирский [2], характеризуется зарождением системотехнического периода развития мостостроения, в рамках которого создается системотехническое проектирование.

Целью работы является проектирование конструктивно-технологической системы (КТС) пролетного строения моста с деревожелезобетонными балками. Необходимо в первую очередь обратиться к ее трактовке в системотехническом проектировании [1–5].

КТС является частным случаем или подсистемой рассматриваемой системы (моста):

$$КТС = \{C, П, O, P\},$$

где C – множество целей КТС;

$П = \{K, B, T, M\}$ – множество подсистем КТС, в котором K, B, T, M – соответственно множества элементов подсистем: основная конструкция (ОК), вспомогательная конструкция (ВК), технология производства (ТП), механизация (М);

$O = \{O_i\}$ – множество операторов соответствия;

$P = \{P_j\}$ – множество параметров КТС.

Из определения КТС возможна многовариантность решений системы. Поскольку существует противоречивость частных функций цели, каждая из которых связана с



Рис. 1. Схема формирования множества вариантов КТС пролетного строения

одним из принятых критериев эффективности, можно говорить лишь о ряде эффективных решений (оптимуме по Парето). При оптимизации КТС, конструктивных и технологических подсистем используют различные подходы, что определяет принципиальную трудность согласования параметров ОК, ВК, ТП, М в рамках единой задачи оптимального проектирования.

В целях совершенствования КТС прежде всего разрабатывают схему формирования множества вариантов пролетного строения с деревожелезобетонными балками (рис. 1) [6]. Составляют варианты, которые включают следующие процедуры (рис. 2):

1 – определение оптимальных параметров КТС;

2 – формирование множества возможных вариантов соответственно основной конструкции пролетного строения (ОК); технологии изготовления и монтажа пролетного строения (ТП); вспомогательных конструкций (ВК); КТС;

3 – добавление нового варианта КТС в множество Ω ;

4 – проверка вариантов компонентов системы, на основании которых можно построить новый вариант КТС;

5 – определение показателей системы по вариантам.

В структурно-логической схеме на рис. 2 в блоках 1–5 заключены локальные рекурсивные процедуры. Циклы повторяются до тех пор, пока не будет полностью сформировано то или иное множество вариантов подсистем (ОК, ТП, КТС...).

Рассмотрим структурную модель КТС «Пролетное строение», представленную на рис. 3. В составе КТС выделены четыре подсистемы, определяющие ее макроструктуру.

Качество проектирования КТС зависит от ее схемы, статической системы, материала, геометрических размеров конструктивных элементов пролетного строения, решений технологии и механизации, других проектных решений. Эти признаки, получаемые на выходе процесса проектирования, называются параметрами проектируемого объекта.

На входе процесса проектирования КТС имеются требования к ее потребительским качествам (Кп), архитектурно-эстетические (Аэ), экологические (Эк), эксплуатационные (Эт), расчетно-конструктивные (Кт), технологические (Тт) и др. Требования Кп, Аэ, Эт, Тт формируются в основном в техническом задании, требования Эк, Кт изложены в нормах проектирования. Здесь же в исходных данных приводятся характеристики конструкционных материалов (Хм). Установлен ряд ограничений, часть из них – в нормах (по

Исходные данные

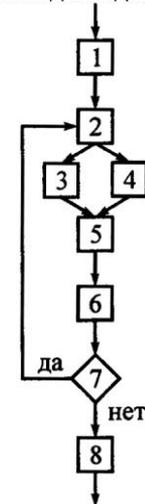


Рис. 2. Структурно-логическая схема прямого метода составления вариантов пролетного строения

прочности, деформативности, сечениям элементов и т. п.), а часть – в задании на проектирование (экономические (Эо) и ресурсные (Ро)).

Между подсистемами КТС существуют связи, по которым передается определенная информация о проектных решениях: основных конструкций (Кр); вспомогательных конструкций (Крв); технологические (Тр); по механизации (Мр), по организации строительства (Ор) и др.

Задача проектирования КТС состоит в поиске таких параметров, которые отвечали бы, с одной стороны, исходным требованиям к КТС, с другой – наилучшим показателям качества системы. Показатели качества КТС объединены в следующие группы: назначения (Пн); конструктивности (Пк); экономичности (Пэ); эстетичности (Пэс); эргономичности (Пэр); эксплуатационных качеств (Пэк); экологичности (Пэкол); организационных качеств (По); технологичности (Пт). Между входными факторами, параметрами проектных решений и показателями качества КТС имеют место функциональные зависимости. Развитие конструктивно-технологических систем предполагает как оптимизацию, так и совершенствование. Для выхода на

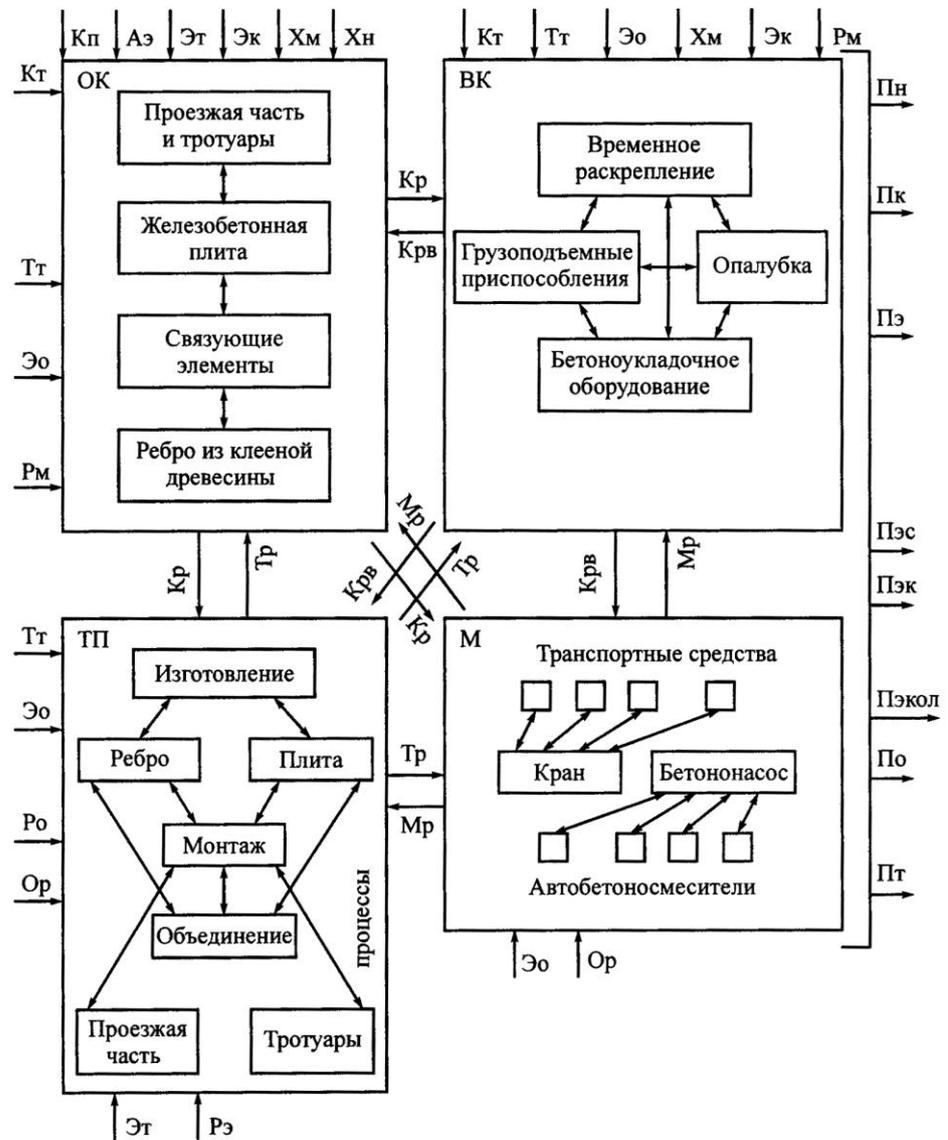


Рис. 3. Структурная модель КТС «Пролетное строение с деревожелезобетонными балками»

оптимальное проектирование представляет интерес совершенствование подсистем и КТС в целом. Следует максимально проработать подсистемы и связи между ними, что позволит уменьшить количество вариантов, входящих в множество и в конечном счете способствовать совершенствованию процесса оптимизации.

Таким образом, разработанная структурная модель КТС пролетного строения служит его совершенствованию в целях активного внедрения в современное отечественное мостостроение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирский, С.Р.* Системотехника мостостроения: методология и практические приложения [Текст] / С.Р. Владимирский. – СПб.: Питер, 1994. – 286 с.
2. *Владимирский, С.Р.* Современные методы проектирования мостов [Текст] / С.Р. Владимирский. – СПб.: Папирус, 1998. – 493 с.
3. *Гусаков, А.А.* Системотехника строительства [Текст] / А.А. Гусаков; РАН. Науч. совет по комплексной проблеме «Кибернетика». – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1993. – 368 с.
4. *Дружинин, В.В.* Системотехника [Текст] / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.
5. *Николаев, В.И.* Системотехника: методы и приложения [Текст] / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
6. *Стуков, В.П.* Совершенствование конструктивно-технологической системы пролетного строения моста с деревожелезобетонными балками [Текст] / В.П. Стуков // Лесн. журн. – 2004. – № 3. – С. 56–60. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Филиал Севмашвуз
С.-Петербургского государственного
морского технического университета

Поступила 26.10.04

V.P. Stukov

Design-technological System of Bridge Superstructure with Wood-Reinforced Concrete Composite Beams

With the help of system-engineering method of bridge design the design-technological system of bridge superstructure has been considered as the optimal solutions unity of subsystems and links among them that promotes the successful implementation of design-technological system into production.

УДК 630*361.0

Е.И. Платонов

СТАНОК ДЛЯ УДАРНОЙ ОКОРКИ БРЕВЕН С ПОПЕРЕЧНОЙ ПОДАЧЕЙ

Получены формулы, которые могут быть использованы в практических расчетах технологических параметров окорочных станков.

Ключевые слова: окорочный станок, рабочие секции, подающие цепи, бревна, окорочный барабан, била.

Целью настоящей работы является получение аналитических зависимостей, позволяющих определить параметры работы окорочных станков и их рабочих органов для обеспечения подачи и окорки бревен с отклонениями формы, которые могут быть использованы в практических расчетах технологических параметров станков.

Станки для ударной окорки с поперечной подачей при обратном вращении бревна могут найти применение для грубой окорки лесоматериалов, когда нет больших требований к чистоте окоренной поверхности. Они обладают высокой производительностью при сравнительно низкой металлоемкости.

Станок (рис. 1) состоит из подающего транспортера 8, расположенного в нижней части станка, и нескольких рабочих секций в верхней части, включающих окорочные устройства 6, механизм обратного вращения бревна 7, наклонные 2 и горизонтальные 1 зубчатые опорные рейки*. Окорочное устройство представляет собой барабан 5 с билами 3, закрепленными на барабане с помощью гибких тяг 4.

При движении цепей подающего транспортера 8 со скоростью V_T бревно подают в станок. Оно вращается сначала относительно неподвижных наклонных 2 и горизонтальных 1 реек, а затем относительно цепей механизма обратного вращения 7, которые движутся со скоростью V_0 , сообщая центру бревна скорость $V_{бр}$.

* Платонов, Е.И. Основы теории и расчета окорочных станков [Текст] / Е.И. Платонов. – Брянск: РИО БГИТА, 2001. – 182 с.

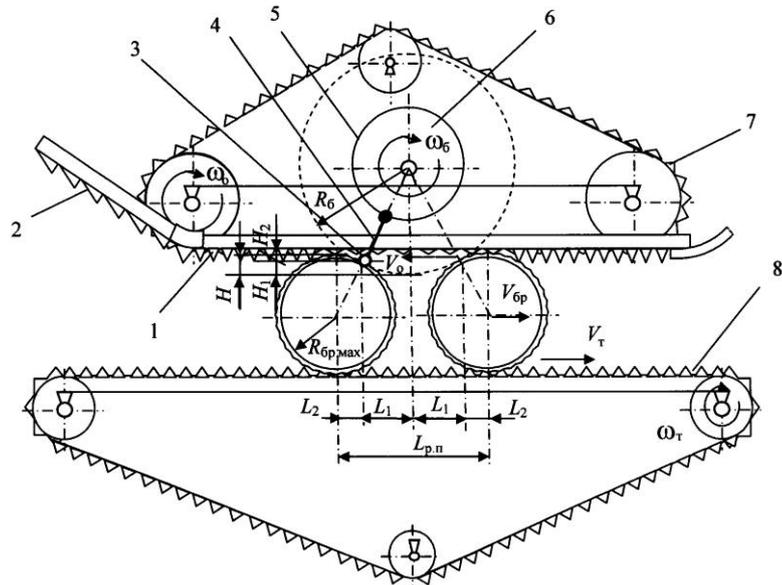


Рис. 1. Принципиальная схема станка для ударной окорки с поперечной подачей бревен

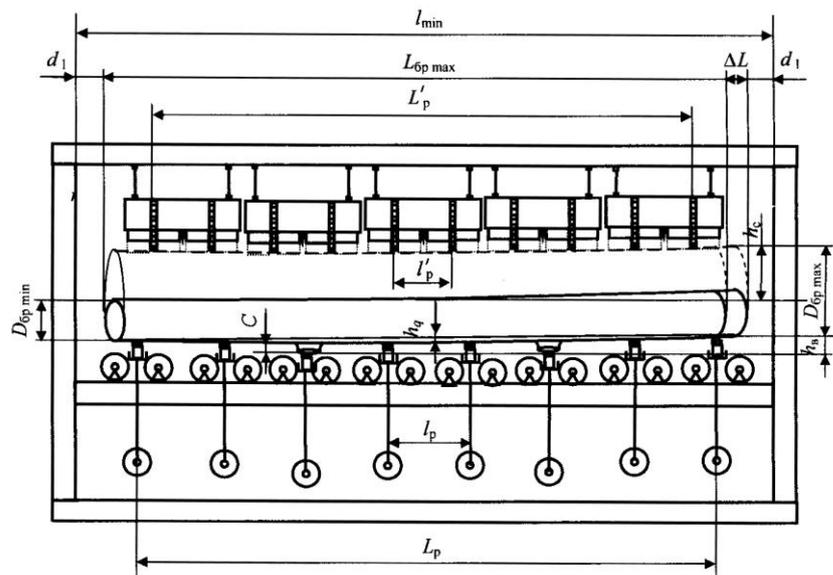


Рис. 2. Схема для расчета поперечных параметров станка

Окариваемое бревно при расчетах можно рассматривать как усеченный конус, имеющий поверхностные пороки в виде остатков сучьев и отклонения оси или поверхности бревна по прямой линии h_g вследствие кривизны q .

Для обеспечения подачи бревен с отклонениями формы подающие цепи должны иметь вертикальный ход, максимальное значение которого (h_b) находят по формуле (рис. 2)

$$h_b = qL_p - ql_p + C,$$

где L_p, l_p – расстояние соответственно между крайними и соседними рейками механизма подачи, м;

C – высота сучка, м.

Максимальный вертикальный ход рабочих секций (h_c) для обеспечения копирования неровностей составляет

$$h_c = qL'_p - ql'_p + C + D_{бр\ max} - D_{бр\ min},$$

где L'_p, l'_p – расстояние между рейками соответственно крайних секций и механизма вращения, м;

$D_{бр\ max}, D_{бр\ min}$ – максимальный и минимальный диаметр бревна, м.

Минимальный поперечный пролет портала станка (l_{min}) определяют по формуле

$$l_{min} = L_{бр\ max} + dL + 2d_1,$$

где $L_{бр\ max}$ – максимальная длина окариваемого бревна, м;

dL – осевое смещение бревна при вращении в станке, вследствие конусности формы, м;

d_1 – технологический зазор между торцами бревна и стойками для прохода бревна в воротах, м.

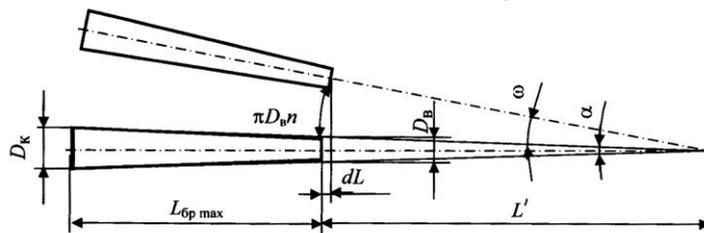


Рис. 3. Схема для определения осевого смещения бревен при их вращении

Осевое смещение бревна при вращении в станке, вследствие конусности формы, определяют по рис. 3. Угол α находят по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{D_k - D_b}{L_{бр\ max}},$$

где D_k, D_b – диаметр бревна в комлевой и вершинной части, м.

Длина воображаемой вершинной части конуса (L') составляет:

$$L' = \frac{D_b}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{L_{бр\ max} D_b}{D_k - D_b}.$$

Воображаемый угол поворота бревна (конуса) при его вращении в станке (ω , рад) равен:

$$\omega = \frac{\pi D_B n}{L'}$$

где n – число оборотов бревна в рабочем поле станка, необходимое для его полной окорки.

Обозначим

$$\frac{L' - dL}{L'} = \cos \omega,$$

откуда

$$dL = (1 - \cos \omega) L';$$

$$dL = \left(1 - \cos \frac{\pi D_B n}{L'}\right) L'.$$

Длина рабочего поля станка ($L_{р.п}$) по ходу бревна с учетом его кривизны составляет (см. рис. 1):

$$L_{р.п} = 2L_1 + 2L_2 = \sqrt{2R_6 H_1 - H_1^2} + \sqrt{2R_{бр\max} H_2 - H_2^2} - L'_p q$$

или

$$L_{р.п} \approx 2 \sqrt{(R_6 + R_{бр\max})^2 - (R_6 + R_{бр\max} - H)^2} - L'_p q,$$

где L_1, L_2 – вспомогательные параметры, м;

R_6 – рабочий радиус окорочного барабана, м;

$R_{бр\max}$ – максимальный радиус окориваемого бревна, м;

H_1 – выход бил за линию контакта с бревном, м;

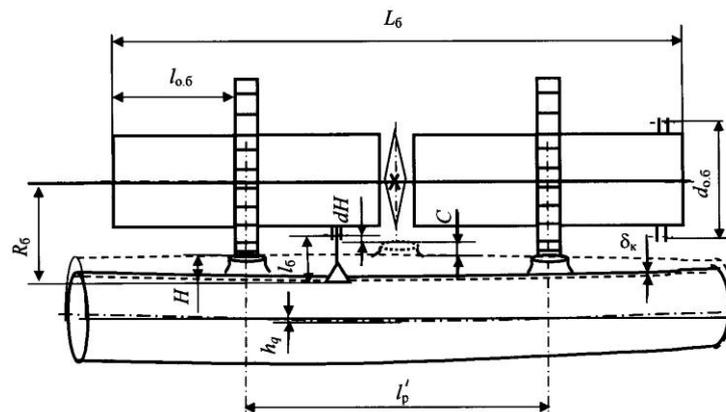


Рис. 4. Схема для расчета параметров барабана

H_2 – превышение окружности бревна над линией контакта бил с бревном, м;

H – выход бил за уровень опорных реек окорочных секций.

Длина бил (l_6) должна обеспечить окорку бревен заданной кривизны при наличии остатков сучьев. Минимальная длина равна (рис. 4):

$$l_6 = 2h'_q + \delta_k + 2C + dH = 2l'_p q + \delta_k + 2C + dH,$$

где $2h'_q$ – отклонение оси бревна из-за кривизны, м;

δ_k – толщина коры, м;

dH – технологический зазор между бревном и барабаном.

Для снижения нагрузок и обеспечения последовательного независимого взаимодействия бил с бревном число бил по окружности барабана (N) должно составлять:

$$N = 2\pi R_{\text{бр}} / dS,$$

где dS – длина снимаемого элемента коры, м.

При этом длина основания барабана ($L_{\text{б}}$) с однозаходным винтом бил равна:

$$L_{\text{б}} = S_n N,$$

где S_n – ширина полосы коры, снимаемой одним билом, м.

На отдельных секциях барабана била можно располагать по многозаходным винтовым линиям с числом заходов z :

$$z = L_{\text{б}} / l_{\text{о,б}},$$

где $l_{\text{о,б}}$ – рабочая длина основания секции барабана, м.

Ширина полосы снимаемой коры зависит от ширины рабочих органов и характера их размещения на барабане. Геометрические параметры бил выбирают на основе результатов экспериментальных исследований.

Полученные формулы позволяют определить: а) вертикальный ход подающих цепей и рабочих секций для обеспечения подачи бревен с отклонениями формы; б) минимальный поперечный пролет портала станка; в) осевое смещение бревна при вращении в станке, вследствие конусности формы; г) длину рабочей зоны станка по ходу бревна; д) минимальную длину бил окорочного барабана; е) число бил на барабане, а также его длину. Они могут быть использованы в практических расчетах технологических параметров окорочных станков.

E.I. Platonov

Machine for Log Impact Debarking with Cross Feed

The formulas are received to be used in the practical calculations of process-dependent parameters of debarking machines.



УДК 539.3:630*31

В.А. Илинский, С. И. Морозов

Илинский Виктор Анатольевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры водного транспорта леса и гидравлики АГТУ. Имеет 3 печатные работы в области транспорта леса.



Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 180 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ ФУНКЦИИ ПРИ СОУДАРЕНИИ ДЕРЕВЯННЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

Рассмотрен процесс удара лесоматериала о металлическое тело, имеющий место при раскатывании лесоматериалов из плоской плоточной единицы в карман-накопитель раскаточной машины. По материалам исследований определены коэффициенты пластичности и нелинейности при соударении двух тел.

Ключевые слова: удар двух тел, карман-накопитель, лесоматериал, силовая функция, параметры, деформации.

По результатам опытов [2], проведенных с моделью раскаточной машины [3], был сделан вывод о том, что отказы в ее работе связаны с неоптимальными параметрами одного из элементов конструкции, а именно устройства для уменьшения скорости скатывающихся лесоматериалов в момент перехода их с плоской плоточной единицы в карман-накопитель. Устройство представляет собой две подвешенные металлические балки, о которые ударяются скатывающиеся лесоматериалы, в результате чего снижается их скорость. Поэтому возникает необходимость в исследовании ударных процессов на участке соударения тел, что позволит обосновать параметры удара.

Методика экспериментального определения коэффициентов пластичности (B) и нелинейности (n) предложена Г. Герцем и впоследствии использована А.Н. Динником [1]. Суть ее заключается в рассмотрении сжатия двух тел

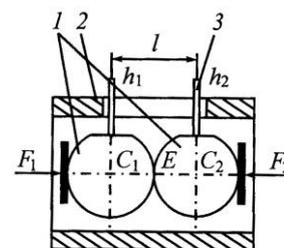


Рис. 1. Схема проведения эксперимента: 1 – шарики; 2 – цилиндр; 3 – направляющие стержни

(рис. 1), которые устанавливаются под прессом горизонтально одно за другим с контактом в точке E и нагружаются силой F .

Для проведения экспериментов была использована специальная установка – ручной пресс (рис. 2), предназначенный для сжатия под нагрузкой от 0 до 10000 Н двух стальных шариков, имеющих диаметры от 10 до 25 мм.

В качестве исследуемых материалов использовали:

– стальные шарики (ГОСТ 3722–81 «Подшипники качения. Шарики. Технические условия») из шарикоподшипниковой стали ШХ15, имеющие диаметр 22 мм;

– деревянные шарики диаметром 22 мм из трех пород древесины: ели, сосны и березы.

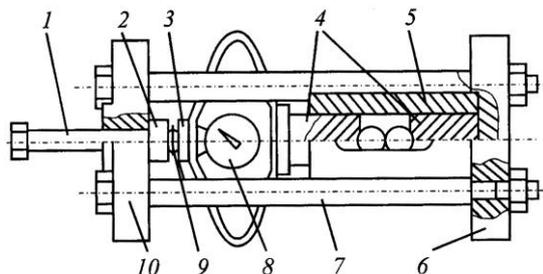


Рис. 2. Ручной пресс: 1 – нагружающий винт; 2 – левая шайба; 3 – правая шайба; 4 – прессовые цилиндры; 5 – гильза; 6 – правое основание; 7 – стержень; 8 – динамометр; 9 – шарик; 10 – левое основание

Рис. 3. Экспериментальный образец:
1 – направляющий стержень;
2 – шарик



Направляющие металлические стержни диаметром 2,5 мм приварены (лазерной сваркой) к поверхности металлических шариков (или приклеены к деревянным) и лежат в диаметральной плоскости, проходящей через центр сферических тел по нормали к линии действия сил F . На рис. 3 приведен общий вид металлического шарика с направляющим стержнем.

Положение точек C_1 и C_2 (см. рис. 1) определяли оптическим методом. Деформации находили с помощью универсального измерительного микроскопа УИМ-21, общий вид которого показан на рис. 4. Он предназначен для определения линейных и угловых размеров изделий в прямоугольных и полярных координатах. Перемещения в продольном направлении измеряли с помощью микрометров. Точность измерения длины составляет 0,001 мм, погрешность не превышает 0,5 мк.



Рис. 4. Универсальный измерительный микроскоп УИМ-21

Рис. 5. Внешний вид шариков:
1 – область остаточной деформации
древеси́ны сосны; 2 – шарик; 3 – на-
правляющий стержень



Для каждой ступени нагружения измеряли расстояние l между центрами сфер (точки C_1 и C_2):

$$l = h_1 - h_2.$$

где h_1, h_2 – координаты положения точек C_1 и C_2 .

Расположив ручной пресс на продольных салазках так, чтобы края направляющих стержней смотрели вверх, опускали центральный микроскоп до момента, пока не появлялось четкое изображение поверхности направляющих. На этих поверхностях выбирали характерные точки C_1 и C_2 , которые впоследствии можно без труда обнаружить. Координаты h_1 и h_2 находили по прямоли-

нейной шкале с помощью микроскопа. Разность между h_1 и h_2 определяет расстояние l , разность между начальными l_0 и последующими их значениями в процессе нагружения равна деформации тел α ($\alpha = l_i - l_0$) в точке E .

Эксперименты проводили следующим образом.

1. В гильзе ручного пресса между двумя цилиндрами устанавливали два шарика (металлический слева, деревянный справа). Гильзу помещали внутрь корпуса ручного пресса.

2. Направляющие стержни шариков выравнивали. В корпус пресса устанавливали динамометр.

3. Ручной пресс в горизонтальном положении укладывали на продольные салазки прибора УИМ-21.

4. При проведении эксперимента к деревянным шарикам прикладывали нагрузку от 25 до 250 Н с шагом 25 Н, определяли положение точек C_1 и C_2 . Данные замеров записывали в журнал.

Внешний вид шариков из древесины сосны после проведения испытаний представлен на рис. 5.

После экспериментальных исследований определяли теоретические значения коэффициентов B и n . В статье рассмотрен пример расчета. По значениям координат h_1 и h_2 вычисляли расстояние между центрами масс шариков ($l = h_1 - h_2$) для каждого значения нагрузки, а затем их контактную деформацию α ($\alpha = l_i - l_0$). По результатам трех испытаний определяли средние значения контактной деформации шаров $\alpha_{\text{ср}}$ и остаточной нагрузки $F_{\text{ост}}$ (табл. 1).

Для определения параметров силовой функции $F = B\alpha^n$, т. е. коэффициентов B и n , необходимо аппроксимировать пары значений $F_{\text{ост}}$ и $\alpha_{\text{ср}}$ по методу наименьших квадратов. Эту задачу решали с помощью компьютерной программы, написанной на языке программирования BASIC. В окне програм-

Таблица 1

**Расчет средних значений деформации в опытах с шариками из сосны
(по трем опытам $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$)**

F , Н	α_1	α_2	α_3	$\alpha_{\text{ср}}$	$F_{\text{ост}}$, Н
	мм				
25	0,781	0,731	0,801	0,771	21,090
50	1,083	1,063	1,021	1,056	41,109
75	2,253	2,103	2,444	2,267	60,759
100	3,224	2,735	3,121	3,027	82,158
125	3,815	3,658	4,596	4,023	101,056
150	4,980	4,405	4,954	4,780	119,083
175	6,138	5,148	7,106	6,131	133,028
200	7,385	6,100	7,863	7,116	155,413
225	7,972	8,348	8,186	8,169	168,939
250	8,606	8,391	9,400	8,799	194,557

Таблица 2

Экспериментальные и теоретические значения ударной силы в опытах с шариками из сосны

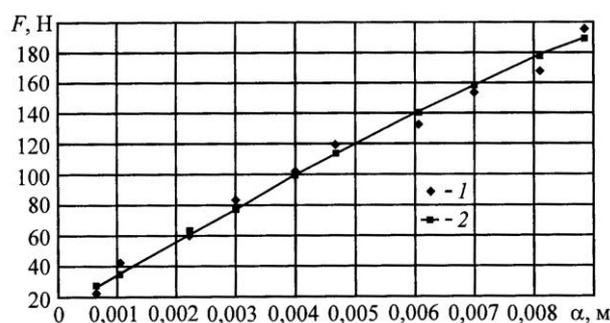
Деформация в опыте α_{cp} , мм	Значения нагрузки, Н		Деформация в опыте α_{cp} , мм	Значения нагрузки, Н	
	экспериментальные	теоретические		экспериментальные	теоретические
0,000771	21,090	25,670	0,00478	119,083	114,484
0,001056	41,109	33,209	0,00613	133,028	140,391
0,002267	60,759	62,118	0,00712	155,413	158,630
0,00303	82,158	78,728	0,00817	168,939	177,617
0,00402	101,056	99,404	0,00880	194,557	188,773

мы задаем число пар ($N = 10$), далее вводим значения F_{cp} и α_{cp} . После ввода всех данных получали результат в виде: $Y(x) = B X^n$.

Расчетами определены следующие значения для коэффициентов пластичности B и нелинейности n по породам: для березы $B = 40348,41$ Па; $n = 0,9059$; для ели $B = 38938,25$ Па; $n = 1,0294$; для сосны $B = 9130,13$ Па; $n = 0,8195$.

Используя коэффициенты пластичности и нелинейности, рассчитывали теоретические значения ударной силы F для каждого значения контактной деформации (табл. 2). Далее строили графики функции $F = F(\alpha)$ по экспериментальным и теоретическим данным для каждой породы (рис. 6).

Рис. 6. Экспериментальные точки (1) и теоретический график (2) функции $F = F(\alpha)$ по данным опытов с шариками из сосны



Полученные данные позволяют определить ударные нагрузки при взаимодействии движущихся лесоматериалов с элементами конструкции раскаточной машины, что необходимо для разработки конструкторской документации. Результаты будут использованы также при определении параметров устройства для уменьшения скорости скатывающихся лесоматериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динник, А.Н. Удар и сжатие твердых тел [Текст] / А.Н. Динник // Избр. тр. Т.1. – Киев: АН СССР, 1952. – С. 13–144.

2. Илинский, В.А. Методика модельных исследований работоспособности раскаточной машины [Текст] / В.А. Илинский, А.А. Митрофанов // Совершенствование техники и технологии лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. ф-та природных ресурсов АГТУ. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – Вып. 3. – С. 111–115.

3. Илинский, В.А. Разработка методики и проведение исследований надежности работы модели раскаточной машины [Текст] / В.А. Илинский, А.А. Митрофанов // Там же. – 2002. – Вып. 2. – С. 54–62.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 29.03.05

V.A. Ilinsky, S.I. Morozov

Determination of Force Function Parameters under Collision of Wooden and Metal Bodies

The process of wooden material collision on metal body taking place at rolling timber from flat raft section into the bin of the rolling machine. Based on the investigation materials the plasticity and nonlinearity coefficients are determined under collision of two bodies.





МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.812:001.5

В.В. Сергеевичев

Сергеевичев Владимир Васильевич родился в 1947 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, заведующий кафедрой теории и механизмов, деталей машин и подъемно-транспортных устройств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 80 печатных трудов в области технологии и механики древесных материалов.



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВАЛКОВЫХ ПРЕССАХ

Приведена математическая модель процесса прокатки древесных материалов в валковых прессах непрерывного действия, которая позволяет определить основные силовые параметры и выполнить анализ напряженного состояния древесных материалов.

Ключевые слова: фанерные трубы, напряженное состояние, анализ напряженного состояния, математическая модель.

При изготовлении плитных и листовых изделий из древесных материалов в прессах непрерывного действия имеется плоская задача для слоя. В декартовой прямоугольной системе координат (x, y, z) лист занимает область $-\infty < x < \infty$; $0 < y < H$; $-\infty < z < \infty$, (1) где H – толщина слоя.

Предположим, что все упругие и прочностные характеристики листа, а также геометрические, силовые и деформационные условия нагружения не зависят от z , т. е. рассмотрим плоскую задачу для слоя толщиной H или полосы $(-\infty < x < \infty$; $0 < y < H)$, жестко закрепленной на нижней границе $y = 0$. Упругие перемещения по x и y обозначим через u и V . Исходя из формул Коши, плоские деформации представим в следующем виде:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial V}{\partial y}; \quad \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}. \quad (2)$$

Природное строение древесины обуславливает ярко выраженную анизотропию рассматриваемого материала. Считая, что волокна и сосуды древесины, располагающиеся в направлении ствола дерева, идут вдоль оси

0x, будем считать деформации, содержащие продольные перемещения u , пренебрежительно малыми по сравнению с поперечными деформациями $\partial V/\partial y$ и углами скоса $\partial V/\partial x$. В этом случае обобщенный закон Гука, связывающий деформации с напряжениями, будет иметь упрощенный вид:

$$\sigma_y = E \frac{\partial V}{\partial y}; \quad \tau_{xy} = G \frac{\partial V}{\partial x}, \quad (3)$$

где σ_y, τ_{xy} – нормальное и касательное напряжения;

E – модуль Юнга в направлении y ;

G – модуль сдвига.

В первом приближении модель поперечного сжатия древесины и ее прокатки будем строить как одномерную модель теории сопротивления материалов, усредняя по оси y все механические, прочностные и геометрические параметры полосы, а также граничные условия на торцах прямоугольников и полуполос [2]. Не меняя обозначений, в дальнейшем будем полагать, что зависимости (2) и (3) связывают усредненные величины. При прокатке древесины, когда под давлением вала напряжения σ_y достигают критической величины σ_c , происходит сжатие клеток. Вертикальные стенки клеток частично разрушаются и складываются, горизонтальные – сближаются, в целом материал уплотняется. Таким образом, модуль сдвига уплотнившегося материала G_c увеличивается в $1/\theta$ раз, толщина уплотнившегося материала h_c уменьшается в θ раз (θ – коэффициент линейного уплотнения):

$$G_c = \frac{G}{\theta}; \quad h_c = \theta h. \quad (4)$$

С одной стороны, после сжатия клеток и уплотнения древесины в поперечном направлении ее модуль Юнга значительно увеличивается, а деформациями ϵ_y уплотненной древесины можно пренебречь, считая ее несжимаемой; с другой – главный вектор касательных напряжений τ_{xy} в сечении $x = \text{const}$ уплотненной части полосы толщиной h

$$F = \int_0^h \tau_{xy} dy = \int_0^h G \frac{\partial V}{\partial x} dy = hGV' \quad (5)$$

сохраняет свою величину и после уплотнения полосы. Действительно, в силу (4) имеем

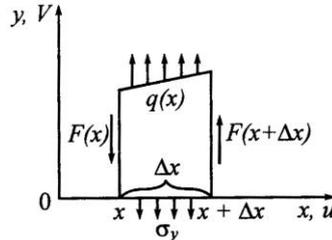
$$F_c = \int_0^{h_c} G_c \frac{\partial V}{\partial x} dy = h_c G_c V' = hGV'. \quad (6)$$

Таким образом, если H – толщина исходной полосы, то, независимо от толщины ее уплотненной части h , главный вектор касательных напряжений τ_{xy} в сечении $x = \text{const}$

$$F = HG \frac{dV}{dx}; \quad F = \eta W'; \quad \eta = \frac{GH}{2}, \quad (7)$$

где W' – перемещение верхней границы полосы, $W' = 2V$.

Рис. 1. Схема действия перерезывающих сил и нормальных напряжений



Рассмотрим равновесие отрезка полосы шириной Δx , заключенного между сечениями x и $x + \Delta x$ (рис. 1). Пусть, кроме ранее введенных уже величин $F = F(x)$ и $\sigma_y = \sigma_y(x)$, на полосу действует вертикальная нагрузка $q(x)$.

Проектируя на ось Oy все силы, приложенные к прямоугольнику, получаем

$$F(x + \Delta x) - F(x) = (\sigma_y - q(x))\Delta x. \quad (8)$$

Перейдем к пределу при $\Delta x \rightarrow 0$:

$$F'(x) = \sigma_y - q(x). \quad (9)$$

Подставив (7) в левую часть (9), получим дифференциальное уравнение относительно неизвестных V и σ_y :

$$V'' = \frac{1}{HG}(\sigma_y - q(x)). \quad (10)$$

Однако специфика прокатки делает величину $\sigma_y(x)$ известной на определенном участке x . Рассмотрим движение одного из валков во время уплотнения, т. е. при достаточно большой нагрузке. Из общих соображений понятно, что в определенной точке перед валком постоянная до сих пор толщина h уплотненной другими валками или в другом цикле части полосы начнет при $q(x) = 0$ монотонно расти, этот процесс закончится под нижней точкой валка. Именно монотонность роста на участке, передняя граница которого неизвестна, позволяет утверждать, что на нем соблюдается равенство

$$\sigma_y = -\sigma_c. \quad (11)$$

В дальнейшем эта гипотеза будет доказана. Заметим, что она не всегда будет справедливой при $q(x) \neq 0$ или, например, в случае, если бы валок оказался зубчатым. В этих случаях $\sigma_y \neq \text{const}$. По теории упругости указанная монотонность при росте $|x|$ и $y = \text{const}$ порождается монотонностью убывания напряжений σ_y под силой, сосредоточенной в точке $x = 0$, $y = H$. Она не дает возможности возникнуть напряжениям $\sigma_y > -\sigma_c$. Напряжения $\sigma_y < -\sigma_c$ не могут появиться, поскольку они уплотняли бы новые слои древесины, пока не достигли бы величины σ_c . Итак, согласно (10), на участке активного уплотнения (при $q(x) = 0$) справедливо уравнение

$$V'' = \frac{\sigma_c}{GH}, \quad \text{или} \quad V'' = -\frac{\sigma_c}{\eta}. \quad (12)$$

Как уже было показано, в период активной прокатки возникает предельное напряжение сжатия $\sigma_y = -\sigma_c$, $\sigma_c > 0$; в этот момент

$$-\sigma_y = E\varepsilon; \quad \varepsilon = \frac{v_2}{H - \chi}. \quad (13)$$

Из этих равенств следует, что

$$v_2(x) = -\frac{\sigma_c}{E}(H - \chi) \quad (14)$$

Так как полное перемещение v складывается из v_1 и v_2 :

$$v = v_1(x) + v_2(x); \quad v_1(x) = -\chi(x)(1 - \theta); \quad (15)$$

$$\chi = \frac{h(x)}{\theta}; \quad v_1(x) = h(x)\left(\frac{1}{\theta} - 1\right), \quad (16)$$

то из (14)–(16) получим:

$$w(x) = -h(x)\left(\frac{1}{\theta} - 1\right) - \frac{\sigma_c}{E}\left[H - \frac{h(x)}{\theta}\right], \quad (17)$$

или

$$w(x) = -\alpha h(x) - \beta H, \quad (18)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{1}{\theta} - \frac{\sigma_c}{\theta E} - 1; \quad \beta = \frac{\sigma_c}{E}. \quad (19)$$

Найдя силу $F(x)$, по формуле (18) определим толщину уплотненной древесины

$$h(x) = -\frac{1}{\alpha}[w(x) - \beta H], \quad (20)$$

а по формулам (14) и (15) – перемещение:

$$v_2(x) = -\frac{\sigma_c}{E}\left[H - \frac{h(x)}{\theta}\right]. \quad (21)$$

Заметим, что коэффициент α определяется формулой (19) в первом приближении. Более точно его можно найти непосредственно из опыта, не связывая с θ , σ_c , E в отдельности.

Пусть на некотором участке $x \in (a, b)$ полосы толщина уплотненного слоя постоянна $h(x) = h = \text{const}$ и напряжение $\sigma_y > -\sigma_c$ является допредельным, неразрушающим. При прокатке эти участки располагаются на некотором удалении перед валком и непосредственно за валком и образуются в результате прокатки полосы предшествующими валками и рассматриваемым в данном цикле валком.

Согласно (16),

$$\sigma_y = E\varepsilon; \quad \varepsilon = \frac{v_2}{H - \frac{h}{\theta}}. \quad (22)$$

Из (13) имеем

$$F = \eta w'; \quad \frac{dF}{dx} = \sigma_y; \quad \eta w'' = \sigma_y. \quad (23)$$

Подставив (22) в (23), получаем

$$\eta w'' = \frac{E v_2}{H - \frac{h}{\theta}}. \quad (24)$$

Так как $h(x) = \text{const}$, то, согласно (4), $v_1''(x) = 0$, а согласно (3), $w''(x) = v_2''(x)$. Следовательно, из (24) имеем

$$v_2'' = \frac{E}{\eta \left(H - \frac{h}{\theta} \right)} v_2, \quad (25)$$

или

$$v_2'' - \gamma^2 v_2 = 0; \quad \gamma = \sqrt{\frac{E}{\eta \left(H - \frac{h}{\theta} \right)}}. \quad (26)$$

Решив это дифференциальное уравнение, найдем по формулам (23) следующие функции:

$$F(x) = \eta v_2'; \quad \sigma_y = \eta \gamma^2 v_2. \quad (27)$$

Тогда общее решение уравнения (26) примет вид:

$$w = \frac{\sigma_c}{2\eta} x^2 + C_1 x + C_2, \quad x \in X_1; \quad (28)$$

$$v_2 = C_3 e^{\gamma x} + C_4 e^{-\gamma x}, \quad x \in X_2, \quad (29)$$

где C_{1-4} – произвольные постоянные;

X_1 – множество промежутков активного уплотнения;

X_2 – множество промежутков упругой деформации.

Используя формулы (19), (21), (27), запишем другие компоненты решения:

$$F(x) = \eta \left(-\frac{\sigma_c}{\eta} x + C_1 \right); \quad (30)$$

$$h(x) = -\frac{1}{\alpha} \left[-\frac{\sigma_c}{2\eta} x^2 + C_1 x + C_2 + \beta H \right]; \quad (31)$$

$$v_2(x) = -\frac{\sigma_c}{E} \left[H + \frac{1}{\alpha \theta} \left(-\frac{\sigma_c}{2\eta} x^2 + C_1 x + C_2 + \beta H \right) \right], \quad x \in X_1; \quad (32)$$

$$F(x) = \eta [C_3 \gamma e^{\gamma x} - C_4 \gamma e^{-\gamma x}]; \quad (33)$$

$$\sigma_y(x) = \eta \gamma^2 [C_3 e^{\gamma x} + C_4 e^{-\gamma x}], \quad x \in X_2. \quad (34)$$

Произвольные постоянные C_{1-4} определяются из условий на границах областей X_1 и X_2 , включая бесконечно удаленные точки. На каждом торце прямоугольника $x = x_0$, т. е. на краю листа, ставится одно из условий:

$$v_2(x_0) = v_0; \quad F(x_0) = F_0; \quad h(x_0) = h_0 \quad (35)$$

или какая-либо их комбинация. Если точка x_0 является заданной точкой сопряжения решений на X_1 и X_2 , то граничные условия представляют собой совокупность каких-либо двух из написанных ниже трех условий:

$$v_2^+(x_0) - v_2^-(x_0) = v_0; \quad (36)$$

$$F^+(x_0) - F^-(x_0) = F_0; \quad (37)$$

$$h^+(x_0) - h^-(x_0) = h_0. \quad (38)$$

Здесь $F^+(x_0)$ и $F^-(x_0)$ – предельные значения функции $F(x)$ при $x \rightarrow x_0$ соответственно справа и слева; F_0 – скачок функции в точке x_0 .

Если точка сопряжения решений x_0 заранее неизвестна и подлежит определению, то в ней должны быть удовлетворены все три условия (36)–(38). Если рассматривается решение в бесконечной или полубесконечной полосе, то, как правило, ставится условие стремления к нулю всех компонент решения при $x \rightarrow \infty$ или $x \rightarrow -\infty$.

Рассмотрим плоскую задачу упругой деформации бесконечного листа, $x \in (-\infty, \infty)$, нагруженного по прямой $x = 0$ равномерно распределенными силами плотностью $2F_0$ (рис. 2). Пусть H – первоначальная толщина листа. В результате одного или нескольких предшествующих циклов прокатки в нем образовался уплотненный поверхностный слой постоянной толщины h . В силу зеркальной симметрии задачи относительно сечения $x = 0$ решение можно искать в правой половине листа $x \in (0, \infty)$, приложив на ее торце силу F_0 и потребовав, чтобы на бесконечности решение стремилось к нулю.

Учитывая, что в силу требования $C_3 = 0$, из (29) получаем

$$V_2 = C_4 e^{-\gamma x}. \quad (39)$$

Согласно (33), при $x = 0$:

$$F_0 = -C_4 \eta \gamma e^{-\gamma x}. \quad (40)$$

Тогда из (33), (34), (39) и (40) имеем:

$$C_4 = -\frac{F_0}{\eta \gamma}; \quad V_2(x) = -\frac{F_0}{\eta \gamma} e^{-\gamma x}; \quad (41)$$

$$F(x) = F_0 e^{-\gamma x}; \quad \sigma_y^{(x)} = -F_0 \gamma e^{-\gamma x}. \quad (42)$$

Так как функция $|\sigma_y(x)|$ на всем промежутке $(0, \infty)$ монотонно убывает, то наибольшее сжимающее напряжение σ_y^{\max} возникает под силой F_0 в точке $x = 0$:

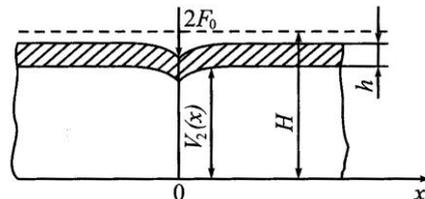


Рис. 2. Упругая деформация бесконечного листа

$$\sigma_y^{\max} = |\sigma_y(0)| = F_0 \gamma = F_0 \sqrt{\frac{2\theta E}{GH(H\theta - h)}}. \quad (43)$$

В упругой стадии прокатки сжимающие напряжения $|\sigma_y(x)|$ не могут превышать σ_c . Поэтому приложенная к валку минимальная сила F_0^{\min} , при которой начинается уплотнение листа, выражается как

$$F_0^{\min} = \sigma_c \sqrt{\frac{GH(H\theta - h)}{2E\theta}}. \quad (44)$$

Как показывает формула (44), сила F_0^{\min} пропорциональна σ_c и увеличивается с ростом G и H и уменьшением E , что качественно соответствует опытным данным и легко объясняется с позиции теории упругости [1]. С увеличением h сила F_0^{\min} уменьшается. В допредельной упругой стадии первого цикла прокатки, когда $h = 0$ и уплотненный слой еще отсутствует, минимальная сила, приложенная к валку, может быть определена по формуле

$$F_0^{\min} = \sigma_c H \sqrt{\frac{G}{2E}}. \quad (45)$$

Естественно, эта сила не должна зависеть от θ , что и отражает формула (45).

Выбранная модель качественно соответствует и другим результатам экспериментов с древесиной. Например, если представить действие сосредоточенной силы, то в опыте под кромкой наблюдается излом перемещений, $W'(0) > 0$. Обычная балочная теория изгиба дает $W'(0) = 0$, теория упругости – $W'(0) = \infty$. Согласно (41), имеем

$$W'(0) = V_2'(0) = \frac{F_0}{\eta} = \frac{2F_0}{GH}. \quad (46)$$

Таким образом, угол излома поверхности древесины под силой конечен, пропорционален действующей силе, обратно пропорционален модулю сдвига и толщине листа или бруса.

Если сила F_k приложена в точке $x = t_k$, то, очевидно, решение имеет следующий вид:

$$V_{2k}(x) = -\frac{F_k}{\eta\gamma} e^{-\gamma(x-t_k)}. \quad (47)$$

Так как задача линейна, то при действии нескольких сил F_k решение выражается суперпозицией отдельных решений (47):

$$V_2(x) = -\sum_k \frac{F_k}{\eta\gamma} e^{-\gamma(x-t_k)}. \quad (48)$$

Аналогично выразим и другие компоненты решения (41), (42).

Если на отрезке $x \in (a, b)$ задана распределенная нагрузка плотностью $r(x)$, то решение будет подобно (48):

$$V_2(x) = -\int_a^b \frac{r(t)}{\eta\gamma} e^{-\gamma(x-t)} dt, \quad (49)$$

где x не принадлежит отрезку (a, b) .

В случае полиномиальных нагрузок интеграл (49) выражается в элементарных функциях.

Например, при $r(t) = r = \text{const}$ имеем

$$V_2(x) = -\frac{re^{-\gamma x}}{\eta\gamma^2} (e^{\gamma b} - e^{\gamma a}), \quad x \in (a, b). \quad (50)$$

Все полученные решения можно использовать при исследованиях и расчетах длинных прокатываемых листов, на краях которых напряжения и деформация заведомо малы.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Предложенная математическая модель в виде двух систем дифференциальных уравнений и функциональных зависимостей, построенная на базе уравнений теории упругости с использованием принципа уплотнения древесины при максимально возможных сжимающих напряжениях, адекватно описывает процесс прокатки, что подтверждено экспериментально.

2. Математические модели позволяют решить весь комплекс задач по обоснованию и оптимизации параметров рабочих органов валковых прессов и технологии прокатки, в том числе определять напряженно-деформационное состояние прокатываемого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новацкий, В.* Теория упругости [Текст] / В. Новацкий. – М.: Мир, 1975. – 872 с.
2. *Нуллер, Б.М.* К вопросу о моделировании процесса механической прокатки древесных материалов [Текст] / Б.М. Нуллер, В.В. Сергеевичев // Изв. СПбГЛТА. – 2002. – С. 63–66.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 13.04.05

V.V. Sergeevichev

Mathematical Model of Rolling Wood Materials in Roll Presses

The mathematical model of the rolling process of wood materials in the roll presses of continuous operation is provided allowing to determine the main power parameters and carry out the analysis of the stress state of wooden materials.

УДК 674:621.81.004

Г.А. Пилюшина, Е.А. Памфилов

Пилюшина Галина Анатольевна родилась в 1970 г., окончила в 2000 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, аспирант кафедры механической технологии древесины БГИТА, помощник проректора по экономической и производственной деятельности. Имеет около 20 работ в области повышения работоспособности узлов и механизмов лесопильного и деревообрабатывающего оборудования.



Памфилов Евгений Анатольевич родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Брянский институт транспортного машиностроения, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, проректор по экономической и производственной деятельности, заведующий кафедрой механической технологии древесины Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 300 печатных работ в области обеспечения износостойкости и долговечности машин и оборудования.



ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЕСОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Приведены расчет рациональной геометрической формы боковых поверхностей шипов подающих вальцов, которые обеспечивают минимизацию скорости изнашивания, и анализ факторов, влияющих на процессы изнашивания шипов; предложен материал и упрочняющая обработка шипованных колец.

Ключевые слова: подающие вальцы лесопильного оборудования, рациональная геометрическая форма, принцип самоорганизации фрикционного контакта, форма «естественного износа», сцепление с древесиной.

Надежность работы подающих механизмов лесопильных рам в существенной мере определяет изготовление качественных пиломатериалов. Это, прежде всего, связано с тем, что указанные механизмы одновременно выполняют функции базирования заготовок и их перемещение в зону резания.

Точность базирования и стабильное перемещение заготовок зависят от достижения высокой степени сцепления рабочих элементов подающих шипованных вальцов с перемещаемой древесиной. При недостаточном сцеплении происходит проскальзывание заготовок, их перемещение в сторону, противоположную подаче, поперечный сдвиг или проворот относительно продольной оси. Это снижает точность получаемых изделий, приводит к интенсивному изнашиванию режущего инструмента и деталей используемого оборудования.

Необходимо также учитывать, что подающие вальцы являются металлоемкими конструкциями, поэтому их изготовление и замена достаточно трудоемки и экономически затратны. В связи с этим увеличение срока службы вальцов имеет существенную значимость с точки зрения эконо-

мии дорогостоящих материалов, снижения трудозатрат на ремонт и повышения эффективности работы оборудования.

Повышение работоспособности вальцов может быть достигнуто за счет изменения геометрической формы рабочих элементов, использования для их изготовления конструкционных материалов повышенной износостойкости, а также выполнения эффективной упрочняющей обработки изнашиваемых поверхностей.

Возможность оптимизации геометрической формы шипов обусловлена тем, что в процессе изнашивания их боковые поверхности приобретают криволинейную форму. Это происходит вследствие неравномерного удаления микрообъемов материала с изнашиваемых поверхностей. Поэтому повышения износостойкости можно достичь за счет придания шипам формы «естественного износа» в процессе их изготовления.

Прогнозирование формы «естественного износа» выполняли, выявляя закономерности самоорганизации фрикционного контакта при установившемся процессе изнашивания [4], в результате которого формируется геометрия изнашиваемой поверхности, соответствующая минимуму энергетических затрат в реализуемом относительном движении.

Представим минимум энергетических затрат, соответствующий минимуму энтропии [3]:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{FV}{T} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где S – энтропия;

t – время;

F – нормальная нагрузка;

V – скорость скольжения;

T – температура в зоне контакта трущихся поверхностей.

Выражение (1) можно представить также в виде

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{T} \left[\frac{dW_x}{dt} \right] \rightarrow \min, \quad (2)$$

где W_x – проекция линейного износа на ось x .

Определим скорость изнашивания криволинейной поверхности J_{tx} по формуле

$$\frac{dW_x}{dt} = J_{tx} = k_j V P_x, \quad (3)$$

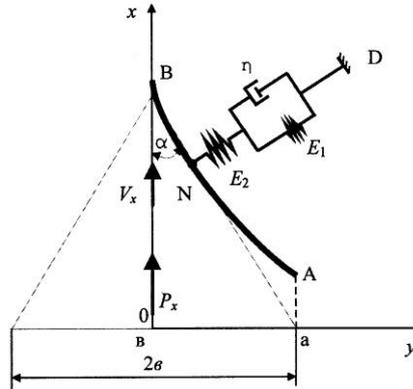
где k_j – коэффициент изнашивания;

V – скорость движения элементарных площадок, расположенных на изнашиваемой поверхности шипа в направлении перемещения заготовки;

P_x – проекция сил на ось x .

Для определения проекции силы P_x на ось x рассмотрим схему, приведенную на рис. 1. Допустим, что радиальное сечение шипа, движется с

Рис. 1. Схема для расчета формы шипа



постоянной скоростью V . Если предположить, что пограничная частица N среды оттесняется границей шипа в направлении нормали ND и скользит вдоль границы под углом α , то

$$P_x = \int_A^B (P_n \sin \alpha + \tau \cos \alpha) dx, \quad (4)$$

где P_n – нормальное давление волокон древесины;

τ – касательная сила трения;

dx – длина элемента дуги грани шипа.

Подставив выражение (3) в (2) с учетом (4), получим

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k_j V B}{T A} \int (P_n \sin \alpha + \tau \cos \alpha) dx. \quad (5)$$

Нормальное давление волокон древесины определим по формуле

$$P_n = E_1 y_1 \cos \alpha + E_2 y_2 \cos \alpha + V \eta \sin \alpha, \quad (6)$$

где E_1 и E_2 – модули упругости древесины (рис. 1);

$E_1 y_1 \cos \alpha$ и $E_2 y_2 \cos \alpha$ – проекции сил E_1 и E_2 на ось y ;

η – коэффициент вязкой составляющей механической модели изнашивающей среды [1].

Касательную силу τ определим из выражения

$$\tau = f (E_1 y_1 + E_2 y_2) \cos \alpha + f V \eta \sin \alpha. \quad (7)$$

Подставив выражения (6) и (7) в (5), получим:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k_j V B}{T A} \int (E_1 y_1 + E_2 y_2 + f V \eta) \sin \alpha \cos \alpha + V \eta \sin^2 \alpha + f (E_1 y_1 + E_2 y_2) \cos^2 \alpha dx.$$

Минимум энтропии достигается при условии, что интеграл

$$P_x = \int_A^B (E_1 y_1 + E_2 y_2 + f V \eta) \sin \alpha \cos \alpha + V \eta \sin^2 \alpha + f (E_1 y_1 + E_2 y_2) \cos^2 \alpha dx \quad (8)$$

имеет экстремум (минимум).

Для нахождения интеграла (8) рассмотрим подынтегральную функцию при $k_j = \text{const}$ и $V = \text{const}$:

$$F = (E_1 y_1 + E_2 y_2 + fV\eta)y' + V\eta(y')^2 + f(E_1 y_1 + E_2 y_2),$$

где $y' = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$.

Функция F явно не зависит от x , т. е. $F = F(y, y')$, и имеет решение на отыскание экстремума в соответствии с уравнением Эйлера – Лагранжа [5]:

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) = 0.$$

Частный вид уравнения Эйлера для этого случая

$$F - y'(x)F_{y'} = C_1.$$

Применив уравнение Эйлера, получим дифференциальное уравнение

$$f(E_1 y_1 + E_2 y_2) - v\eta(y')^2 = C_1. \quad (9)$$

Решение (9) дает следующий результат:

$$y = \frac{f(E_1 + E_2)}{4v\eta} (x + C_1)^2 + \frac{C_2}{f(E_1 + E_2)}, \quad (10)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

На рис. 2 показан вид функции $y(x)$ при решении уравнения (10).

Для нахождения постоянных C_1 и C_2 решим задачу с подвижной правой границей [4]. Пусть один конец экстремали закреплен в т. B , а другой скользит по прямой $y = \epsilon$. Применив условие трансверсальности, найдем $C_1 = 0$, а используя условия закрепления, $-C_2 = 0$. Координату т. $A(x_A, y_A)$ найдем из зависимости

$$x_A = 2 \sqrt{\frac{\epsilon v \eta}{f(E_1 + E_2)}}, \quad (11)$$

где v – скорость внедрения шипа в древесину;

ϵ – $\frac{1}{2}$ ширины основания шипа, м.

Форма кривой и ее сравнение с образующей боковой поверхности шипа приведены на рис. 3. Как видно из рис. 3, форма криволинейной поверхности, рассчитанной по уравнению (10), близка к форме естественного износа боковой поверхности шипа подающего вальца, что соответствует минимальной скорости изнашивания. Поэтому рациональной формой изнашиваемых боковых поверхностей шипа можно считать форму криволинейной поверхности, описываемую уравнением (10).

Таким образом, получена приближенная конфигурация шипа, к которой стремится его поверхность в процессе эксплуатации. Придание

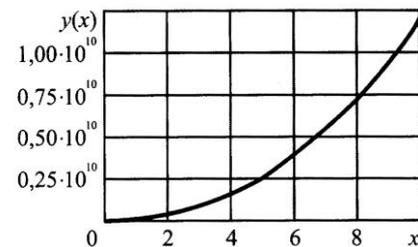
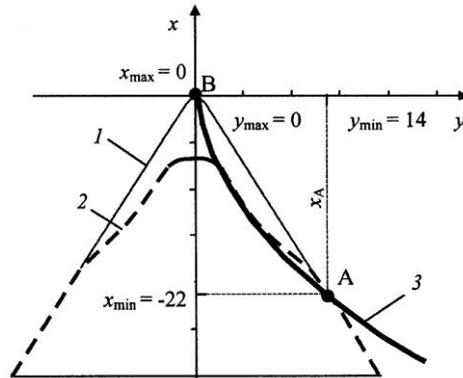


Рис. 2. Вид функции $y(x)$ при решении уравнения (10): $C_1 = 0$; $C_2 = 0$

Рис. 3. Сравнение формы криволинейной поверхности 3, рассчитанной по уравнениям (10) и (11), с образующей 2 боковой поверхности изношенного шипа: 1 – первоначальная форма шипа; A и B – точки пересечения кривой с образующей боковой поверхности изношенного шипа



такой геометрии шипу в процессе его формообразования позволит сократить время приработки и повысит ресурс его работы в режиме нормального изнашивания.

Однако величина изнашивания рабочих элементов подающих валцов во многом определяется действующими внешними нагрузками, зачастую превосходящими прочностные показатели материала шипов.

Разрушение шипов и образование частиц износа во многом обусловлены действием ударной нагрузки от сил резания и отбоя пил, что особенно часто наблюдается в зимнее время, когда распиливают мерзлую древесину, а шипы валцов взаимодействуют со смерзшейся массой, состоящей из льда и абразивных частиц. Микрообъемы поверхностного слоя изнашиваемого шипа испытывают при этом существенные деформации, которые в сочетании с низкотемпературным охрупчиванием* шипа приводят к зарождению и развитию дефектов (упругие искажения решетки, дислокации и т.д.). Многократное деформирование материала повышает концентрации микродефектов и после достижения определенной концентрации приводит к образованию микротрещин. Дальнейшее нагружение материала вызывает развитие и слияние микротрещин, в результате чего происходит отделение достаточно крупных продуктов износа от шипа.

На интенсивность процесса выкрашивания значительное влияние оказывают экстрактивные вещества, содержащиеся в коре и древесине, особенно карбоновые кислоты, которые легко вступают во взаимодействие с оксидным слоем металла и разрушают его. Разрыхленный оксидный слой под действием сил трения легко разрывается, обнажая ювенильные поверхности, что значительно облегчает проникновение ионов водорода в поверхностные слои и интенсифицирует процесс разрушения поверхностей шипов. Водород, проникая в поверхностный слой металла, создает в нем высокие давления, которые приводят к напряженному состоянию в решетке металла, деформации, образованию микротрещин и расслаиванию.

* Свойство материала приобретать хрупкость в результате термического или химического воздействия.

Температурные явления, проявляющиеся в процессе изнашивания, оказывают существенное влияние на закономерности и интенсивность поверхностного разрушения. При положительных значениях температуры окружающей среды, низких скоростях скольжения и высоких нагрузках изнашивание шипов в основном происходит вследствие пластической деформации. При этом наблюдается выдавливание металла из максимально нагруженной зоны на периферийные участки. Выдавленный металл чаще всего подвергается повторным деформациям и отделяется в виде частиц износа. Фактически этот процесс характеризуется как изнашивание в результате малоциклового усталости.

Таким образом, анализируя модели поверхностного разрушения материала, можно прийти к выводу, что на интенсивность процесса разрушения шипов наибольшее влияние оказывает внешняя нагрузка (нормальное давление и энергия удара), а также недостаточная механическая прочность поверхностных слоев материала шипов.

В результате проведенных аналитических исследований была установлена величина удельной нагрузки, приходящаяся на шипы нижних подающих валцов лесопильных рам, при распиливании различных пород древесины диаметром до 600 мм [2].

С учетом величин и характера ударных нагрузок, действующих на шипы в процессе эксплуатации, была предложена методика выбора материала для изготовления шипованных колец. В качестве перспективного конструкционного материала был предложен высокопрочный чугун с шаровидным графитом, который обладает благоприятным уровнем прочности, сочетающейся с повышенными значениями пластичности, вязкости и коррозионной стойкости.

Кроме того, шипованные кольца из отливок высокопрочного чугуна с шаровидным графитом экономически более целесообразны, чем из стальных поковок, так как чугун по сравнению со сталью обладает более высокими литейными свойствами и на 8 ... 10 % меньшей плотностью, что позволяет снизить массу заготовок.

Механические свойства высокопрочных чугунов зависят в основном от структуры металлической основы. Требуемая структура металлической основы формируется как в процессе получения отливок, так и при их последующей термообработке. В качестве предварительной термообработки для повышения объемных механических свойств и снятия остаточных напряжений рекомендуется нормализация. В процессе ее выполнения происходят аустенизация ферритно-перлитной матрицы и последующее перлитное превращение. Однако перлитная структура не обладает достаточной сопротивляемостью изнашиванию при воздействии абразивных частиц, поэтому представляется целесообразным формировать в поверхностном слое шипов на глубине до 1 мм аустенитно-мартенситную основу, используя для этого поверхностную термическую обработку.

Анализ возможностей таких видов обработки показал, что наиболее перспективной является закалка с нагревом токами высокой частоты, в ре-

зультате которой получают аустенитно-мартенситную структуру поверхностного слоя за счет быстрого нагрева поверхностного слоя шипов до температуры закалки с последующим охлаждением в масле. В результате увеличивается твердость поверхностного слоя шипов с одновременным повышением их прочностных характеристик и сопротивляемости изнашиванию. Существенных результатов в обеспечении повышенной износостойкости можно достичь и за счет использования более эффективной электромеханической обработки. Однако для ее использования в производственных условиях необходимы дополнительные исследования.

Промышленное опробование показало, что использование колец из высокопрочного чугуна с шипами, выполненными в форме естественного износа, позволяет увеличить износостойкость подающих вальцов в 1,7 раз по сравнению с серийными. При этом в течение всего срока эксплуатации достигается надежно стабильное сцепление с древесными заготовками. Годовой экономический эффект от внедрения упрочненных шипованных колец составляет 72,76 тыс. р. в год при эксплуатации одной лесопильной рамы [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Любченко, В.И.* Резание древесины и древесных материалов [Текст] / В.И. Любченко. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 296 с.
2. *Пиллюшина, Г.А.* Повышение работоспособности деталей подающих устройств лесопильного оборудования [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.А. Пиллюшина. – Брянск, 2005. – 20 с.
3. *Тихомиров, В.П.* Выбор рациональных форм изнашиваемых деталей с криволинейными поверхностями [Текст] / В.П. Тихомиров, А.О. Горленко // Инж. журн. – 2002. – № 8. – С. 5–10.
4. *Шульц, В.В.* Форма естественного износа деталей машин и инструмента [Текст] / В.В. Шульц. – Л.: Машиностроение (Ленигр. отд.), 1990. – 208 с.
5. *Эйлер, Л.* Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума либо минимума, или решение изопараметрической задачи, взятой в самом широком смысле [Текст] / Л. Эйлер. – М.: ГИТТЛ, 1934. – 600 с.

Поступила 2.06.06

Брянская государственная
инженерно-технологическая академия

G.A. Pilyushina, E.A. Pamfilov

Enhancing Operational Capacity of Sawmill Equipment

The calculation of the rational geometry for side surfaces of feed roll pins is given providing the minimization of pins wear rate. The material and strengthening treatment of pin rings is offered.

УДК 674.093

С.В. Петухов

Петухов Сергей Васильевич родился в 1959 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт им. В.В. Куйбышева, кандидат технических наук, проректор по административно-хозяйственной работе, директор центра ресурсосбережения, ст. преподаватель кафедры ЭПП. Область научных интересов – конструирование систем позиционирования деревообрабатывающего оборудования.



ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УЗЛА РЕЗАНИЯ ТОРЦОВОЧНОГО СТАНКА

Обоснованы параметры движения механизма прямолинейного перемещения узла резания однопильного круглопильного станка от линейного привода.

Ключевые слова: круглопильный станок, торцовка, механизм перемещения, прямолинейное перемещение, однопильный узел резания, линейный привод.

При прямолинейной подаче узла резания в торцовочных станках реализуют две схемы перемещения суппорта: по направляющим и рычажно-шарнирную. Наиболее простые схемы осуществлены в торцовочных станках ЦПА-2, ЦТ8-4, 9-4, 10-4, 10-5, ЦМЭ-3Б, ТЦ-400, СТ-250, ЦСТ10-5 и др. Рычажно-шарнирные схемы подачи при перемещении суппорта используют в торцовочных станках ЦМЭ-2М, Ц2К-12, СТ-1 и др.

В торцовочном станке ЦПА-2 суппорт перемещается кареткой поворотной колонки станины, на передней его части установлен электродвигатель с пильным диском. Суппорт снабжен направляющими, которые перемещаются в роликоподшипниках каретки колонки. Электродвигатель с пилой может быть повернут в любую сторону от вертикали, что дает возможность косо распиловки. Суппорт движется с помощью гидропривода. Гидроцилиндр расположен внутри суппорта, распределитель управления – на каретке. Его шток связан с комбинированным рычагом.

Станки модели ЦТ8-4, кроме установки прецизионной каретки пильного узла, имеют электродинамическое торможение двигателя и автоматический возврат каретки в исходное положение.

В модели ЦТ10-4 пила с электродвигателем крепится на каретке, которая обеспечивает перемещение пилы параллельно плоскости стола. Пильная каретка расположена на колонне и имеет возможность поворота в горизонтальной плоскости для углового пиления и автоматического возврата в исходное положение. В двигателе предусмотрено электродинамическое торможение. Подобная конструкция реализована в станках ЦТ10-5 и 9-4.

В базовом станке ЦМЭ-3Б.04 пилу перемещают вручную параллельно плоскости стола, а станки ЦМЭ-3Б.01 и -3Б уже оснащены пневматическим приводом перемещения пилы. Модель ЦМЭ-3Б имеет электропривод перемещения заготовки. Станок укомплектован рольгангами и системой торможения пильного вала в течение не более 6 с. Автоматически дейст-

вующий прижим распиливаемой заготовки обеспечивает соблюдение требований безопасной работы. Подача материала механизирована. Регулирование скорости подачи пильного вала осуществляют с помощью пневмопривода или вручную.

В торцовочном рычажно-шарнирном станке поступательное движение суппорта обеспечено гидроцилиндром через шарнирный многосвязный механизм.

В торцовочном рычажно-шарнирном станке Ц2К-12 поступательное движение суппорта обеспечивает система соединенных шарнирно рычагов. Подача суппорта может быть ручной или от пневмоцилиндра. В первом случае на станке монтируют прижимный механизм, а во втором – пневматический цилиндр.

Торцовочный станок СТ-1 имеет шарнирно-маятниковый направляющий механизм пильного шпинделя, обеспечивающий движение пилы параллельно столу станка.

За критерий оценки варианта и выбора структуры принимали простоту конструктивной разработки кинематической пары, отличающейся необходимой относительной подвижностью.

В целом при перемещении механизма узла резания линейный электропривод не применяют. В связи с этим решалась следующая задача: определение силовых и технологических параметров движения механизма прямолинейного перемещения узла резания.

Расчетная схема к определению силовых параметров движения механизма перемещения узла резания приведена на рис. 1 (А – точка входа зуба пилы в древесину; В – точка выхода зуба пилы из древесины; h – высота пропила (толщина заготовки); c – расстояние от оси пильного вала до верхней пласти доски; $\varphi_{вх}$, $\varphi_{вых}$, $\varphi_{ср}$ – углы входа, выхода и средний, определяющие положение зуба на дуге резания, соответствующей АВ; L – ширина доски; r – радиус пилы; z – выступ пилы за нижнюю пласт доски).

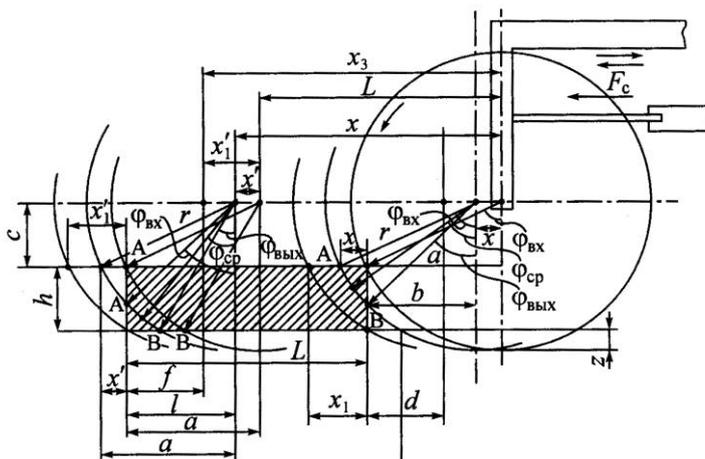


Рис. 1. Схема торцевания пиломатериалов при прямолинейном перемещении узла резания с помощью ЦЛАД

Так как радиус пилы

$$r = c + h + z, \quad (1)$$

то выступ пилы за нижнюю пластъ доски

$$z = r - c - h. \quad (2)$$

С учетом принятых значений $r = 0,2$ м, $L = 0,3$ м, $h = 0,075$ м, $c = 0,105$ м получаем $z = 0,02$ м.

При пилении на заготовку (доску) действуют следующие силы резания: \overline{P}_k – касательная, \overline{P}_n – нормальная. Общая сила

$$\overline{P}_0 = \overline{P}_k + \overline{P}_n. \quad (3)$$

Схема сил, которые действуют при пилении со стороны пилы, представлена на рис. 2.

Скорость резания обычно составляет $50,0 \dots 70,0$ м/с, а скорость подачи – $1,2 \dots 25,0$ м/с. Число зубьев пил: 48, 60, 72 и 96.

При расчетах касательной силы резания принимали следующие параметры: угол косо́й заточки зубьев $\beta = 40 \dots 80^\circ$; подача на зуб $U_z = 0,014 \dots 0,416$ мм; высота пропила $f = 10 \dots 110$ мм; ширина пропила $b = 2 \dots 5$ мм; плотность древесины $\gamma_0 = 0,4 \dots 0,6$ кг/см³; продолжительность чистого резания $T = 0,1 \dots 180,0$ мин; угол резания $\Delta = 70 \dots 125^\circ$.

Нормальную силу резания выражали через касательную силу:

$$P_n = mP_k, \quad (4)$$

касательную – через мощность привода пилы:

$$P_k = \frac{\eta}{V} N \cdot 10^3, \quad (5)$$

где m – коэффициент остроты зуба, $m = 0,2 \dots 0,7$; принято $m = 0,2$;

N – мощность привода механизма резания, $N = 3$ кВт;

η – КПД привода механизма резания, $\eta = 0,95$;

V – скорость резания, м/с.

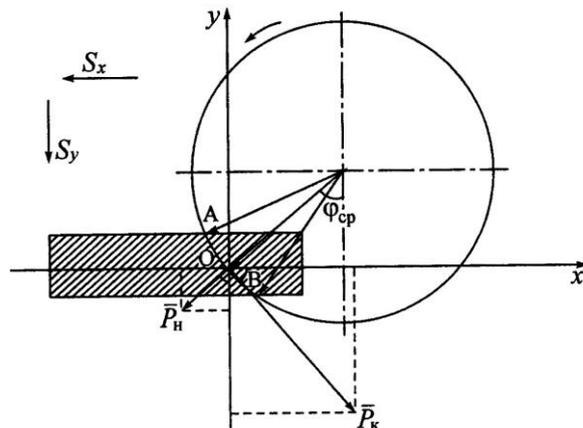


Рис. 2. Схема сил резания

Скорость резания рассчитывали при диаметре пилы $D = 400$ мм и частоте вращения пильного вала $n = 3000$ мин⁻¹. Нормальная сила резания $P_n = 9,0716$ Н.

Согласно рис. 2, проекция силы резания на ось x

$$S_x = P_n \sin \varphi_{cp} - P_k \cos \varphi_{cp}; \quad (6)$$

на ось y :

$$S_y = P_k \sin \varphi_{cp} + P_n \cos \varphi_{cp}, \quad (7)$$

или

$$S_x(x) = P_n \sin \varphi_{cp}(x) - P_k \cos \varphi_{cp}(x); \quad (8)$$

$$S_y(y) = P_k \sin \varphi_{cp}(x) + P_n \cos \varphi_{cp}(x). \quad (9)$$

При расчете параметров движения вторичного элемента (ротора) исходили из того, что его движению сопротивляется сила F_c , направленная обратно к силе S_x :

$$F_c = S_x; \quad (10)$$

$$F_c(x) = P_n \sin \varphi_{cp}(x) - P_k \cos \varphi_{cp}(x). \quad (11)$$

Решение задачи по определению технологических параметров движения механизма перемещения узла резания при пиленнии пиломатериалов на однопильном круглопильном станке сводится к следующему. Силу резания определяют в точке, соответствующей середине дуги резания. Для построения графика изменения положения точки резания при прямолинейной подаче пилы устанавливали зависимость изменения угла резания от величины перемещения вторичного элемента в разные моменты времени.

1. Зависимость угла резания от величины перемещения вторичного элемента в моменты времени, когда угол входа пилы приходится на верхнюю пластъ доски, а угол выхода – на ее правую нижнюю кромку, определяют следующим образом:

$$a = \sqrt{r^2 - (r - z - h)^2}; \quad (12)$$

$$\varphi_{вх} = \arcsin \frac{a}{r} = \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r - z - h)^2}}{r}; \quad (13)$$

$$b = a - x = \sqrt{r^2 - (r - z - h)^2} - x; \quad (14)$$

$$\varphi_{вых} = \arcsin \frac{b}{r} = \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r - z - h)^2} - x}{r}; \quad (15)$$

$$d^2 = r^2 - (r - z)^2; \quad (16)$$

$$d = \sqrt{r^2 - (r - z)^2}; \quad (17)$$

$$d + x_1 = a; \quad (18)$$

$$x_1 = a - d = \sqrt{r^2 - (r - z - h)^2} - \sqrt{r^2 - (r - z)^2}. \quad (19)$$

При изменении x от 0 до x_1 имеем

$$\varphi_{\text{ср1}}(x) = \frac{\varphi_{\text{ввых}} + \varphi_{\text{ввх}}}{2} = \frac{\arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z-h)^2} - x}{r} + \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z-h)^2}}{r}}{2}. \quad (20)$$

2. Зависимость угла резания от величины перемещения вторичного элемента в моменты времени, когда угол входа пилы приходится на верхнюю пластъ доски, а угол выхода – на ее нижнюю кромку, определяют следующим образом:

$$x_2 = L; \quad (21)$$

$$\varphi_{\text{ввх}} = \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z-h)^2}}{r}; \quad (22)$$

$$\varphi_{\text{ввых}} = \arcsin \frac{d}{r} = \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z)^2}}{r}. \quad (23)$$

При изменении x от x_1 до x_2 получаем

$$\varphi_{\text{ср2}}(x) = \frac{\varphi_{\text{ввых}} + \varphi_{\text{ввх}}}{2} = \frac{\arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z)^2}}{r} + \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z-h)^2}}{r}}{2}. \quad (24)$$

3. Зависимость угла резания от величины перемещения вторичного элемента в моменты времени, когда угол входа пилы приходится на левую пластъ доски, а угол выхода – на ее нижнюю кромку, определяют следующим образом:

$$\varphi_{\text{ввых}} = \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z)^2}}{r}; \quad (25)$$

$$l = a - x'; \quad (26)$$

$$x' = x - L; \quad (27)$$

$$l = a - (x - L) = a - x + L = \sqrt{r^2 - (r-z-h)^2} - x + L; \quad (28)$$

$$\varphi_{\text{ввх}} = \arcsin \frac{l}{r} = \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z-h)^2} - x + L}{r}; \quad (29)$$

$$f^2 = r^2 - (r-z)^2; \quad (30)$$

$$f = \sqrt{r^2 - (r-z)^2}; \quad (31)$$

$$x^3 = L + x'; \quad (32)$$

$$x'_1 = a - f = \sqrt{r^2 - (r-z-h)^2} - \sqrt{r^2 - (r-z)^2}; \quad (33)$$

$$x'_3 = L + \sqrt{r^2 - (r-z-h)^2} - \sqrt{r^2 - (r-z)^2}. \quad (34)$$

При изменении x от x_2 до x_3 имеем

$$\varphi_{\text{ср3}}(x) = \frac{\varphi_{\text{вых}} + \varphi_{\text{вх}}}{2} = \frac{\arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z)^2}}{r} + \arcsin \frac{\sqrt{r^2 - (r-z-h)^2}}{r} - x + L}{2}. \quad (35)$$

Общая зависимость изменения угла резания от величины перемещения вторичного элемента линейного асинхронного электродвигателя имеет вид:

$$f(x) = \varphi_{\text{ср1}}(x)(\phi(x) - \phi(x - x_1)) + \varphi_{\text{ср2}}(x)(\phi(x - x_1) - \phi(x - x_2)) + \varphi_{\text{ср3}}(x)(\phi(x - x_2) - \phi(x - x_3)). \quad (36)$$

График зависимости угла резания от величины перемещения вторичного элемента представлен на рис. 3.

С учетом изменения угла резания сила сопротивления

$$F_c(x) = P_n \sin f(x) - P_k \cos f(x). \quad (37)$$

Скорость подачи пилы на заготовку будет в данном случае равна скорости движения вторичного элемента линейного асинхронного двигателя. Продолжительность пиления доски для принятых данных составляет $t = 2,33$ с. При этом перемещение $x = 0,38$ м, а скорость вторичного элемента $V = 0,35$ м/с. Необходимость прижима заготовки к столу во время резания зависит от направления проекции сил резания S_x и S_y . В рассматриваемом случае эти силы прижимают заготовку к установочной и направляющей базам, поэтому дополнительных базирующих механизмов для создания силового замыкания не требуется.

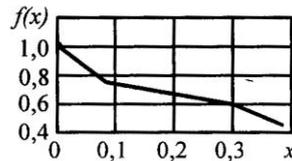


Рис. 3. Изменение угла резания $f(x)$ от перемещения x вторичного элемента

В ходе эксперимента с учетом параметров усилий резания определены технологические параметры движения механизма перемещения узла резания при пилении пиломатериалов на однопильном круглопильном станке, а также привода механизма перемещения узла резания. Для согласования механических характеристик двигателя линейного электропривода с характеристиками исполнительного механизма в процессе торцевания пиломатериалов получены зависимости углов входа и выхода зубьев пилы из зоны пропила древесины и изменения угла резания от величины перемещения вторичного элемента. Полученные зависимости позволяют определять технологические параметры привода механизма перемещения узла резания, в частности, с линейным двигателем.

Поступила 4.04.05

Архангельский государственный
технический университет

Substantiation of Operational Parameters for Mechanism of Cutting Angle Transfer in Butt Saw

The parameters of transfer mechanism for in-line motion of the cutting angle of a single-blade circular saw from a linear drive are substantiated.



УДК621.891 (031)

В.А. Ермичев, В.П. Тихомиров

Ермичев Владимир Алексеевич родился в 1937 г., окончил в 1959 г. Пермский сельскохозяйственный институт, доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 180 печатных работ в области проектирования сельскохозяйственных и лесных машин, их экологической оценки и работоспособности.



Тихомиров Петр Викторович родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры механизации лесной промышленности и лесного хозяйства БГИТА. Имеет 10 печатных трудов в области моделирования трибологических процессов в зубчатых колесах.



РАСЧЕТ ПЕРЕДАЧ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Установлено, что наличие смазочного материала увеличивает жесткость зубьев зубчатых колес. Приведена методика определения фактической площади контакта, что позволяет выявить трибологические характеристики передачи зацеплением.

Ключевые слова: площадь контакта, шероховатость, смазочный материал, зубчатые колеса.

Работоспособное состояние лесохозяйственных машин в основном определяется надежностью колес зубчатых передач. В ходе анализа установлено, что основная причина отказа зубчатых колес – усталостное разрушение, вызванное износом зубьев. Так, оцениваемый 80 %-й ресурс работы зубчатых передач для трактора ТДТ-55А составил по мотосчетчику 2200 ч, для ТБ-1 – 1600 ч [1].

Повышение долговечности передач зубчатыми колесами с учетом особенностей эксплуатации лесохозяйственных машин, установление и теоретическое обоснование ресурса зубчатых колес по экономическим показателям являются актуальными задачами, имеющими важное значение для практики. Решение подобных задач требует новых подходов к оценке работоспособного состояния зубчатых колес. Существующий метод расчета на прочность (ГОСТ 21354–87) не учитывает в явном виде реальное состояние контакта (наличие смазочного материала в зоне касания и шероховатость рабочих поверхностей зубьев).

Цель данного исследования – разработка методики количественной оценки параметров состояния контакта, что будет способствовать уточнению расчетов зубчатых передач на прочность и износостойкость.

Рассмотрим линейный нагруженный контакт выпуклых деталей с шероховатыми поверхностями при наличии масла и без него. Полагаем, что

одна часть номинальной площади контакта ($A_a = 2b_n^* b_2$, где $2b_n^*$ – ширина площадки контакта с учетом шероховатости; b_2 – ширина зуба колеса) занята металлическим контактом (или покрыта слоем адсорбированных молекул масла), другая – порами, заполненными маслом, и каналами, по которым происходит утечка смазочного материала.

Для того, чтобы оценить величину этих площадей, примем следующие предположения, позволяющие рассмотреть несмазанный и смазанный контакты.

Несмазанный контакт. По формуле Г. Герца полуширину площадки касания двух выпуклых тел (цилиндров) определяют выражением

$$b_n = 0,798 \sqrt{2w_n \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} (\theta_1 + \theta_2)},$$

где w_n – удельная нагрузка, Н/мм;

$R_{1, 2}$ – радиусы сопрягаемых цилиндров, мм;

$\theta_{1,2} = (1 - \nu_{1,2})/E_{1,2}$;

$\nu_{1,2}$ – коэффициенты Пуассона;

$E_{1,2}$ – модули упругости материалов шестерни и колеса.

Приведенная зависимость справедлива для гладких (без шероховатости) несмазанных поверхностей сопряженных деталей. Наличие шероховатого слоя дает основание считать, что его физико-механические характеристики отличаются от свойств основного материала колес. Структура этого слоя характеризуется множеством микрогеометрических высотных и шаговых параметров. Одним из комплексных параметров, отражающих особенности структуры шероховатого слоя, является фрактальная размерность D ($1 < D < 2$). Чем больше величина D , тем сложнее профиль (для прямой линии $D = 1$). Известно, что существует связь между параметрами шероховатости и физико-механическими свойствами шероховатого слоя. Введем понятие эффективного модуля упругости E_{eff} , связанного с фрактальной размерностью следующим соотношением:

$$E_{eff} = E \varepsilon^{-\zeta/(2-D)}.$$

7*

Здесь E – модуль упругости основного материала;

ε – относительное сближение поверхностей, $0 < \varepsilon < 1$;

ζ – коэффициент, входящий в показатель степени, в первом приближении $\zeta = 1$.

Введение эффективного модуля E_{eff} позволяет найти полуширину площадки контакта с учетом шероховатости по формуле

$$b_n^* = 0,798 \sqrt{2w_n \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left[\frac{2(1 - \nu_1^2)}{E_{eff1}} + \frac{2(1 - \nu_2^2)}{E_{eff2}} \right]}. \quad (1)$$

Для стальных колес, поверхности которых имеют одинаковую шероховатость, выражение (1) запишем в виде

$$b_n^* = 4,644 \cdot 10^{-3} \sqrt{w_n \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \varepsilon^{1/(2-D)}}.$$

Зависимость отношения полуширины площадки контакта по Герцу к полуширине с учетом шероховатости от удельной нагрузки w приведена на рис. 1. Здесь принято: $E = 2,15 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$; $D = 1,5$; $w_n = 100 \text{ Н/мм}$; $R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 50 \text{ мм}$. При увеличении удельной нагрузки (сближение цилиндров в основном за счет деформации шероховатого слоя) эффективный модуль растет, приближаясь к модулю упругости основного металла.

Расчетная оценка полуширины $\beta(w)$ площадки контакта с учетом шероховатости зависит от относительного сближения, значение которого в неявном виде входит в уравнение (1). Примем следующее допущение. Шероховатый слой представим в виде упругого покрытия одинаковой толщины (рис. 2), равной $\Delta = R_{\max 1} + R_{\max 2}$. Здесь толщина слоя Δ равна сумме наибольших высот неровностей первого и второго тел. Этот слой обладает переменной жесткостью, зависящей от относительного сближения. Такой подход позволяет найти относительное сближение:

$$\varepsilon = \frac{\delta_{\max}}{R_{\max 1} + R_{\max 2}}.$$

(2)

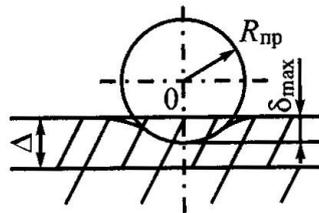
В соответствии с рис. 2 для упругого контакта найдем

$$b_n^* = \sqrt{\delta_{\max} R_{np}}, \quad (3)$$

где $R_{np} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$.

Приравняв выражения (1) и (3), запишем

Рис. 2. Схема контакта цилиндра с полупространством при наличии шероховатого слоя в виде упругого покрытия

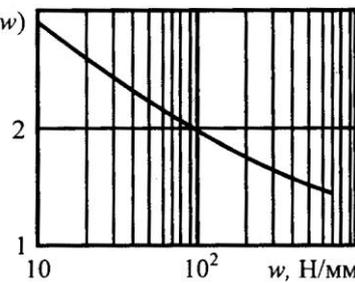


$$0,798 \sqrt{2w_n \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left[\frac{2(1-\nu_1^2)}{E_{eff 1}} + \frac{2(1-\nu_2^2)}{E_{eff 2}} \right]} = \sqrt{R_{np} \delta_{\max}}.$$

Решим полученное уравнение с учетом выражения (2) относительно ε , приняв $\nu_1 = \nu_2 = \nu$ и $E_1 = E_2 = E$.

Тогда

Рис. 1. Зависимость отношения $\beta(w)$ полуширины площадки контакта по Герцу к полуширине с учетом шероховатости от удельной нагрузки w



$$\varepsilon = \left[4,636 \frac{w_n (1 - \nu^2)}{E(R_{\max 1} + R_{\max 2})} \right]^{\frac{2-D}{3-D}}$$

Полученная формула позволяет найти параметры контактирования твердых тел с шероховатыми поверхностями.

Контакт зубьев при наличии смазочного материала. Определим площадь, занятую заполненными маслом порами.

Приведем некоторые выводы, сделанные в работе [1] на основании анализа экспериментальных данных:

1. При постоянном контактом давлении с увеличением номинальной площади контакта наблюдается рост контактной жесткости как в стыке без масла, так и при наличии смазочного материала. Это можно объяснить тем, что темп роста нагрузки превышает увеличение деформации.

2. Для смазанного стыка соотношение между контактной жесткостью и номинальной площадью касания имеет вид $j = cA_a$ (где c – коэффициент пропорциональности, зависящий от вязкости смазочного материала и имеющий размерность Н/(мкм·мм²); A_a – номинальная площадь контакта). Коэффициент c представляет собой удельную контактную жесткость j_n , величина которой с увеличением давления возрастает [2, 3].

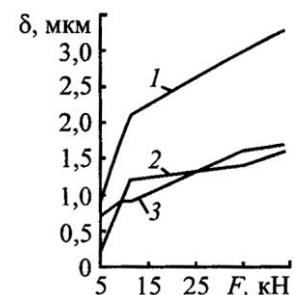
Результаты экспериментов явились основанием для разработки модели контактного взаимодействия твердых тел, имеющих шероховатые поверхности, с учетом смазочного материала в зоне контакта. Рассмотрим структурные особенности зоны касания сопряженных поверхностей. Картина распределения пор, пятен касания и каналов, полученная совмещением шероховатых поверхностей, меняется при увеличении сближения, и площадь, занятая металлическими контактами, растет. При сжатии стыка одна часть масла выжимается из зоны контакта по капиллярам, пронизывающим эту зону, другая остается в стыке, заполняя замкнутые поры. Полагаем масло, заполняющее замкнутые поры, несжимаемой жидкостью. В этом случае заполненную маслом пору в нагруженном стыке можно рассматривать как тело, находящееся в пластическом состоянии, и считать, что давление масла равно пределу текучести σ_T .

Тогда часть нагрузки, приходящаяся на поры, определяется выражением

$$F_M = A_p \sigma_T,$$

где A_p – площадь поперечного сечения поры, мм.

На рис. 3 приведены зависимости сближения δ от нагрузки F для чугунных деталей без наличия в зоне контакта смазочного материала (кривая 1) и при наличии масла (кривая 2).



Номинальная площадь контакта составляла $A_a = 17600 \text{ мм}^2$. Приведенные кривые описываются степенной зависимостью $\delta = cF^n$ (где c – коэффициент; n – показатель степени, $n < 1$). Обращает на себя внимание тот факт, что зависимость разности сближений в стыке без масла и при наличии масла от нагрузки носит линейный характер. Это определенным образом подтверждает ранее сделанное предположение о пластическом состоянии зон, ограниченных замкнутыми и заполненными маслом порами.

Как показывают экспериментальные данные, размеры и количество пор оказывают существенное влияние на параметры контакта. Определим средний размер пор и их число, от которых зависит контактная жест-

Рис. 3. Зависимость сближения от нагрузки: 1 – без смазочного материала, 2 – при наличии масла, 3 – разность деформаций

кость, герметичность стыка и режим смазки. Введем обозначение: $x = A_p/A_{\max}$, где A_{\max} – максимальное значение площади поры в рассматриваемом стыке. Полагаем, что распределение относительной величины площади пор подчиняется следующему степенному закону:

$$F(x) = x^{D/2}, \quad x \in [0,1].$$

Плотность распределения пор определяем из выражения

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} = \frac{D}{2} x^{D/2-1}.$$

Математическое ожидание величины x :

$$\langle x \rangle = \int_0^1 x f(x) dx = \frac{D}{D+2}.$$

Тогда $\langle A_p \rangle = D/(D+2)A_{\max}$. При $D = 1,5$ среднее значение площади пор $\langle A_p \rangle = 0,428A_{\max}$.

Метод определения числа пор, заполненных маслом, для нагруженного стыка состоит в следующем. При разных уровнях нагрузки определяют контактные деформации в стыке без смазочного материала δ_c и при наличии масла δ_{cm} . Затем находят разность $\delta_n = \delta_c - \delta_{cm}$ и определяют зависимость этой разности от усилия сжатия стыка $F_n(\delta_n)$. Как показывают результаты эксперимента, эта зависимость носит линейный характер:

$$F_n = F_0 + c_1 \delta_n = F_0 + c_2 \delta_n A_a, \quad (4)$$

где c_1 – угловой коэффициент; $c_2 = c_1/A_a$; F_0 – пороговое значение усилия, соответствующее моменту возникновения замкнутых пор.

При этом

$$F_n = A_p \sigma_T.$$

Из выражения (4) найдем площадь, занимаемую замкнутыми порами:

$$A_p = (F_0 + c_2 \delta_n A_a) / \sigma_T.$$

Тогда число пор на рассматриваемой номинальной площади контакта

$$N = A_p / \langle A_p \rangle.$$

Обработка экспериментальных данных при фиксированном значении номинальной площади стыка позволила найти аппроксимирующие функции, адекватно описывающие зависимости сближения (рис. 3) от на-

грузки без смазочного материала (кривая 1), со смазочным материалом в стыке (кривая 2) и разности деформаций (кривая 3):

$$\delta_c = 1,9014 + 2,4599 \lg F ;$$

$$\delta_{cm} = 0,9287 + 1,8136 \lg F.$$

Линейный участок нижней линии (2), соответствующий диапазону усилий от 5 до 15 кН, можно описать уравнением

$$\delta_n = 1,297 + 0,03034F.$$

Нижнее значение рассматриваемого диапазона усилий соответствует началу возникновения закрытых пор.

Дадим количественную оценку площади, занимаемой порами в смазанном контакте. Пусть $F_0 = 5$ кН. При усилиях $F_n = 10$ кН, используя вышеприведенные формулы, найдем коэффициент $c_1 = 3,125$ кН/мм. Тогда определим площадь пор в стыке при $F_n = 10$ кН и $\sigma_T = 100$ Н/мм²:

$$A_n = \frac{5 + 3,125(1,297 + 0,03034 \cdot 10)}{100 \cdot 10^{-3}} = 100 \text{ мм}^2.$$

Относительная площадь пор $A_n/A_a = 100/17600 = 0,0057$.

Таким образом, установлена физическая природа увеличения контактной жесткости для смазанного контакта. Приведенная методика определения фактической площади касания, занятой маслом, позволяет рассчитать коэффициент трения, износостойкость и оценить ресурс работы зубчатых колес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Питухин, А.В.* Вероятностно-статистические методы механики разрушения и теория катастроф в инженерном проектировании [Текст] / А.В. Питухин. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. – 304 с.
2. *Чихладзе, Г.Е.* Влияние масштабного фактора на поведение смазанного контакта [Текст] / Г.Е. Чехладзе // Моделирование трения и износа: материалы Первого межотраслевого науч. семинара. – М., 1970. – С. 219–226.
3. *Чихладзе, Г.Е.* О влиянии масштабного фактора на контактную жесткость чугуновых шлифованных деталей [Текст] / Г.Е. Чехладзе // Машиностроение. – 1966. – № 6. – С. 80–85. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 30.10.06

Брянская государственная
инженерно-технологическая академия

V.A. Ermichev, P.V. Tikhomirov

Calculation of Spur Gears Transmissions for Forestry Machines

It is established that oil lubricant presence enhances stiffness and rigidity of gear wheel teeth. The technique for determining the actual contact area is provided allowing to reveal tribological characteristics of transmission by toothings.

УДК 621.311

С.П. Агеев

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства Севмашвуза. Имеет более 50 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОКОРОЧНЫХ СТАНКОВ

Проанализированы режимы электропотребления окорочных станков в зависимости от их загрузки и графика работы.

Ключевые слова: потребляемая мощность, электроэнергия, удельный расход электроэнергии, среднечасовая производительность, график электропотребления.

К числу задач, решаемых при установлении режимов работы производственных агрегатов, относят выбор наиболее целесообразного режима нагрузки агрегатов и определение наиболее выгодного графика использования его во времени.

Выбор наилучшего режима работы оборудования зависит от многих технологических и экономических факторов, в том числе от электроэнергии. От правильного решения этой задачи во многом зависит как выполнение плана выработки продукции, так и производительность труда, себестоимость продукции, ритмичность работы и величина удельного расхода электроэнергии. При этом нормализация режимов работы оборудования неотделима от решения задачи нормирования электропотребления. В процессе установления норм удельных расходов электроэнергии необходимо не только знать заданный объем выработки продукции и энергетические характеристики агрегат-операций, но и учитывать установленный нормализованный режим работы соответствующих агрегатов.

В целях обеспечения максимальной экономии электроэнергии по каждой технологической операции можно установить такой режим работы оборудования, который при заданном объеме выработки продукции и нормализованных параметрах работы обеспечит наименьший средний удельный расход электроэнергии за календарный период времени. Такой режим работы называют энергетически наивыгоднейшим [2]. Однако стремление максимально приблизиться к таким условиям часто ограничено следующими производственными условиями:

диспропорция производственных мощностей оборудования участка (цеха, предприятия), вызывающая неполную загрузку отдельных агрегатов;

отсутствие промежуточных хранилищ (накопителей), не допускающее образования даже небольших запасов полуфабрикатов на отдельных

операциях технологического процесса, что в условиях диспропорции мощностей оборудования приводит к вынужденной непрерывной работе отдельных агрегатов со сниженной часовой производительностью;

недопустимость перерывов или ограничение длительности допустимых перерывов между операциями по технологическим условиям;

ограничение длительности возможных перерывов в движении продуктов обработки между операциями по условиям поточности и заданного ритма производства.

Выбор энергетически выгодного режима работы оборудования сводится, в основном, к установлению графика использования агрегатов в календарный период времени и во многом зависит от формы его энергетической характеристики.

В настоящей статье рассмотрены энергетические режимы работы окорочных станков, используемых в лесопильном производстве деревообрабатывающих комбинатов. Ранее нами [1] было получено уравнение энергетической характеристики окорочного станка:

$$P = \Delta P_{\text{пост}} + c\sqrt{A}, \quad (1)$$

где P – потребляемая мощность, кВт;

$\Delta P_{\text{пост}}$ – мощность постоянных потерь электроэнергии, кВт;

c – параметр, характеризующий энергоемкость процесса окорки;

A – производительность станка, м³/ч.

При нормировании и анализе удельных расходов электроэнергии по агрегат-операциям используют ряд показателей и характеристик, относящихся к продолжительности, производительности и количеству потребляемой производственным оборудованием электроэнергии. Рассмотрим только те, которые необходимы для анализа режимов электропотребления окорочных станков.

Эффективное время $T_э$ – время, в течение которого на станке выполняют окорку древесины, т.е. когда имеет место полезное потребление электроэнергии.

Вспомогательное время $T_в$ – время, в течение которого происходят операционные холостые ходы, т.е. когда имеет место бесполезное потребление электроэнергии.

Операционное время $T_о$ – время, в течение которого на станке выполняют заданную операцию (непрерывно или циклично).

В циклических процессах операционное время формируют согласно следующему выражению:

$$T_о = \sum_{i=1}^n \tau_{oi} = \sum_{i=1}^n (\tau_{эi} + \tau_{вi}) = T_э + T_в,$$

где $T_э$ – эффективное время, $T_э = \sum_{i=1}^n \tau_{эi}$;

$T_в$ – вспомогательное время, $T_в = \sum_{i=1}^n \tau_{вi}$;

τ_0 – время одного полного операционного цикла окорки древесины;

τ_B – вспомогательное время одного операционного цикла;

$\tau_э$ – эффективное время одного операционного цикла;

n – число полных операционных циклов окорки древесины на данном отрезке календарного периода;

Внеоперационное время T_H – время, характеризующее перерывы, выходящие за пределы T_0 , но находящиеся в пределах рабочей смены; при этом оборудование останавливают.

Календарное время агрегата T_K – период, в течение которого станок используют для работы на данном отрезке времени (смена, сутки, месяц); при этом

$$T_K = T_0 + T_H = T_э + (T_B + T_H).$$

Полный коэффициент использования станка во времени учитывает общее влияние перерывов $T_B + T_H$ в окорке древесины за календарное время (смена):

$$K = \frac{T_э}{T_K} = \frac{T_K - (T_B + T_H)}{T_K}.$$

Коэффициент использования в операционном времени отражает влияние операционных перерывов T_B в эффективной работе станка:

$$K_0 = \frac{T_э}{T_0} = \frac{T_0 - T_B}{T_0}.$$

Коэффициент использования в календарном времени характеризует влияние внеоперационных перерывов T_H в работе станка:

$$K_H = \frac{T_0}{T_K} = \frac{T_K - T_H}{T_K}.$$

Между рассматриваемыми коэффициентами существует следующая связь:

$$K = \frac{T_э}{T_K} = \frac{T_э}{T_0} \frac{T_0}{T_K} = K_0 K_H.$$

Рассмотрим характерные режимы работы окорочных станков и показатели, характеризующие эти режимы.

1. Непрерывная работа с максимальной производительностью A_{\max} .

В этом режиме станок окоривает бревна без межторцевых разрывов в течение всего календарного времени T_K (рабочая смена). Тогда потребление электроэнергии W_K выразим уравнением

$$W_K = \Delta P_{\text{пост}} T_K + \delta_{\max} A_{\max} T_K,$$

где δ_{\max} – переменный удельный расход электроэнергии, соответствующий максимальной производительности, кВт·ч/м³.

В случае криволинейной энергетической характеристики переменный удельный расход является функцией производительности оборудования. Для окорочных станков, энергетическую характеристику которых опи-

сывает уравнение (1), переменный расход электроэнергии определяем по выражению

$$\delta(A) = \frac{c\sqrt{A}}{A} = \frac{c}{\sqrt{A}}.$$

Этот расход совокупно учитывает изменение потребляемой мощности при изменении производительности станка за счет переменных (нагрузочных) потерь мощности $\Delta P_{\text{пер}}$ и полезной мощности P_2 . График изменения переменного удельного расхода электроэнергии приведен на рис. 1.

Среднее значение потребляемой мощности за время T_k :

$$P_k = \frac{W_k}{T_k} = \Delta P_{\text{пост}} + \delta_{\text{max}} A_{\text{max}} = \Delta P_{\text{пост}} + c\sqrt{A_{\text{max}}}.$$

Рис. 1. График переменного удельного расхода электроэнергии

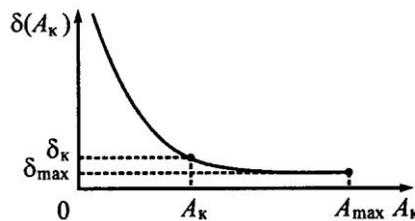
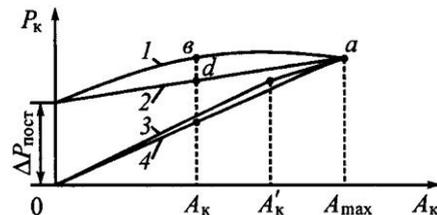


Рис. 2. Графики энергетических характеристик мощности окорочных станков



Графики зависимости мощности P_k от среднесменной производительности A_k показаны на рис. 2. Этому режиму соответствует точка a .

Средний удельный расход электроэнергии

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \frac{c}{\sqrt{A_k}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_{\text{max}}} + \frac{c}{\sqrt{A_{\text{max}}}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_{\text{max}}} + \delta_{\text{max}} = d_{\text{min}},$$

т.е. принимает минимальное значение.

Графики зависимости удельного расхода электроэнергии от среднесменной производительности приведены на рис. 3. Этому режиму соответствует точка a .

2. Непрерывная работа при $A_k < A_{\text{max}}$.

Этому режиму соответствуют

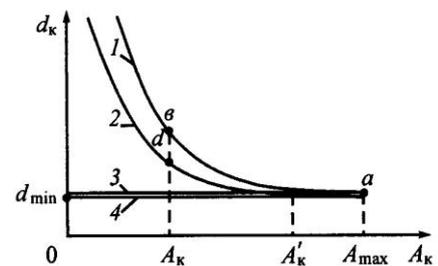


Рис. 3. Графики удельного расхода электроэнергии окорочного станка

кривые 1 на рис. 2, 3. Потребление электроэнергии выражают уравнением

$$W_k = \Delta P_{\text{пост}} T_k + \delta_k A_k T_k,$$

среднее значение потребляемой мощности:

$$P_k = \Delta P_{\text{пост}} + \delta_k A_k = \Delta P_{\text{пост}} + c \sqrt{A_k}. \quad (2)$$

Среднее значение удельного расхода электроэнергии

$$d = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \delta_k = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \frac{c}{\sqrt{A_k}}. \quad (3)$$

Этот режим является наименее выгодным при любых условиях нагрузки, так как ему при заданной производительности $A_k < A_{\text{max}}$ соответствуют наибольшие значения средних потребляемой мощности P_k (точка *в*, рис. 2) и удельного расхода d_k (точка *в*, рис. 3).

3. Непрерывная работа при $A_k < A_{\text{max}}$ и с холостыми ходами.

Этому режиму соответствуют линии 2 на рис. 2, 3. График потребляемой мощности $P(t)$ приведен на рис. 4, *а*, а на рис. 4, *б* представлена его упорядоченная диаграмма на интервале времени T_k .

Холостой ход окорочных станков ($A = 0$) вызван межторцевыми разрывами между бревнами, поступающими на окорку. Расход электроэнергии за время T_k определяют по выражению

$$W_k = \Delta P_{\text{пост}} T_k + \delta_{\text{max}} Q,$$

где $Q = A_{\text{max}} T_3$ – объем окоренных бревен, м^3 .

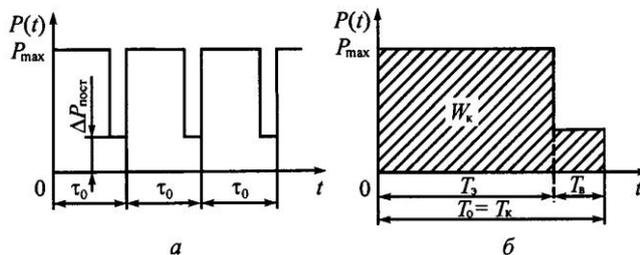


Рис. 4. График потребляемой мощности (*а*) и его упорядоченная диаграмма (*б*) при режиме работы 3

Средняя за смену потребляемая мощность

$$P_k = \Delta P_{\text{пост}} + \delta_{\text{max}} \frac{Q}{T_k} = \Delta P_{\text{пост}} + \delta_{\text{max}} A_k, \quad (4)$$

где $A_k = K_o A_{\text{max}}$ – среднечасовая производительность станка за смену.

Средний удельный расход электроэнергии

$$d_k = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \delta_{\text{max}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \frac{c}{\sqrt{A_{\text{max}}}}. \quad (5)$$

При сравнении выражений (2) и (4), а также (3) и (5) установлено, что при одинаковой среднечасовой производительности A_k средние значе-

ния потребляемой мощности P_k (см. рис. 2, точки b и d) и удельного расхода d_k (рис. 3, точки b и d) в этом режиме меньше, чем в предыдущем. В условиях непрерывной работы станков при любой заданной среднесменной производительности $A_k < A_{max}$ этот режим экономически выгоднее непрерывного режима без межторцевых разрывов между бревнами.

4. Прерывистый режим работы с максимальной производительностью A_{max} .

В этом режиме периоды работы окорочного станка при максимальной часовой производительности чередуются с перерывами, сопровождающимися полным остановом станка. График потребляемой мощности $P(t)$ и его упорядоченная диаграмма приведены на рис. 5. Останов станков может быть вызван технологическими причинами.

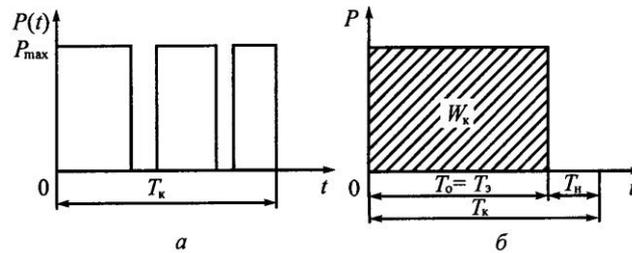


Рис. 5. График потребляемой мощности (а) и его упорядоченная диаграмма (б) при режиме работы 4

Расход электроэнергии в этом режиме определяют по выражению

$$W_k = \Delta P_{\text{пост}} T_{\text{э}} + \delta_{\text{max}} Q,$$

где $Q = A_{\text{max}} T_{\text{э}}$ – объем окоренных бревен, м³.

Средняя за смену потребляемая мощность

$$P_k = \Delta P_{\text{пост}} \frac{T_{\text{э}}}{T_k} + \delta_{\text{max}} \frac{Q}{T_k} = \Delta P_{\text{пост}} K_n + \delta_{\text{max}} A_k, \quad (6)$$

где $A_k = K_n A_{\text{max}}$ – среднечасовая производительность станка за смену.

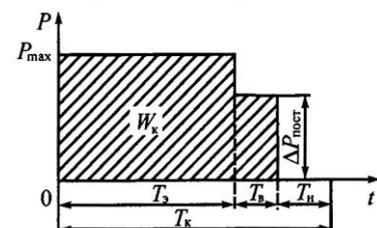
Уравнению (6) соответствует прямая линия 4 (см. рис. 2). В этом режиме среднечасовая производительность станка зависит от коэффициента его использования в календарный период времени.

Среднее значение удельного расхода электроэнергии

$$d_k = K_n \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \delta_{\text{max}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_{\text{max}}} + \delta_{\text{max}} = d_{\text{min}}.$$

На диаграмме удельному расходу энергии (рис. 3) соответствует прямая линия 4 наименьшего значения удельного расхода d_{min} . Этот режим экономически наиболее выгоден при любой заданной производительности $A_k < A_{\text{max}}$, так как ему соответствуют наименьшие средние потребляемая мощность и удельный расход электроэнергии.

5. Прерывистый режим работы с максимальной производительностью A_{max} и холо-



стыми ходами.

Упорядоченная диаграмма графика потребляемой мощности, соответствующего этому режиму, показана на рис. 6.

Расход электроэнергии в этом режиме определяют по выражению

$$W_k = \Delta P_{\text{пост}} T_o + \delta_{\text{max}} Q,$$

где $Q = A_{\text{max}} T_o$ – объем окоренных бревен, м³.

Среднее значение потребляемой мощности

$$P_k = \Delta P_{\text{пост}} \frac{T_o}{T_k} + \delta_{\text{max}} \frac{Q}{T_k} = \Delta P_{\text{пост}} K_n + \delta_{\text{max}} A_k,$$

где $A_k = K_n K_o A_{\text{max}}$ – среднечасовая производительность станка.

Таким образом, среднечасовая производительность зависит как от коэффициента K_o , так и от коэффициента K_n . На графиках энергетических характеристик (см. рис. 2) потребляемой мощности этому режиму соответствует ломаная линия 3. Здесь $A'_k = K_o A_{\text{max}}$ – среднечасовая производительность станка, которая имела бы место при отсутствии явных простоев ($K_n = 1$), но при наличии холостых ходов ($K_o < 1$). При построении этой линии принято, что на участке 0 – A'_k среднечасовая производительность возрастает за счет уменьшения внеоперационных простоев (увеличение коэффициента K_n), а далее – за счет уменьшения операционных перерывов (увеличение K_o).

Среднее значение удельного расхода электроэнергии при заданной производительности $A_k \leq A'_k$

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = K_n \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_k} + \delta_{\text{max}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{A_{\text{max}} K_o} + \delta_{\text{max}} > d_{\text{min}}.$$

Дальнейшее снижение удельного расхода происходит за счет уменьшения операционных перерывов в работе станка. На диаграмме удельного расхода энергии (рис. 3) рассматриваемому режиму соответствует линия 3.

Выводы

1. С точки зрения экономии электроэнергии непрерывная работа в постоянном режиме выгодна только тогда, когда производственная программа позволяет загрузить станок по его максимальной производительности $A_k = A_{\text{max}}$ в течение всего данного периода времени T_k .

2. Если условиями производства обусловлена непрерывная работа и задана среднекалендарная производительность $A_k < A_{\text{max}}$, то станок выгоднее эксплуатировать в режиме, при котором периоды работы с максимальной часовой производительностью перемежаются холостыми ходами.

3. Если условие неполной загрузки станка сохраняют, но допустима прерывистая работа, то выгоднее переходить на прерывистый режим, при

Рис. 6. Упорядоченная диаграмма графика потребляемой мощности

котором периоды работы с максимальной часовой производительностью и с отключением станка чередуют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агеев, С.П.* Энергетическая характеристика окорочного станка [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2007. – № 3. – С. 93 – 99. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Гофман, И.В.* Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий [Текст] / И.В. Гофман. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 315 с.

Поступила 29.03.05

Севмашвтуз

S.P. Ageev

Energy Operating Mode of Debarking Machines

The power consumption mode of debarking machines is analyzed depending on their load and operating schedule.

**ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**

УДК 634.0.813:547.992.3

***А.П. Карманов, Л.С. Кочева, Д.В. Кузьмин,
О.В. Броварова, М.В. Миронов, В.Ю. Беляев***

Карманов Анатолий Петрович родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Куйбышевский политехнический институт, доктор химических наук, заведующий лабораторией физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 250 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, самоорганизации, фракталов, нелинейной динамики.



Кочева Людмила Сергеевна родилась в 1957 г., кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 130 печатных работ в области химии и технологии растительных веществ, структурной организации биополимеров, самоорганизации, электронной микроскопии.



Кузьмин Дмитрий Вячеславович – кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории физикохимии лигнина. Имеет 30 публикаций в области физикохимии полимеров, химии лигнина, гидродинамических методов исследования, структурной организации растительных биополимеров.

**СВОЙСТВА РАСТВОРОВ И КОНФОРМАЦИОННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКРОМОЛЕКУЛ ДИОКСАН-
ЛИГНИНОВ***

При исследовании гидродинамических и конформационных свойств макромолекул лигнинов из оболочек зерен овса и древесины лиственницы в растворах ДМФА установлены их молекулярные массы, коэффициенты скоростной седиментации, пороговой диффузии и характеристическая вязкость полимеров.

Ключевые слова: гидродинамические и конформационные свойства лигнина, овес, лиственница.

В результате многочисленных исследований [2, 4, 6] было установлено, что лигнины, выделенные из ксилемы растений различного таксономического происхождения, существенно различаются как по химической

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 06-03-32719).

структуре, так и по физико-химическим свойствам. В настоящее время принято считать, что существуют три типа лигнинов – гваяцильные, сирингилгваяцильные и лигнины травянистых растений. Таким образом, функциональность монолигнолов, из которых построены макромолекулы лигнинов различных типов, неодинакова, что не может не оказать влияния на топологическую структуру макроцепей. Результаты [1, 3] исследования конфигурации макромолекул лигнинов наземных растений подтверждают данное предположение. Было установлено, что лигнины хвойных растений имеют хаотически разветвленные макромолекулы в отличие от лигнинов лиственных древесных, которые характеризуются как регулярно разветвленные полимеры. Менее изученными полимерами являются лигнины трав, особенно лигнины, входящие в состав различных тканей однолетних растений.

Основная цель данной работы – установление конформационных характеристик макромолекул диоксанлигнинов лиственницы и овса в системе полимер–растворитель.

Экспериментальная часть

Препараты лигнинов выделяли из ксилемы лиственницы (*Larix sibirica*) и оболочек зерен овса (*Avena sativa* L.). Древесину лиственницы заготавливали в Троицко-Печорском районе республики Коми (возраст дерева – 170 лет; содержание лигнина (по Комарову) – 31,2 %). Стебли овса с колосьями предоставлены Сысольской сортоиспытательной станцией (содержание лигнина – 21,3 %).

Для выделения препаратов лигнина использовали диоксанный метод. Выход лигнина лиственничной древесины (ЛЛД) – 25,0 %, лигнина оболочек овса (ЛОО) – 41,6 % от содержания лигнина (по Комарову) в исходном сырье. Характеристика лигнинов по элементному составу и функциональным группам представлена в табл. 1.

Результаты исследования лигнинов методами ИК-, ЭПР-, ЯМР-13С-спектроскопии, а также химического анализа свидетельствуют о близости химической структуры лигнинов из стеблей и оболочек овса [5], которые относятся к классу гваяцилсирингильных лигнинов. ЛЛД относится к другому классу этих биополимеров – лигнинам гваяцильного типа.

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

Таблица 1

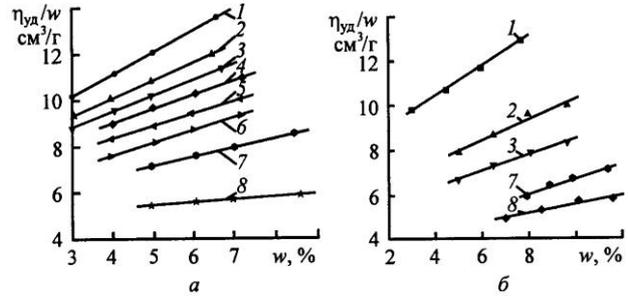
Характеристика препаратов лигнина

Препарат	Обозначение	С	Н	О	ОСН ₃	СООН
		%				
Оболочки зерен овса (<i>Avena sativa</i> L.)	ЛОО	60,5	5,3	33,1	–	4,3

Древесина лиственницы (*Larix sibirica*) | ЛЛД | 57,3 | 5,6 | 37,1 | 15,5 | 1,5

8

Рис. 1. Зависимость приведенной вязкости η_{sp}/w от весовой концентрации w для растворов фракций ЛОО (а) и ЛЛД (б) в ДМФА (цифрами, как и в табл. 2, обозначены номера фракций)



Обсуждение результатов

Вискозиметрические исследования лигнинов. Вязкость растворов измеряли вискозиметром Оствальда с временем истечения растворителя 52,0 с при температуре $(298 \pm 0,02)$ К. Характеристическую вязкость $[\eta]$ фракций полимера определяли линейной экстраполяцией зависимостей приведенной вязкости η_{sp}/w к бесконечному разбавлению, выполненной по уравнению Хаггинса $[\eta]_{sp}/w = [\eta]^2 k_s w$ с учетом поправки на плотность растворов. На рис. 1 представлены результаты вискозиметрических измерений для фракций ЛОО и ЛЛД, в табл. 2 – значения характеристической вязкости $[\eta]$ для фракций исследуемых препаратов.

Таблица 2

Гидродинамические свойства диоксанлигнинов в ДМФА

Порядковый номер	$[\eta]$, см ³ /г	$D \cdot 10^7$, см ² /с	$S \cdot 10^{13}$, с	$M_{SD} \cdot 10^{-3}$	$M_{Dn} \cdot 10^{-3}$	$A_o \cdot 10^{10}$, эрг·К ⁻¹ ·моль ^{-1/3}
Лигнин древесины лиственницы						
1	8,3	10,3	2,62	16,4	10,9	3,0
2	6,0	11,6	1,81	10,1	10,6	2,6
3	5,3	13,2	1,26	6,2	8,1	2,4
4	5,6	15,2	1,08	4,6	5,0	2,5
5	5,4	18,8	1,06	3,6	2,8	2,9
6	4,2	17,8	0,82	3,0	4,2	2,3
7	3,5	18,6	–	–	4,4	–
8	3,7	20,1	–	–	3,3	–
Лигнин оболочек овса						
1	7,8	10,4	2,53	18,3	18,9	3,1
2	7,4	11,3	2,40	16,0	15,6	3,2
3	7,2	11,8	2,31	14,7	14,0	3,2
4	6,9	12,1	2,22	13,8	13,6	3,2
5	6,4	12,7	2,10	12,4	12,7	3,2
6	5,8	13,3	2,06	11,7	12,2	3,1
7	5,5	14,9	–	–	9,1	–
8	5,1	16,2	–	–	7,7	–

Таблица 3

Параметры уравнения Марка–Куна–Хаувинка препаратов лигнина

Препарат	Вид препарата	Растворитель	a	b	c	K_η	K_D	K_S
ЛОО	ДЛ	ДМФА	0,62±0,09	-0,52±0,02	0,48±0,02	$1,75 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$	$2,40 \cdot 10^{-15}$
ЛЛД	ДЛ	ДМФА	0,31±0,07	-0,36±0,04	0,64±0,05	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$0,31 \cdot 10^{-4}$	$0,48 \cdot 10^{-15}$
Лигнин осины*	ЛМР	ДМФА	0,62±0,04	-0,55±0,04	0,45±0,05	$2,72 \cdot 10^{-4}$	$1,59 \cdot 10^{-4}$	$2,09 \cdot 10^{-15}$
Лигнин сосны**	ДЛ	Диоксан	0,28±0,01	-0,35±0,04	0,65±0,06	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$0,22 \cdot 10^{-4}$	$0,22 \cdot 10^{-15}$

* По данным [14]

** По данным [2]

Для препарата ЛЛД вязкость изменяется в пределах от 8,3 до 3,5 см³/г, для ЛОО – от 7,8 до 5,3 см³/г. Закономерный характер изменения вязкости по фракциям позволяет предположить соблюдение принципа молекулярно-массового скейлинга. По величине характеристической вязкости оценивают один из наиболее важных конформационных параметров – индекс (a) Марка–Куна–Хаувинка. Как известно, на величину a влияют несколько факторов, связанных с конформацией цепи: гибкость цепи и ее «толщина» проницаемость клубка цепи и др. В табл. 3 приведены результаты оценки величины a , рассчитанные по зависимости $[\eta]$ от молекулярной массы (ММ) фракций.

Исследование поступательной диффузии макромолекул. Метод поступательной диффузии является совершенно независимым по отношению к вискозиметрии. Диффузия молекул в растворах – это процесс, связанный с тепловым движением растворенного вещества. Она служит прямым методом оценки коэффициентов поступательного трения молекул, на основе которых гидродинамические теории позволяют установить как конформации макромолекул, так и их размеры.

Поступательная диффузия использует классический прием образования границы между раствором полимера и растворителем (ДМФА). Концентрация растворов $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ г/см³. Коэффициенты диффузии D определяли с помощью аналитической ультрацентрифуги МОМ-3180 при использовании полиамидной кюветы наслаивающего типа. Частота вращения ротора – $5 \cdot 10^3$ об/мин. Значения D рассчитывали из построений $(S/H)^2 = f(t)$ по формуле

$$D = (\Delta(S/H)^2 / 4\pi F^2 \Delta t),$$

где S и H – соответственно площадь и максимальная ордината контура диффузионной кривой;

F – масштабный множитель.

На рис. 2, a показаны типичные зависимости $(S/H)^2$ от времени t для некоторых фракций лигнина.

По результатам анализа этих зависимостей рассчитаны значения коэффициентов поступательной диффузии и скейлинговый индекс b Марка-

8*

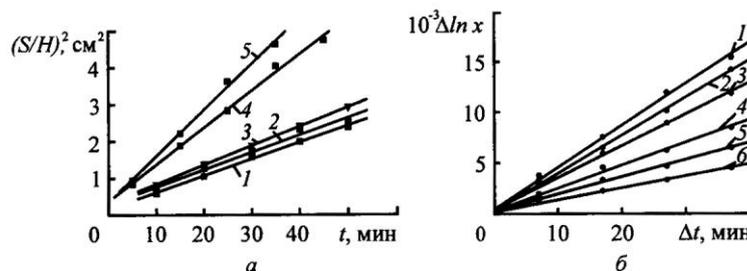


Рис. 2. Временная зависимость $(S/H)^2$ для некоторых фракций образца лигнина ЛОО (а) и зависимость $\Delta \ln x$ от седиментации Δt фракций ЛЛД (б) (цифрами, как и в табл. 2, обозначены номера фракций)

Куна–Хаувинка. Этот параметр b фиксирует изменение гидродинамической проницаемости макромолекул в зависимости от молекулярной массы фракций в формуле, связывающей коэффициент седиментации S с молекулярной массой M : $S = K_S M^{1-b}$ (K_S – коэффициент). Разница между экспериментальной величиной b и величиной, рассчитанной по соотношению $|b_{\text{расч}}| = 1 + a/3$, указывает на отклонение поведения макромолекул от поведения гауссового непроницаемого клубка.

Как показали расчеты, для препарата ЛЛД экспериментальное значение b составляет 0,31, расчетное – 0,44. Причина наблюдаемой разницы может быть связана с асимметрией клубка, обусловленной особенностями топологической структуры макромолекулы ЛЛД, которая отличается от линейной. Для препарата ЛОО экспериментальные и расчетные значения b практически совпадают (в пределах погрешности измерений):

$$|b_{\text{эксп}}| = 0,52 \pm 0,02; b_{\text{расч}} = 0,54.$$

Исследование лигнинов методом скоростной седиментации. Коэффициенты скоростной седиментации S измеряли на ультрацентрифуге МОМ-3180 в двухсекторной полиамидной кювете с образованием искусственной границы при $48 \cdot 10^3$ об/мин по скорости смещения максимума ординаты седиментограммы:

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

где x – координата максимума седиментограммы;

Δt – продолжительность седиментации;

ω – угловая скорость вращения ротора центрифуги.

Концентрация растворов $\sim (1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$ г/см³. Критерий разбавленности Дебая для исследованных образцов меньше 0,025, поэтому зависимость S от концентрации раствора пренебрежимо мала и в расчетах не учитывалась. На рис. 2, б представлены типичные зависимости $\Delta \ln x$ от продолжительности седиментации (на примере фракций препарата ЛЛД в ДМФА).

В табл. 2 приведены коэффициенты седиментации S , значения которых для ЛЛД находятся в интервале 0,82 ... 2,62, а для ЛОО – 2,06 ... 2,53.

Молекулярные массы и гидродинамические инварианты. Для вычислений M_{SD} использовали экспериментальные данные, найденные непосредственно для каждой из анализируемых фракций лигнина:

$$M_{SD} = S_oRT/(1 - \bar{v} \rho_o)D_o,$$

где R – универсальная газовая постоянная;

T – температура, К;

$(1 - \bar{v} \rho_o)$ – фактор плавучести Архимеда системы «полимер–растворитель» (определяли пикнометрическим методом);

\bar{v} – удельный парциальный объем;

ρ_o – плотность растворителя.

При определении ММ низкомолекулярных фракций, вместо соотношения Сведберга (для высокомолекулярных) использовали уравнение

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

где A_o – гидродинамический инвариант, $A_o = \eta_o D_o (M_{SD}[\eta])^{1/3}/T$;

$$[D] = \eta_o D_o / T.$$

Параметр Цветкова–Кленина A_o , определенный методом седиментационно-диффузионного анализа, представляет собой инвариант, отражающий выполнимость самоподобных свойств для фракций с различной ММ как в хороших, так и в Θ -растворителях. Для препарата ЛОО величина этого параметра составляет $(3,1 \dots 3,2)10^{10}$ эрг·К⁻¹·моль^{-1/3}, что совпадает с данными других авторов для синтетических линейных полимеров с гибкими цепями. В отличие от типичных полимеров, инвариант A_o для ЛЛД заметно ниже и составляет в среднем $2,6 \cdot 10^{10}$ эрг·К⁻¹·моль^{-1/3}.

По результатам фракционирования W_i и $M_{D\eta}$ были рассчитаны ММ разного усреднения и параметры полидисперсности, в частности, для ЛЛД образца: $M_w = 7,5 \cdot 10^3$; $M_n = 5,9 \cdot 10^3$; $M_z = 8,8 \cdot 10^3$; $M_w/M_n = 1,3$.

Скейлинговые и конформационные свойства лигнина из оболочек зерен овса. Значения характеристической вязкости $[\eta]$, коэффициентов поступательной диффузии D и скоростной седиментации S представляют собой матрицу базовых данных (табл. 2), на основе которых рассчитываются все основные конформационные и скейлинговые параметры макромолекул исследуемых биополимеров – лигнинов. Конформация макромолекул в растворе идентифицируется за счет установления корреляционных соотношений между $[\eta]$, D , S и ММ, выражаемых степенными уравнениями типа Марка–Куна–Хаувинка (МКХ):

$$[\eta] = K_\eta M^a; D = K_D M^b; S = K_S M^c,$$

где a, b, c – скейлинговые индексы МКХ;

K_η, K_S, K_D – коэффициенты.

Логарифмические зависимости S, D (рис. 3) от ММ аппроксимированы прямыми линиями с коэффициентом корреляции не менее 0,95. Лишь для вискозиметрической зависимости $r \sim 0,92$. По литературным данным [1],

для хвойных лигнинов величина этого параметра варьирует в пределах от 0,1 до 0,3, для травянистых – от 0,7 до 0,8. Нами установлено, что скейлинговый индекс a для системы ЛОО–ДМФА равен 0,62. Диффузионный параметр МКХ для лигнина ЛОО превышает, хотя и ненамного, «критическое» значение $|b| > 0,5$. Соответственно, седиментационный индекс $b_s < 0,5$.

В зависимости от термодинамического качества растворителя, числа мономерных звеньев и размера сегмента Куна линейные макромолекулы могут принимать несколько различных конформаций. Чаще всего в разбавленных растворах реализуются такие конформации, как статистически свернутый (гауссов) клубок, набухший непротекаемый клубок, компактная глобула и протекаемый клубок. Последняя конформация характерна для полимеров с повышенной жесткостью макромолекулярной цепи. По мнению Горинга [4], фрагменты сетчатой структуры полимеров в разбавленном растворе могут находиться в конформации типа набухающая глобула со скейлинговыми параметрами $b_n = 0 \dots 0,15$, $b_D = -0,33 \dots -0,38$, $b_s = 0,67 \dots 0,62$. Классы разветвленных полимеров (хаотические, звездообразные и др.) также образуют непротекаемые клубки, однако статистика распределения мономерных звеньев для этих структур отличается от гауссовой, поскольку макромолекулы указанных типов образуют более компактные клубки по сравнению с простыми линейными полимерами. Таким образом, скейлинговые параметры для системы ЛОО–ДМФА отвечают конформационному состоянию непротекаемого клубка в термодинамически хорошем растворителе. В рамках классических представлений о транспортных свойствах полимеров в растворах значения скейлинговых параметров МКХ однозначно указывают на линейную топологическую структуру макромолекул ЛОО. Однако последнее утверждение входит в противоречие с аномально низкой (для линейной структуры) характеристической вязкостью фракций. Обычно линейные гибкоцепные полимеры имеют вязкость в несколько раз больше, а жесткоцепные – на порядок выше, чем наблюдаемые в данной работе.

Таким образом, вопрос о конфигурации макромолекул лигнина ЛОО остается открытым и требует проведения более детального анализа гидродинамических и конформационных свойств. Возможно, для окончательного вывода о топологической структуре лигнина, выделенного из оболочек овса, потребуется привлечение фрактального анализа с оценкой не только массовых размерностей, но и так называемой спектальной размерности, указывающей на связность мономерных звеньев в полимерной цепочке.

Скейлинговые и конформационные свойства лигнина лиственницы. В табл. 2 представлены гидродинамические характеристики фракций ЛЛД в ДМФА. Величины характеристической вязкости $[\eta]$ всех фракций этого препарата ниже, чем для образца ЛОО. Так, для фракции 8 характеристическая вязкость составляет всего $3,7 \text{ см}^3/\text{г}$, а максимальное значение не превышает $8,3 \text{ см}^3/\text{г}$ (фракция 1). Коэффициенты поступательной диффузии изменяются в обратном порядке, т.е. минимальное значение $10,3 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$ ус-

тановлено для фракции 1, максимальное значение $20,1 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$ – для фракции 8.

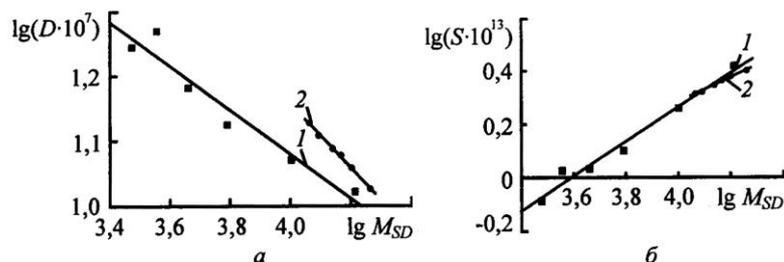


Рис. 3. Зависимости $\lg D$ от $\lg M_{SD}$ (а) и $\lg S$ от $\lg M_{SD}$ (б) для ЛЛД (1) и ЛОО (2)

Величина коэффициентов седиментации закономерно повышается при увеличении гидродинамических размеров макромолекул от $0,82 \cdot 10^{13}$ (фракция 6) до $2,62 \cdot 10^{13}$ с (фракция 1). Значения молекулярной массы M_{SD} , рассчитанные по формуле Сведберга, варьируют в интервале 3000 ... 16400. Очевидно, макромолекулы ЛЛД характеризуются весьма высокой плотностью макромолекулярного клубка, превышающей аналогичные характеристики как для типичных линейных макромолекул, так и для препарата ЛОО.

Прямолинейность зависимостей $\lg D_0$, $\lg S_0$ от $\lg M$ для препарата ЛЛД (рис. 3) свидетельствует о соблюдении принципа масштабной инвариантности в диапазоне измеренных ММ, что позволило вычислить скейлинговые параметры (табл. 3), а также значения гидродинамического инварианта Цветкова–Кленина A_0 . Стандартные ошибки определения скейлинговых индексов для исследованного препарата лигнина невелики, что свидетельствует о корректности линейной аппроксимации результатов в координатах уравнения МКХ и указывает на соблюдение принципа масштабной инвариантности, т.е. фракции ЛЛД составляют полимергомологический ряд. Установлено, что для ЛЛД препарата $A_0 = 2,6$, что также заметно ниже, чем для линейных полимеров. Отличительной особенностью гваяцильных лигнинов, в том числе и препарата ЛЛД, являются низкие значения коэффициентов a и b .

Индекс $a = 0,31$ (табл. 3), что хорошо согласуется с теоретическим значением этого параметра для хаотически разветвленных полимеров. Следует отметить выполнимость соотношения $(1 - b_s) = b_D = 1/3(b_\eta + 1)$. Согласно полученным данным, величины скейлинговых индексов для препарата ЛЛД практически совпадают со значениями, найденными при исследовании лигнинов других хвойных древесных растений, в частности сосны и ели. Анализ экспериментальных результатов дает основание полагать, что макромолекулы лигнина, выделенного из древесины лиственницы, относятся к классу хаотически разветвленных полимеров.

Таким образом, при исследовании физико-химических свойств разбавленных растворов лигнина из древесины лиственницы и овса получены значения ММ, характеристической вязкости, коэффициентов поступательной диффузии, седиментации, констант уравнения Хаггинса. Для обоих образцов лигнина (ЛОО и ЛЛД) показана выполнимость принципа масштабной инвариантности и вычислены значения гидродинамических параметров Цветкова–Кленина и Марка–Куна–Хаувинка. Полученные результаты свидетельствуют о том, что лигнин древесины лиственницы относится к хаотически разветвленным полимерам. Скейлинговые индексы и значения гидродинамического инварианта для препарата лигнина из оболочек зерен овса указывают на линейную топологию макроцепей этого лигнина, однако окончательный вывод о конфигурации макромолекул требует проведения дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карманов, А.П. Самоорганизация и структурная организация лигнина [Текст] / А.П. Карманов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 269 с.
2. Карманов, А.П. Структура макромолекул лигнина [Текст] / А.П. Карманов, Ю.Б. Монаков // ВМС. – 1996. – Т. 38(Б), № 9. – С. 1631–1642.
3. Карманов, А.П. Топологическая структура природного лигнина березы [Текст] / А.П. Карманов [и др.] // ВМС. – 2002. – Т. 44(А), № 2. – С. 233–238.
4. Лигнины (структура, свойства и реакции) [Текст] / Под ред. К. Сарканена, К. Людвига. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 632 с.
5. Миронов, М.В. Выделение и исследование лигнинов из однолетних растений [Текст] / М.В. Миронов, В.А. Белый // X Юбилейная научно-практ. конф. для студентов и аспирантов «Исследования молодежи – экономике, производству, образованию»: сб. материалов. – Сыктывкар, 2006. – Т. 2. – С. 99–102.
6. Fengel, D. Wood: Chemistry. Ultrastructure. Reaction [Text] / D. Fengel, G. Wegener. – Berlin: Walter de Gruyter, 1983. – 320 p.

Институт химии Коми НЦ УрО РАН

Поступила 14.10.06

*A.P. Karmanov, L.S. Kocheva, D.V. Kuzmin, O.V. Brovarova,
M.V. Mironov, V.Yu. Belyaev*

Solution Properties and Conformational Characteristics of Dioxanelignin Macromolecules

Hydrodynamic and conformational characteristics of lignin macromolecules from oat grain coat and larch wood in the DMFA solutions are investigated, their molecular weight, coefficients of speed sedimentation, translational diffusion and polymer intrinsic viscosity are determined.

УДК 676.052.1:66.049.1/.2

В.А. Суслов

Суслов Вячеслав Александрович родился в 1947 г., окончил в 1970 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики, ректор С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет около 85 научных трудов.



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ ВАРОЧНЫХ РАСТВОРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В результате проведенных промышленных, стендовых и теоретических исследований режимов работы выпарных станций предложены пути совершенствования энергоиспользования. Экспериментально показана возможность и приведены параметры безнакипного выпаривания пенных отработанных растворов ЦБП в длиннотрубных аппаратах с гравитационным течением выпариваемого раствора.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажный комбинат, выпарная станция, выпарной аппарат, сульфатный щелок, теплообмен и гидродинамика при кипении, коэффициент теплоотдачи, термическое сопротивление накипи, скорость парорастворной смеси, тепловая нагрузка, концентрация раствора.

Одно из важнейших направлений мирового технического прогресса – всесторонняя интенсификация производственных процессов при сохранении экологических требований. При этом следует отметить, что в отдельных корпусах выпарных станций (ВС) целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) термическое сопротивление накипи в кипятильных трубах составляет более 50 % от полного термического сопротивления теплопередачи и является существенным тормозом увеличения производительности ВС. Несмотря на очевидную технологическую и экономическую актуальность проблемы интенсификации выпаривания за счет снижения интенсивности накипеобразования, в настоящее время на ЦБК практически полностью отсутствуют научно обоснованные методы борьбы с накипью. Это обусловлено сложностью исследования данного вопроса, неразрывно связанного с изучением механизмов теплообмена и гидродинамики при кипении сульфатного щелока и других отработанных растворов ЦБК, конденсацией парогазовой смеси. Практически отсутствуют данные, характеризующие процесс кипения щелочных растворов в трубах выпарных аппаратов (ВА) ВС ЦБК, а имеющиеся отдельные разработки по выпариванию некоторых растворов носят частный характер и отличаются большой противоречивостью.

Первые исследования по теплообмену при кипении водных растворов в вертикальных трубах испарителей и выпарных аппаратов были начаты В.И. Толубинским в 1945 г. Параллельно с этими исследованиями работы по изучению теплообмена проводили Н.Ю. Тобилевич [12] и др. [2–4, 13–17].

Анализ работ по кипению черных щелоков показал, что к настоящему времени, несмотря на определенные успехи, отсутствуют достаточно надежные рекомендации для расчета и регулирования режимов работы выпарной аппаратуры ЦБК. Такое положение вынуждает использовать в инженерной практике расчетные уравнения, полученные для других жидкостей (преимущественно воды) и для других условий. В работе [10] нами были произведены расчеты коэффициента теплоотдачи при кипении сульфатного щелока в диапазоне изменения режимных параметров, типичном для работы ВА, по уравнениям, предложенным в наиболее известной научной литературе. Расхождение значений коэффициентов теплоотдачи при принятых для расчета режимных и физических параметрах объясняется неравномерностью распространения зависимостей, полученных для конкретных сред и условий, на теплообмен при кипении сульфатных щелоков.

Для изучения процесса теплообмена при выпаривании отработанных растворов ЦБК, получения данных для проектирования и создания экспериментальных установок, определения диапазона изменения режимных параметров были проведены теплотехнические исследования режимов работы в промышленных условиях 14 выпарных станций ряда ЦБК [9]. Параметры, характеризующие работу ВС, были получены с помощью контрольно-измерительных приборов щита управления, лабораторных манометров, мановакууметров и термометров, установленных на аппаратах, и термопар, установленных в трубопроводах ВС. Плотность растворов измеряли ареометрами. Измерения проводили в течение нескольких дней с интервалом в 30 мин в установившемся режиме работы батарей. В результате исследований обнаружено, что зависимость интенсивности передачи теплоты от концентрации выпариваемых щелоков обратно пропорциональна. Значения коэффициентов теплопередачи в ВА увеличиваются с возрастанием плотности теплового потока. ВС с небольшой поверхностью теплообмена, работающие по противоточным схемам питания, имели наилучший показатель тепловой эффективности.

Для проведения экспериментальных исследований по теплообмену и гидродинамике при выпаривании отработанных растворов ЦБК были спроектированы и изготовлены следующие стендовые установки, полностью воспроизводящие процессы выпаривания.

1. Стенд с паровым обогревом для изучения теплопередачи при подъемном движении потока, представленный на рис. 1. Основная рабочая часть стенда – кипяtilьная труба диаметром $d = 0,051/0,048$ м и длиной $L = 8,5$ м, $L/d = 165$ [7]. Кипяtilьная труба разделена конденсатосборными стаканами на 19 измерительных участков. Гидродинамические и тепловые параметры работы стенда позволили охватить весь диапазон работы промышленных установок.

2. Установка для исследования гидродинамики гравитационно стекающей пленки жидкости внутри кварцевой трубы длиной 2 м, $L/d = 95$ [6].

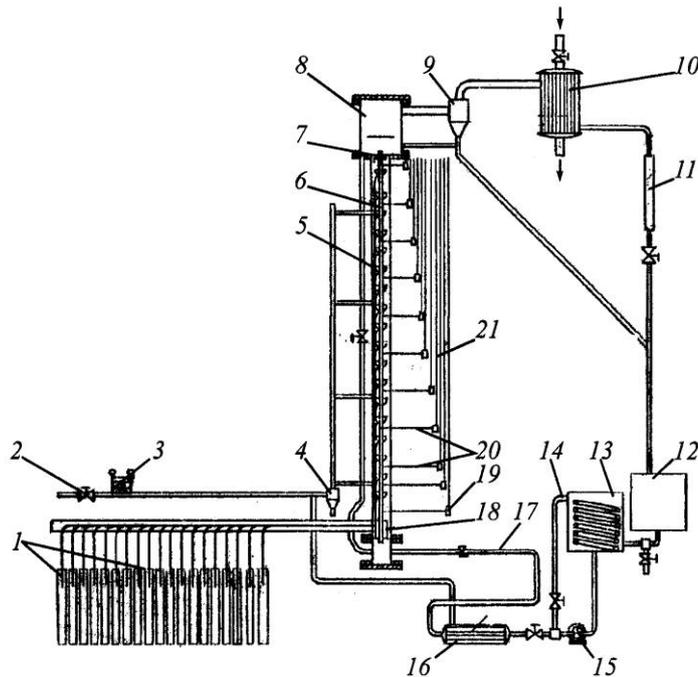


Рис. 1. Схема экспериментального стенда для исследования теплообмена при выпаривании отработанных растворов ЦБП: 1 – мерники конденсата; 2 – игольчатый паровой вентиль; 3 – электроподогреватель; 4 – сепаратор; 5 – конденсаторные стаканы; 6 – экспериментальная кипяtilьная труба; 7, 18 – верхняя и нижняя трубные доски; 8 – сепаратор; 9 – каплеотделитель; 10 – конденсатор вторичного пара; 11 – мерник конденсата; 12 – приемный бак; 13 – расходный бак; 14 – возвратный контур; 15 – насос; 16 – догреватель раствора; 17 – измерительный участок расхода раствора; 19, 21 – пьезометры; 20 – отборы статического давления

3. Установка для исследования теплоотдачи к стекающей пленке внутри стальной трубы с электрообогревом длиной 2 м, $L/d = 95$ (рис. 2) [6].

4. Установка для исследования накипи и борьбы с ней, состоящая из однетрубного вертикального однопроходного ВА с принудительной циркуляцией раствора и паровым обогревом трубы длиной 8,5 м, $L/d = 163$, аппарата магнитной обработки раствора, подогревателя, конденсатора, мерников конденсата, баков, щелочной ловушки [11].

5. Пилотный ВА, работающий на «падающей пленке».

Все установки были укомплектованы контрольно-измерительными приборами и устройствами, обеспечивающими измерение температуры стенки трубы и раствора, плотности теплового потока по длине трубы,

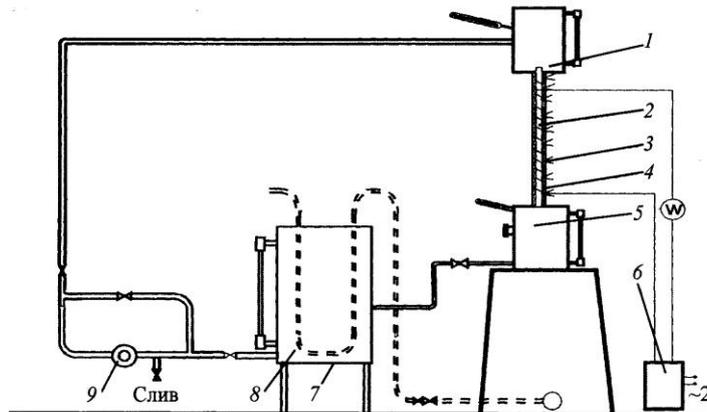


Рис. 2. Схема установки для исследования теплообмена гравитационно стекающей пленки: 1 – растворная камера; 2 – экспериментальный участок; 3 – электрообогреватель; 4 – изоляция; 5 – сепаратор; 6 – регулятор напряжения; 7 – паровой обогрев; 8 – бак; 9 – циркуляционный насос

параметров обогревающего кипяtilьную трубу пара (греющего) и пара, образовавшегося в результате кипения раствора (вторичного), интенсивности теплоотдачи, перепадов давлений на участках канала и ряда других параметров. Исследования проводили на установках в следующем диапазоне режимных параметров:

при подъемном течении – концентрация черного сульфатного щелока на входе в трубу $c = 0 \dots 50$ % абс. сухих веществ (а.с.в.); водного предгидролизата – $0 \dots 30$ % а.с.в.; давление греющего пара $P = 0,175 \dots 0,335$ мПа; давление вторичного пара в сепараторе установки $P_{вт} = 0,081 \dots 0,130$ мПа; скорость циркуляции раствора $w_0 = 0,013 \dots 0,400$ м/с; температура раствора на входе в трубу $t = 96$ °С; плотность теплового потока $q = 2 \dots 100$ кВт/м²;

в условиях гравитационного течения – $q = 5 \dots 35$ кВт/м²; объемная плотность орошения $\Gamma_v = 0,0001 \dots 0,0020$ м³/(м·с).

При этом выдерживали равенство критериев кипения для стендовых установок и промышленных ВА ЦБК, диапазон изменения которых составлял

$$K_w = \frac{q}{\rho'' \Delta i w_0} = 0,14 \dots 2,10; \quad K_i = \frac{q}{\rho' w_0 \Delta i_n} = 0,004 \dots 3,600,$$

где ρ'' и ρ' – плотность соответственно образующегося пара и кипящего раствора, кг/м³;

Δi – энтальпия фазового перехода, кДж/кг;

Δi_n – энтальпия недогрева раствора на входе в трубу, кДж/кг.

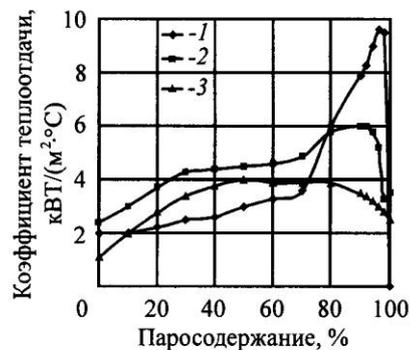
Установлено изменение коэффициента теплоотдачи α по длине трубы при всех гидродинамических режимах; отношение $\alpha_{max}/\alpha_{min}$ достигало 50. Постоянные значения локальных α отмечены только в случае течения

некипящей жидкости. Во всех опытах, кроме режимов с нивелирным уровнем кипящей трубы $L_{\text{вп}} = 100\%$ при скорости $w_0 > 0,4$ м/с, теплоотдача в верхней части трубы падала. При низких скоростях ($w < 0,02$ м/с) и плотности теплового потока $q > 40$ кВт/м² снижение α отмечено сразу же после входа раствора в трубу. Соотношение скорости циркуляции и плотности теплового потока оказывало решающее влияние на среднюю теплоотдачу и распределение участков по длине трубы с различными режимами течения потока жидкости.

Для выявления типовых режимов течения по нашим опытным данным были построены диаграммы режимов течения двухфазного потока в координатах $w_0 - L/d$ и $rw - x$ (где rw – массовая скорость, x – массовое паросодержание). Из диаграмм следует, что выпаривание черных сульфатных щелоков при типичных для промышленных ВС режимах связано с наличием зоны ухудшенной теплоотдачи и, вследствие этого, с интенсивным накипеобразованием. Экспериментальные данные, представленные в координатах $rw - x$, показали, что пузырьковый режим кипения воды может возникать при более низких отрицательных значениях паросодержания по сравнению с аналогичным режимом кипения раствора. Режимы с ухудшенной теплоотдачей могут возникать при кипении как воды, так и растворов с аналогичным паросодержанием. Диапазон критических паросодержаний x для растворов был ограничен и, в отличие от воды, лежал в пределах нуля.

По полученным данным рассмотрены изменения истинного объемного $\phi = f_n/f$ (f_n, f – соответственно площади поперечного сечения парового потока и трубы), расходных объемного β и массового x паросодержаний по длине трубы L . Как показали эксперименты, паросодержание влияет на теплоотдачу за счет изменения скорости и структуры двухфазного потока. Поскольку механизмы передачи теплоты, связанные с q и w_0 , наилучшим способом учитываются критерием K_w , влияние паросодержания может быть представлено функцией $\alpha = f(\phi)$ при $K_w = \text{const}$ (рис. 3). По этим кривым выделены четыре основных режима с характерными соотношениями между q, w_0, ϕ , определяющими доминирующее влияние того или иного механизма переноса теплоты на теплоотдачу.

Рис. 3. Изменение интенсивности теплоотдачи в зависимости от паросодержания парожидкостной смеси при $K_w = 0,7$:
1 – $c = 20\%$ а.с.в.; 2 – 30;
3 – 40 % а.с.в.



Область изменения паросодержания с $\varphi < 40\%$ и $x < 0,005$ определена как зона пузырькового кипения. При течении парорастворной смеси с низкой скоростью в режиме пузырькового кипения снижение α при увеличении w_0 или недогрева раствора до состояния насыщения Δt_n обусловлено уменьшением интенсивности процесса парообразования.

Значительное повышение интенсивности теплоотдачи на участке пузырькового кипения связано с увеличением тепловой нагрузки. Отрицательное влияние на теплоотдачу увеличивающейся концентрации раствора в значительной мере компенсировалось пенообразованием, а независимость интенсивности теплоотдачи от паросодержания или скорости парожидкостной смеси объясняется определяющим влиянием механизма переноса теплоты, обусловленной процессом парообразования. Зависимость коэффициента теплоотдачи от режимных параметров процесса в области пузырькового кипения, представленная на рис. 4, а, обобщается следующим уравнением [5]:

$$\alpha_{\text{пуз}} = 111 \frac{q^{0,75}}{\Delta t_n^{0,19} w_0^{0,36}}, \quad (1)$$

где $q = 7,0 \dots 86,5$ кВт/м²; $\Delta t_n = 0,1 \dots 27,0$ °С; $w_0 = 0,01 \dots 1,00$ м/с.

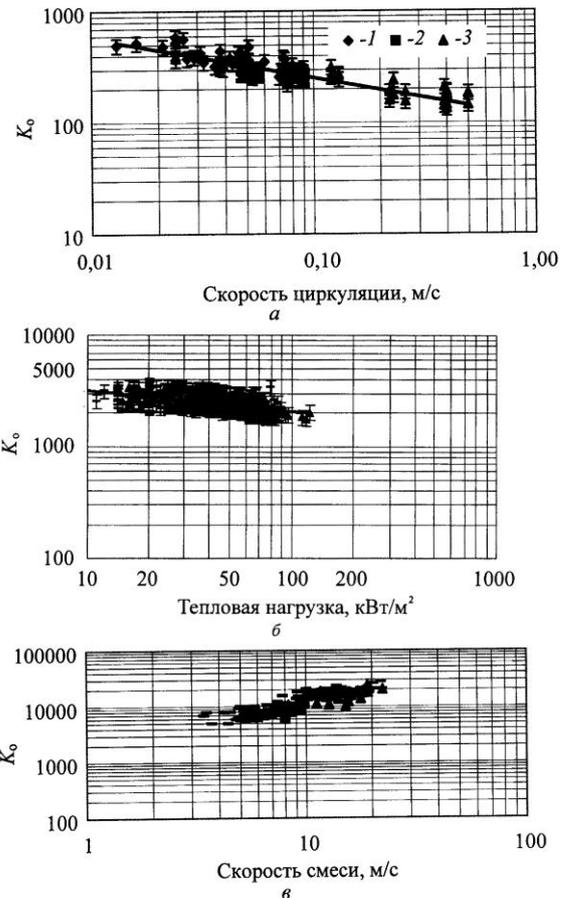


Рис. 4. Зависимость интенсивности теплоотдачи от скорости циркуляции $K_o = \frac{\alpha \Delta t_n^{0,19}}{q^{0,75}} (a)$, тепловой нагрузки $K_o = \alpha w^{-0,687} c^{0,0629} (б)$ и скорости парожидкостной смеси $K_o = \alpha q^{-0,02} c^{0,35} (в)$: 1 – черный сульфатный щелок; 2 – вода; 3 – водный предгидролизат

Эмульсионный (пенный) режим течения определяли в следующих диапазонах параметров:

$$\varphi = 40 \dots 70 \% ; x = 0,005 \dots 0,015 ; We_3 = \frac{(w_{\text{отн}}'')^2 \rho''}{\sqrt{\sigma g \rho'}} < 11,$$

где $w_{\text{отн}}''$ – относительная скорость пара;

ρ'' и ρ' – соответственно плотности пара и раствора.

На этом участке независимость коэффициента теплоотдачи от тепловой нагрузки объясняется низкой теплопроводностью пены. Увеличение скорости двухфазного потока, положительно сказывающееся на испарении междупеночной жидкости, способствовало разрушению пены и, следовательно, повышению интенсивности теплоотдачи. При возрастании скорости парорастворной смеси происходит наложение механизма турбулентного обмена в однофазной среде на механизм переноса, обусловленный процессом парообразования; в связи с этим α увеличивается. Приведенная на рис. 4, б зависимость интенсивности теплоотдачи от режимных параметров процесса в зоне пенного режима кипения описывается уравнением [5]:

$$\alpha_{\text{пен}} = 4970 w_{\text{см}}^{0,7} q^{-0,19}, \quad (2)$$

где $w_{\text{см}}$ – скорость парорастворной смеси, $w_{\text{см}} = 0,045 \dots 15,000$ м/с;

$$q = 10 \dots 110 \text{ кВт/м}^2.$$

Область значений коэффициентов теплоотдачи при $\varphi = 80 \dots 95 \%$, $x > 0,015$, $We_3 > 11$, предшествующая резкому падению α , определялась как дисперсно-кольцевая. При $q = 40 \dots 80$ кВт/м² тепловая нагрузка практически не влияла на теплообмен. С повышением концентрации раствора снижалась скорость движения его пристенной пленки, поэтому происходило уменьшение турбулентного обмена и, следовательно, интенсивности теплообмена. Приведенная на рис. 4, в зависимость интенсивности теплоотдачи от режимных параметров процесса кипения в области дисперсно-кольцевого течения раствора описывается следующим эмпирическим уравнением [5]:

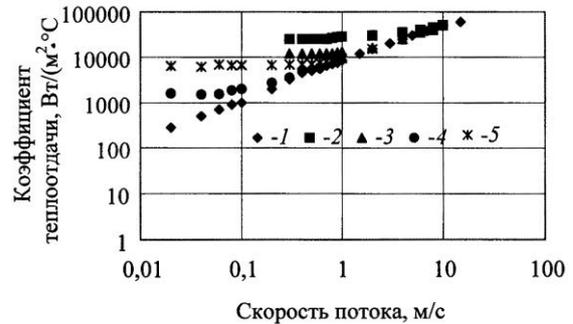
$$\alpha_{\text{д.к}} = 1500 \frac{w_{\text{см}}^{0,7}}{0,1 + c^{0,35}}, \quad (3)$$

где $w_{\text{см}} = 5 \dots 30$ м/с;

$$c = 0 \dots 50 \% \text{ а.с.в.}$$

Анализ опытных данных показал, что теплообмен при кипении пенных отработанных растворов в трубах выпарных аппаратов ЦБК определяется совместным воздействием режимных параметров (q , w , Δt_n , c), которое проявляется через механизм формирования и перераспределения по высоте трубы участков с типовыми режимами кипения. Преимущественное развитие одного из участков может значительно изменить тенденцию теплообмена и быть причиной качественного различия данных, полученных при разных условиях. Длины участков с пузырьковым, эмульсионным и дисперсно-кольцевым режимами течения парощелочного потока увеличивались с по-

Рис. 5. Теплоотдача при кипении воды и растворов в условиях вынужденного движения: 1 – расчетные данные для однофазной жидкости; 2, 3 – для воды, $q = 810$ и 230 кВт/м² соответственно; 4, 5 – данные для кипящих растворов, $q = 20$ и 80 кВт/м² соответственно



вышением w_0 при $q = \text{const}$. При $w_0 > 0,07$ м/с и $q > 40$ кВт/м² участки могли занимать всю трубу. При повышении q до 100 кВт/м² с одновременным уменьшением w_0 до $0,01$ м/с на большей части трубы устанавливался капельный режим, и α резко падал. Наоборот, при увеличении w_0 до $0,1$ м/с и снижении q до 5 кВт/м² на большей части трубы преобладала экономайзерная зона. При повышении концентрации раствора режим ухудшенной теплоотдачи наступал при меньших q , а α снижалось более плавно.

Основным фактором, определяющим распределение указанных зон при кипении пенных растворов ЦБК, является соотношение между тепловым потоком и скоростью циркуляции раствора, поэтому критерий K_w принят в качестве меры, определяющей оптимальность процесса при выпаривании растворов ЦБК. Данные, представленные на рис. 5, дают возможность в зависимости от вклада q и w в кипение выделить три характерных участка: развитое кипение при $\alpha = f(q)$; конвективный теплообмен при $\alpha = w_{\text{см}}$; совместное влияние на теплоотдачу механизмов передачи теплоты за счет парообразования и конвективного обмена.

Концентрация и величина недогрева усиливают действие механизмов передачи теплоты за счет зависимости от температуры вязкостных сил и сил межмолекулярного сцепления в растворе.

В области совместного влияния на теплоотдачу кипения раствора и его вынужденного движения для расчета коэффициента теплоотдачи может быть использована следующая зависимость [1]:

$$\frac{\alpha}{\alpha_{\text{тр}}} = \sqrt{1 + 7 \cdot 10^{-9} \left(\frac{w_{\text{см}} \Delta i \rho'}{q} \right)^{3/2} \left(\frac{\alpha_{\text{пуз}}}{\alpha_{\text{конв}}} \right)^2}, \quad (4)$$

$$\text{где } \alpha_{\text{тр}} = \alpha_{\text{конв}} \sqrt{1 + \left(\frac{\alpha_{\text{пуз}}}{\alpha_{\text{конв}}} \right)^2};$$

$\alpha_{\text{пуз}}$ – коэффициент теплоотдачи при пузырьковом режиме кипения раствора, рассчитанный по зависимости (1);

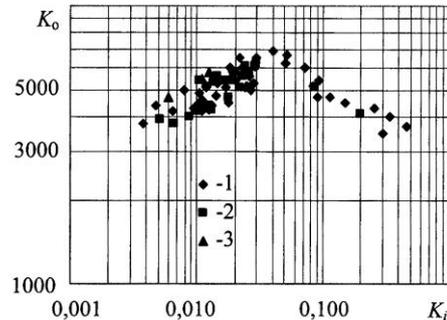
$w_{\text{см}}$ – скорость парожидкостной смеси.

Из результатов обобщения, представленного на рис. 6, видно, что устанавливаются две области влияния безразмерных переменных в зависимо-

Рис. 6. Обобщение опытных данных по интенсивности теплоотдачи при кипении пенных растворов ЦБК,

$$K_o = \frac{\bar{\alpha}}{\alpha_{lo} k_w^{0,453} Pr_f^{0,6} \left(\frac{\rho''}{\rho'} \right)^{0,93}}$$

(обозначения см. на рис. 4)



сти от критерия $K_i = \frac{q}{\rho' w_0 \Delta i_n}$. Для первой области, определяемой $k_i < 0,05$,

при относительно низких тепловых нагрузках и высоких значениях недогрева характерно увеличение интенсивности теплоотдачи с уменьшением величины недогрева. Во второй области, характеризующейся высокими тепловыми нагрузками, малыми значениями недогрева и определяемой $k_i > 0,05$, интенсивность теплообмена возрастает с увеличением величины недогрева. Полученная зависимость определяется уравнением [7]:

$$\frac{\bar{\alpha}}{\alpha_{lo}} = A K_w^{0,453} K_i^n Pr_f^{0,6} \left(\frac{\rho''}{\rho'} \right)^{0,93}, \quad (8)$$

где $A = 12,5 \cdot 10^3$ и $n = 0,214$ при $K_i < 0,05$; $A = 2910$ и $n = -0,277$ при $K_i > 0,05$;

$$K_w = 0,1 \dots 2,0;$$

$$K_i = 0,005 \dots 3,500;$$

$$Pr_f = 1,5 \dots 25,0.$$

Изучение теплообмена при испарении стекающей пленки проводили при $c = 0 \dots 60$ % а.с.в. и температуре растворов, близкой к температуре насыщения. Визуальные наблюдения показали, что процессы теплообмена находились в области нагрева и испарения с поверхности. В результате анализа данных эксперимента получены зависимости для средней и максимальной скоростей пленки. По ним в исследуемом диапазоне значений чисел Рейнольдса идентифицированы ее характерные режимы течения.

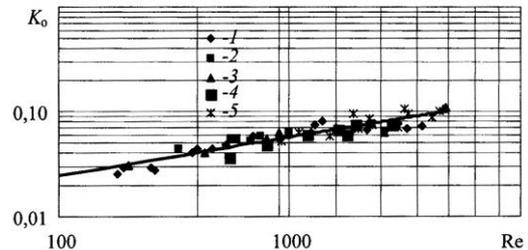
Среднее значение критических чисел Рейнольдса: $Re < 1000$ – ламинарно-волновое течение; $Re > 3000$ – турбулентное течение. На основе данных по средней скорости пленки рассчитаны значения ее средней толщины. В результате анализа профилей температур гравитационно стекающей водяной пленки и локальных значений коэффициентов теплоотдачи при различных Re следует, что в диапазоне $Re = (4 \dots 14) \cdot 10^3$ можно выделить два участка. Первый, на котором происходил существенный рост теплоотдачи до максимального значения α_{max} на некотором расстоянии от входа в трубу, второй – за точкой максимума, на котором наблюдалось незначительное снижение теплоотдачи вследствие продолжающегося роста тол-

щины турбулентного пограничного слоя. Далее фиксировалась относительная стабили-

Рис. 7. Зависимость интенсивности теплоотдачи от числа Re,

$$K_o = \frac{Nu_m}{Pr^{0.75}}; \quad 1 - b = 60 \% \text{ а.с.в.};$$

2 – 50; 3 – 45; 4 – 30; 5 – 20 % а.с.в.



зация. При более низких значениях Re проявился еще один участок – начальный, на котором теплоотдача уменьшалась сразу, начиная от входа раствора в трубу. Длина начального участка увеличивалась при уменьшении числа Re и с увеличением числа Re. Данные по теплоотдаче к стабилизированным испаряющимся пленкам щелоков сульфатного производства с концентрацией до 60 % приведены на рис. 7 в координатах $K_o = f(Re)$, где

$$K_o = \frac{Nu_m}{Pr^{0.75}}.$$

Представленная на рис. 7 зависимость описывается уравнением [6]:

$$Nu_m = 0,0044Re^{0,37}Pr^{0,75}K_q^n, \quad (9)$$

где $Re = (0,2 \dots 10,0) \cdot 10^3$; $Pr = 1,5 \dots 25,0$; $K_q = \frac{q\ell}{r\rho v}$.

Для определения влияния накипеобразования на тепловой режим работы станции, изменение нагрузок поверхности испарения и концентраций щелоков по ВА проведены исследования режимов работы трех ВС Котласского ЦБК в течение года. Для характеристики процесса накипеобразования определяли термический коэффициент накипеобразования

$$\psi = \frac{R_n}{ut}, \quad (10)$$

где $R_n = \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_n$ – условное термическое сопротивление накипи, $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$;

δ_n – толщина слоя накипи, м;

λ_n – коэффициент теплопроводности накипи, Вт/(м·°C);

$u = W/F$ – массовое напряжение поверхности теплообмена, кг/(м²·с);

$W = S(1 - c/C)$ – количество выпаренной в ВА влаги, кг/с;

S – количество раствора, подаваемого в ВА на выпаривание, кг/с;

c, C – концентрации раствора на входе и выходе из ВА, % а.с.в.;

F – поверхность теплообмена ВА, м²;

t – время работы ВА после промывки, сут.

Принято, что разность между термическим сопротивлением теплопередачи, определенным в результате промышленных исследований батарей, и их расчетным значением является условным термическим сопротивлением накипи:

$$R_n = \frac{1}{K_n} - \frac{1}{K_p}, \quad (11)$$

где K_n и K_p – коэффициент теплопередачи, полученный в результате исследования режимов работы ВС, и теоретический (расчетный) коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С).

Результаты исследований показали, что для большинства аппаратов K_n убывал со временем. Регулярные промывки выпарных аппаратов, проводившиеся через 10 сут их работы, оказались малоэффективными. Необходимо отметить, что по мере их загрязнения приходится постепенно увеличивать параметры греющего пара, поступающего в 1-й корпус ВС, для сохранения ее производительности. При этом изменение температурного режима характеризовалось тем, что после промывки станция имела определенный запас производительности исходя из разности расчетного и реального температурных напоров:

$$\sum \Delta T_{\text{зап}} = \sum \Delta T_p - \sum \Delta T_d, \quad (12)$$

где $\sum \Delta T_p$ – расчетный температурный напор;

$\sum \Delta T_d$ – реальный (действительный) температурный напор.

При достижении $\sum \Delta T_{\text{зап}} = 0$ обеспечение производительности ВС становится невозможным, т.е. либо необходимо очистить ее поверхность от накипи, либо ВС будет работать с постепенно уменьшающейся производительностью.

Полученные экспериментальные результаты показывают, что условные термические сопротивления накипи составляют для большинства ВА примерно 20 % (для отдельных 45 %) от полного термического сопротивления теплопередаче. На основании представленных данных появляются дополнительные возможности для проведения наиболее рациональных мероприятий по экономии энергоресурсов, увеличению производительности ВС ЦБК, достигаемых за счет уменьшения накипи. Ежесуточный прирост термического сопротивления накипи определяли для каждого корпуса по следующей зависимости:

$$\Delta R_n = \frac{R_{\text{нач}} - R_{\text{кон}}}{\tau}, \quad (13)$$

где $R_{\text{нач}}$, $R_{\text{кон}}$ – условные термические сопротивления накипи в ВА в начале и в конце эксперимента;

τ – продолжительность работы аппарата.

Постепенное увеличение R_n связано с повышением содержания накипееобразователей в сульфатном щелоке и зависит главным образом от увеличения их концентрации в растворе.

9*

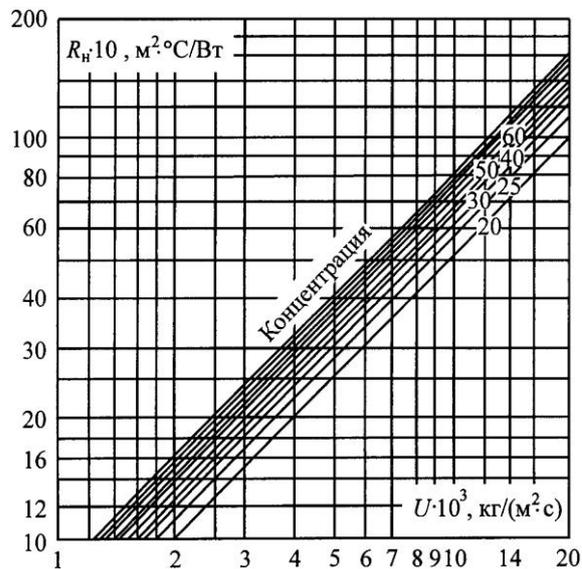


Рис. 8. Среднесуточный прирост термического сопротивления накипи

Среднесуточный прирост накипи (рис. 8) определяли [8] как

$$R_n = 1,658 \cdot 10^{-3} \cdot u c^{0,37}. \quad (14)$$

Составленные номограммы для расчета оптимального периода работы между промывками ВС ЦБК и расчетные зависимости являются основой для квалифицированного управления работой ВС, обеспечивают максимальную продолжительность эксплуатации между стадиями промывки при заданной производительности и, соответственно, повышение производительности предприятия в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреевский, А.А. Анализ зависимостей для расчета коэффициентов теплообмена при течении в парогенерирующих каналах жидкости, нагретой до температуры насыщения [Текст] / А.А. Андреевский, В.М. Боришанский, В.Н. Фромзель, Б.С. Фокин // ИФЖ. – 1974. – Т. 26, № 1. – С. 142–164.
2. Бакластов, А.М. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника [Текст]: справ. / А.М. Бакластов [и др.]; под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.
3. Прядко, Н.А. Совершенствование теплообменных аппаратов и установок пищевой промышленности [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Прядко Н.А.. – К., 1986. – 26 с.
4. Сорокин, А.Ф. Тепло- и массообмен при кипении растворов в выпарных установках [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / А.Ф. Сорокин. – М., 1956. – 26 с.
5. Сулов, В.А. Зависимость локальных коэффициентов теплоотдачи при кипении от параметров и структур двухфазных пенообразующих водных растворов [Текст] / В.А. Сулов // Теплоэнергетика. – 2005. – № 9. – С. 74–77.

6. *Суслов, В.А.* Исследование гидродинамики и теплоотдачи при гравитационном стекании пленки сульфатного шелока в вертикальной трубе выпарного аппарата [Текст] / В.А. Суслов, Г.В. Рижинашвили // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2005. – № 5. – С. 68–71.

7. *Суслов, В.А.* Исследование теплообмена при кипении отработанных щелочных растворов в трубах выпарных аппаратов [Текст] / В.А. Суслов // Теплоэнергетика. – 2005. – № 8. – С. 68–71.

8. *Суслов, В.А.* Определение коэффициентов накипеобразования на выпарных батареях целлюлозно-бумажных комбинатов [Текст] / В.А. Суслов // Лесн. журн. – 2005. – № 1-2. – С. 86–99. – (Изв. высш. учеб. заведений).

9. *Суслов, В.А.* Результаты промышленных исследований режимов работы выпарных станций ЦБП и их сопоставление по эффективности выпаривания [Текст] / В.А. Суслов // Лесн. журн. – 2005. – № 1-2. – С. 168–172. – (Изв. высш. учеб. заведений).

10. *Суслов, В.А.* Сопоставление тепловой эффективности выпарных станций сульфатного производства, поставляемых на предприятия ЦБП зарубежными фирмами [Текст] / В.А. Суслов, С.В. Антуфьев, В.Л. Мовсесян // Машины и оборудование ЦБП: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1977. – Вып. 5. – С. 131–133.

11. *Суслов, В.А.* Стенд для исследования процесса накипеобразования в кипящих трубах выпарных аппаратов ЦБП [Текст] / В.А. Суслов, В.В. Семенов // Машины и аппараты ЦБП: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИ ЦБП, 1989. – С. 91–92.

12. *Тобилевич, Н.Ю.* Исследование рабочих процессов при выпаривании сахарных растворов [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук / Тобилевич Н.Ю. – К., 1969. – 26 с.

13. *Cathro, K.J.* Heat transfer to liquids boiling inside tubes [Text] / K.J. Cathro, W.F. Tait // Australian journal of Applied science. – 1957. – Vol. 8, N 4. – P. 279–304.

14. *Gudmundson, G.* Heat transfer in industrial black liquor evaporation plants [Text] / G. Gudmundson // University of Technology. – Geteborg, 1973. – P. 161.

15. *Moles, F.D.* Boiling heat transfer to subcooled liquids under condition of forced convection [Text] / F.D. Moles, J.H.G. Show // Trans. Institute Chemical Engineers. – 1972. – Vol. 50. – P. 76–84.

16. *Myers, J.G.* Time and space resolve wall temperature and heat flux measurements during nucleate boiling with constant heat flux boundary conditions [Text] / J.G. Myers [and et.] // Int. of Heat and Mass Transfer. – 2005. – Vol. 48. – P. 2429–2442.

17. *Takeda, H.* Vapor hold up boiling heat transfer coefficient of natural circulation vertical tube evaporator [Text] / H. Takeda, T. Hayakawa, S. Fujita // Kagaku kagaku. – 1972. – Vol. 36, N 7. – P. 760–768.

Поступила 13.04.06

С.-Петербургский государственный
технологический университет
растительных полимеров

V.A. Suslov

Efficiency Enhancement of Worked-out Cooking Liquor Recovery of Pulp Enterprises

The perfection ways of energy use are offered resulting from the realized industrial, bench-testing and theoretical investigation of evaporator stations operating conditions. The possibility is shown experimentally and parameters are provided for deposit-free eva-

porating of foam solutions at pulp-and-paper productions in the long-pipe devices with a gravity flow of the evaporated solution.

УДК 676.16

В.И. Комаров, М.А. Холмова

Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный работник лесной промышленности, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 400 научных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Холмова Марина Анатольевна родилась в 1981 г., окончила в 2003 г. Архангельский государственный технический университет. Аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства. Имеет 9 печатных работ в области получения сульфатной хвойной небеленой ЦВВ.



ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА КАППА СУЛЬФАТНОЙ ХВОЙНОЙ ЦВВ НА ЕЕ ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА

Предложена методика анализа вязкоупругих свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.

Ключевые слова: небеленая сульфатная целлюлоза высокого выхода, число Каппа, напряжение, деформация, вязкоупругие свойства.

В настоящее время для производства тарных картонов рекомендуется использовать целлюлозу высокого выхода (ЦВВ) с числом Каппа в интервале от 70 до 110 ед. [7]. Уровень деформационных и прочностных свойств данного полуфабриката определяет качество тарного картона, а значит, и его стоимость.

При эксплуатации картонной тары в некоторых случаях предъявляются требования к вязкоупругим свойствам материала, используемого при ее изготовлении. При эксплуатации материалов с различной структурой и деформационными свойствами условия потери устойчивости в сильной степени зависят от характера деформирования, который в свою очередь обусловлен вязкоупругими свойствами. Отметим, что если при нагружении материала в нем при любой нагрузке наряду с мгновенными упругими деформациями развиваются неупругие деформации, величина которых зависит от длительности или скорости приложения нагрузки, то такие материалы называют вязкоупругими. Волокнистые целлюлозно-бумажные материалы обладают свойствами, присущими вязкоупругим материалам [5].

Для изучения вязкоупругих свойств сульфатной хвойной ЦВВ по методике [6] были получены лабораторные образцы полуфабриката с числом Каппа в диапазоне от 76 до 102 ед. После варки образцы подвергали разволокнению в течение 15 мин, а затем промывали. Для сравнения с ними

Таблица 1
Параметры варки и характеристики образцов сульфатной ЦВВ

Параметры варки		Характеристики ЦВВ			
Температура, °С	Концентрация активной щелочи, г/л (в ед. Na ₂ O)	Число Каппа ЦВВ, ед.	Выход ЦВВ, %	Количество непровара, %	Степень помола, °ШР
160	45	76	49,3	0,3	21,0
158	45	85	52,0	0,6	20,0
158	40	90	53,9	0,3	18,5
158	40	102	54,2	0,5	20,0
166	40	78*	–	–	18,5

* Образец ЦВВ, полученный при производственной варке.

был отобран производственный (контрольный) образец ЦВВ с числом Каппа 78 ед., который промывали на лабораторных ситах. В табл. 1 представлены основные параметры варки и некоторые фундаментальные характеристики образцов ЦВВ.

Для проведения физико-механических испытаний были изготовлены лабораторные образцы ЦВВ массой 1 м² 150 г. Для этого ЦВВ размалывали в течение 23 ... 25 мин до степени помола (20 ± 2) °ШР.

При испытании образцов на растяжение были получены зависимости «усилие – удлинение» и «напряжение – деформация» (рис. 1, 2), обработка которых по методике [1–3] позволила рассчитать численные значения требуемых характеристик в заданных точках (I, II, B, 2). Рассчитывали: P – прилагаемое усилие при растяжении образца, Н; Δl – удлинение образца, мм; A – работа деформирования, мДж ($A = \int_0^{\Delta l_p} P \Delta l$); σ – прилагаемое напряжение, МПа ($\sigma = P/(b \delta)$); ε – деформация, % ($\varepsilon = \Delta l/l$); E – модуль упругости, МПа ($E = \sigma/\varepsilon$).

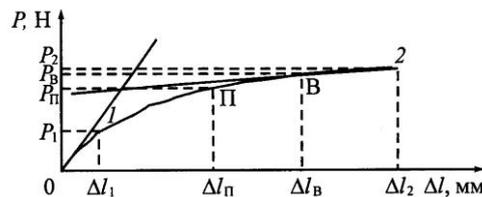


Рис. 1. Зависимость «усилие – удлинение» ($P-\Delta l$): I – предел упругости; II – начало интенсивного развития пластических деформаций; B – начало быстрого роста трещины; 2 – разрушение материала; (0–I) – упругая зона деформирования; (I–II) – зона замедленно-упругих деформаций, начальная стадия; (II–B) – то же, конечная стадия; (B–2) – зона предразрушения образца, рост образовавшейся трещины

Рис. 2. Зависимость «напряжение – деформация» ($\sigma - \varepsilon$) (см. обозначения на рис. 1)

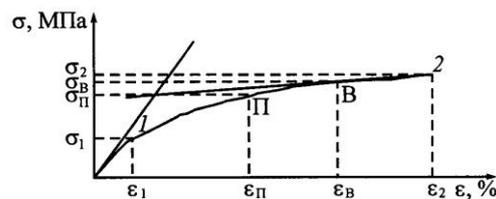


Таблица 2

**Результаты математической обработки зависимостей «усилие – удлинение»
и «напряжение – деформация», полученных при испытании образцов
сульфатной хвойной ЦВВ с различным числом Каппа**

Число Каппа, ед.	Фундаментальные параметры образцов			Характеристика	Значение характеристики в точках зависимостей, приведенных на рис. 1, 2			
	l_w , мм	МКФ, %	$F_{св}$, МПа		1	П	В	2
76	2,27	11,8	2,4	P , Н	53,3	151,0	209,0	222,0
				Δl , мм	0,383	1,440	2,810	3,190
				A , мДж	9,4	126,0	369,0	446,0
				σ , МПа	20,5	57,9	80,4	85,4
				ϵ , %	0,38	1,44	2,81	3,19
				E , МПа	5440	2210	1360	1290
85	2,48	9,40	2,1	P , Н	42,2	147,0	188,0	197,0
				Δl , мм	0,298	1,510	2,690	3,050
				A , мДж	5,3	127,0	326,0	392,0
				σ , МПа	14,7	51,3	65,6	68,8
				ϵ , %	0,30	1,51	2,69	3,05
				E , МПа	5010	1610	972	867
90	2,31	11,5	2,0	P , Н	31,6	137,0	183,0	199,0
				Δl , мм	0,247	1,520	2,810	3,370
				A , мДж	3,4	123,0	325,0	427,0
				σ , МПа	11,4	49,4	66,1	71,7
				ϵ , %	0,25	1,52	2,81	3,37
				E , МПа	4660	1690	1080	966
102	2,40	8,17	2,4	P , Н	54,9	141,0	185,0	195,0
				Δl , мм	0,422	1,430	2,530	2,840
				A , мДж	10,0	116,0	291,0	348,0
				σ , МПа	20,2	52,0	68,3	71,9
				ϵ , %	0,42	1,43	2,53	2,84
				E , МПа	4840	1970	1200	1130
78*	2,17	12,7	2,2	P , Н	41,9	139,0	177,0	191,0
				Δl , мм	0,318	1,370	2,270	2,710
				A , мДж	6,1	109,0	247,0	325,0
				σ , МПа	15,6	51,5	65,6	70,8
				ϵ , %	0,31	1,37	2,27	2,71
				E , МПа	5010	2030	1290	1150

* Образец ЦВВ, полученный при производственной варке.

Влияние числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ на относительный вклад этих характеристик в усилие, удлинение и работу разрушения, затрачиваемых в различных зонах деформирования образца, представлено в табл. 2 и на рис. 3–5.

Показано, что примерно 40 ... 50 % разрушающего усилия затрачивается в начальной стадии замедленно-упругих деформаций, т.е. на процесс извлечения концов волокон, имеющих длину менее критической, из стенок трещин, образующихся из капилляров с достаточно большим диаметром. При увеличении нагрузки деформация, а значит, и длина участвующих в этом процессе волокон увеличивается. При этом частично разрушаются межволоконные связи. Раскрытие начинающей образовываться трещины сдерживается «проросшими» через нее волокнами с длиной больше критической, т.е. появляются образования типа «крейзы», а микрокапилляры увеличивают свой объем [4]. У образцов с числом Каппа 85 ... 90 ед. деформация наибольшая.

Наибольшее удлинение испытуемого образца отмечено в зоне замедленно-упругих деформаций (I–B). При этом удлинение в конечной стадии замедленно-упругих деформаций (II–B) несколько выше, чем в начальной (I–П). Это объясняется ростом доли пластических деформаций, вызываемых более значительным разрушением межволоконных связей, обусловленных отрывом от края трещины концов волокон с длиной, приближающейся к критической.

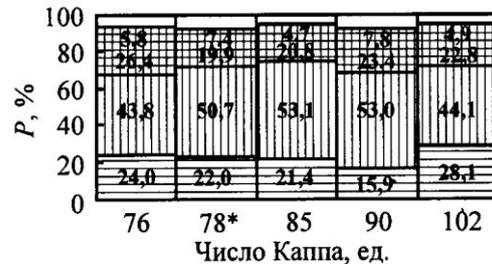


Рис. 3. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на относительный вклад в разрушающее усилие усилий, затрачиваемых в различных зонах деформированного состояния образца (P – усилие; 100 % соответствует разрушающему усилию данного образца; * – производственный образец); □ – зона предразрушения образца, рост образовавшейся трещины; □ – замедленно-упругая зона деформирования, конечная стадия; □ – то же, начальная стадия; □ – упругая зона деформирования

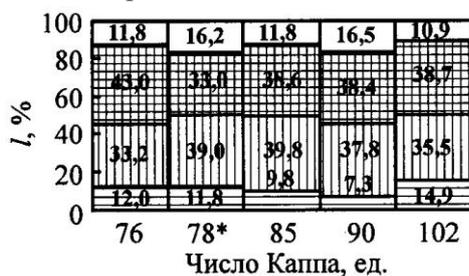


Рис. 4. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на относительный вклад в удлинение разрушения удлинений, наблюдаемых в различных зонах деформированного состояния образца (Δl – удлинение; 100 % соответствует удлинению до разрушения данного образца; см. обозначения на рис. 3)

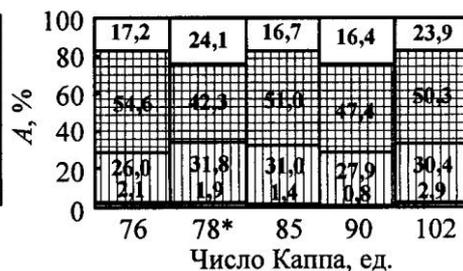


Рис. 5. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на относительный вклад в работу разрушения работы, совершаемой в различных зонах деформированного состояния образца (A – работа растяжения; 100 % соответствует работе разрушения данного образца; см. обозначения на рис. 3)

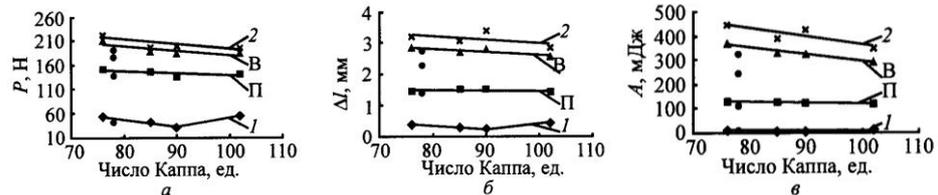


Рис. 6. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на растягивающее усилие (*a*), удлинение (*б*) и работу (*в*) в различных зонах деформирования образца (• – производственный образец; см. обозначения на рис. 1)

Из рис. 6 следует, что с увеличением числа Каппа у исследуемых образцов ЦВВ величина усилия P , вызванного им удлинением Δl и обусловленная ими работа в критических точках (начало интенсивного развития пластических деформаций (П), начало быстрого роста трещины (В) и разрушения материала (2) снижаются. Аномально возрастают усилия в точке, соответствующей пределу упругости при числе Каппа 102 ед. Данный факт можно объяснить тем, что в этом случае увеличивается количество как остаточного лигнина, так и гемицеллюлоз, способствующих возрастанию межволоконных связей, что должно приводить к повышению упругих свойств.

В зоне деформирования до критической точки П, которая является предпочтительной для использования тары, изменение содержания остаточного лигнина в исследуемых пределах не приводит к изменению усилия, удлинения и работы деформирования. Заметное снижение этих показателей при увеличении числа Каппа у ЦВВ наблюдается в зоне разрушения структуры данного материала. Работа, затрачиваемая на рост трещины в материале, снижается примерно на 20 % (рис. 7). Это позволяет предположить возможный рост обрывности на картоноделательной машине при использовании ЦВВ с повышенным числом Каппа.

Удлинения образца в упругой зоне и зоне быстрого роста трещины сравнимы. При увеличении числа Каппа проявляется тенденция к снижению относительной величины этих деформаций. Наибольший вклад в работу разрушения вносит работа, затрачиваемая на деформацию в зоне (П–В), причем с увеличением числа Каппа проявляется тенденция к ее снижению.

Отметим, что испытания контрольного (производственного) образца показали воспроизводимость в лабораторных условиях свойств данного полуфабриката.

Таким образом, проведенный эксперимент выявил, что повышение числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ до 90 ед. и более приводит к сниже-



Рис. 7. Влияние степени делигнификации сульфатной хвойной ЦВВ на работу, затрачиваемую на рост трещины в стадии разрушения образца (• – производственный образец)

нию разрушающего усилия, удлинения до разрушения и работы разрушения и возрастанию удлинения в упругой зоне деформирования.

Установлен относительный вклад в вязкоупругие свойства сульфатной хвойной ЦВВ прикладываемого усилия и удлинения образца в различных зонах деформирования. Показана возможность более глубокого анализа вязкоупругих свойств полуфабрикатов для производства тарных картонов с помощью предложенной методики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков, Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки [Текст] / Я.В. Казаков, В.И. Комаров // Лесн. вестник. – 2000. – № 3 (12). – С. 52–62.
2. Казаков, Я.В. Математическая обработка кривых зависимости «напряжение – деформация», полученных при испытании целлюлозно-бумажных материалов при растяжении [Текст] / Я.В. Казаков, В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1995. – № 1. – С. 109–114. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Комаров, В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров. – Архангельск: Издательство АГТУ, 2002. – 440 с.
4. Комаров, В.И. Механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1999. – № 4. – С. 96–103.
5. Комаров, В.И. Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов [Текст] / В.И. Комаров, А.В. Гурьев, В.П. Елькин. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – С. 145–150.
6. Холмова, М.А. Взаимосвязь числа Каппа и физико-механических свойств сульфатной ЦВВ, предназначенной для производства тарного картона [Текст] / М.А. Холмова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова, А.В. Гурьев // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2005. – № 10. – С. 56–59.
7. Neimo, L. Papermaking science and technology [Text] / L. Neimo // Papermaking Chemistry (4 book). – Printed by Gumerus Printing, Iyvaskyla, Finland, 1999. – 329 p.

Поступила 3.04.06

Архангельский государственный
технический университет

V.I. Komarov, M.A. Kholmova

Influence of Kappa Number of High-Yield Sulphate Softwood Pulp on its Viscous-elastic Characteristics

The technique for analysis of viscous-elastic properties of semifinished items for containerboard is offered.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 624.131.4

А.Л. Невзоров, А.А. Коршунов

Невзоров Александр Леонидович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов, ректор Архангельского государственного технического университета. Имеет более 150 печатных работ в области инженерной геологии, геоэкологии и фундаментостроения.



Коршунов Алексей Анатольевич родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов. Имеет 5 печатных работ в области фундаментостроения.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ХВОСТОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАК ИСТОЧНИКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Установлено, что комплексный подход к переработке отходов с учетом особенностей производственного цикла обогащения кимберлитовых руд позволяет минимизировать техногенное воздействие на окружающую среду региона.

Ключевые слова: сапонит, седиментация, фильтрация.

Одним из источников техногенного воздействия предприятий алмазодобывающей промышленности на природную среду являются так называемые хвостохранилища. Основные направления снижения их воздействия – комплексная переработка и утилизация отходов.

В 2002 г. начата промышленная разработка кимберлитовых руд месторождения им. М.В. Ломоносова, расположенного в 100 км к северу от г. Архангельска. Изучение минерального и химического составов, лабораторное опробование возможных способов утилизации хвостов обогащения указывают на перспективность их применения в различных отраслях промышленности.

Основным компонентом этих отходов является сапонит – минерал из подкласса слоистых силикатов, химический состав которого может быть выражен формулой $\text{NaMg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [1]. В настоящее время содержание сапонита в отходах не превышает 20 %, дальнейшая разработка месторождения приведет к значительному повышению его концентрации в накопителях.

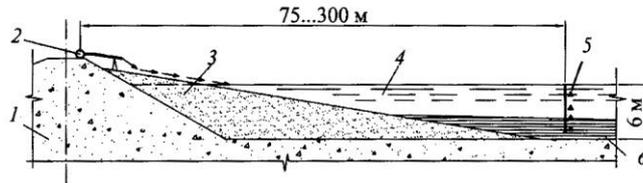


Рис. 1. Поперечный профиль дамбы хвостохранилища: 1 – дамба I очереди; 2 – пульпопровод; 3 – пляжная зона; 4 – пруд-отстойник; 5 – точки отбора проб; 6 – прудковые отложения

Отходы, отличающиеся высоким содержанием магнезиальных глин, могут быть использованы для производства керамических и прессованных стеновых материалов, керамзита и пористых наполнителей бетона, а также сорбентов и катализаторов [4].

В процессе проведения работ нами осуществлен отбор проб воды и донных отложений из пруда-отстойника с глубины 1 ... 4 м (рис. 1.). Физические свойства отложений (плотность, влажность, плотность частиц) определены в соответствии с требованиями ГОСТ 5180–84 [3], гранулометрический состав – ГОСТ 12536–79 [2].

Лабораторные исследования показали, что содержание твердой фазы с глубиной постепенно возрастало от 0,18 до 26,20 % (см. таблицу).

Изменение физических свойств хвостовых отложений по глубине

Глубина отбора, м	Плотность, г/см ³	Влажность, ед.	Плотность частиц, г/см ³	Содержание, %	
				твердой фазы	воды
1	1,00	–	2,84	0,18	99,82
2	1,12	4,93	2,84	16,81	83,19
3	1,14	4,32	2,85	19,00	81,00
4	1,20	2,85	2,85	26,20	73,80

Кривые гранулометрического состава образцов, отобранных с разных глубин, представлены на рис. 2. По гранулометрическому составу прудковые отложения (классификация В.В. Охотина [6]) соответствуют суглинкам и глинам. Графики изменения плотности скелета ρ_d и коэффициента пористости e по глубине приведены на рис. 3. Полученные характеристики свидетельствуют, что в естественных условиях отложения находятся в воде во взвешенном состоянии даже через 1,5 года после размещения в накопителе. Вода до глубины 1,0...1,5 м осветляется и практически не содержит твердых частиц.

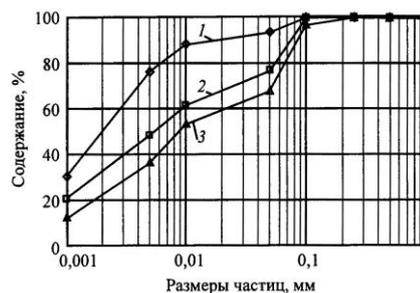


Рис. 2. Графики гранулометрического состава прудковых отложений на глубине 2 (1), 3 (2) и 4 м (3)

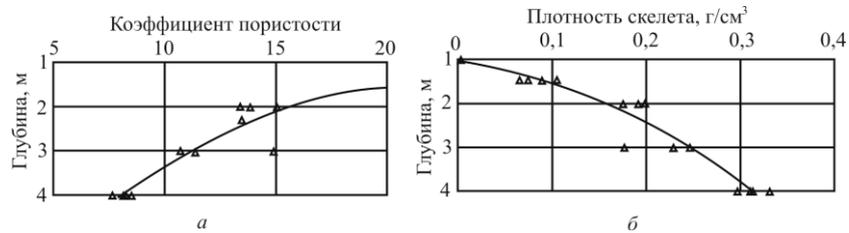


Рис. 3. Изменение коэффициента пористости грунта (а) и плотности скелета ρ_d (б) от глубины отбора пробы

Для изучения кинетики осаждения и свойств отложений был изготовлен седиментационно-фильтрационный прибор (рис. 4), позволяющий определять скорость осаждения твердых частиц в суспензии дифференцированно во времени, измерять проницаемость слоев осадка, образующегося на разных этапах осаждения для жидкостей заданного состава. На предлагаемый прибор получен патент [5].

Наличие 4 секторов с крышками, позволяет определять скорость седиментации (осаждения) твердых частиц на разных этапах. Так, открывая крышки секторов через определенное время, можно регулировать толщину осадка в каждом секторе. Для образовавшегося в 4 секторах осадка одновременно может быть определен коэффициент фильтрации при различных значениях градиента напора.

Для моделирования процесса осаждения твердых частиц в прудотстойнике прибор заполняли суспензией из накопителя (рис. 5).

Результаты лабораторного эксперимента свидетельствуют, что процесс седиментации происходит очень медленно. График изменения толщины осадка (твердая фаза) во времени представлен на рис. 6. Результаты исследования образцов, отобранных из прибора через 50 сут, показали, что процесс осаждения не прекратился, донные отложения находятся в воде во взвешенном состоянии ($W = 9,96$, $\rho_d = 0,09$ г/см³). В естественных условиях, когда надводные потоки гидросмеси по-

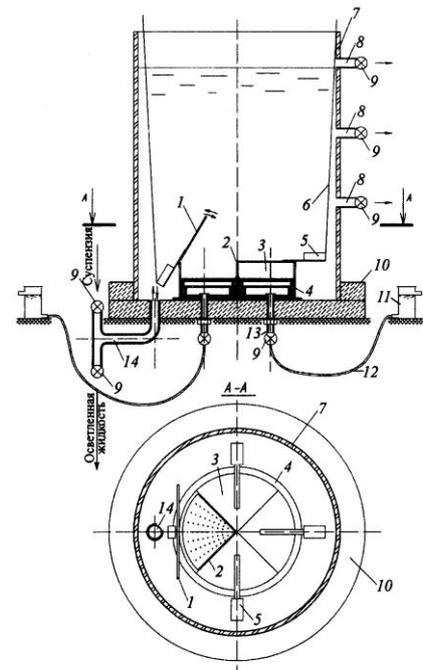


Рис. 4. Схема седиментационно-фильтрационного прибора: 1 – крышка; 2 – вертикальные диафрагмы; 3 – сектор прибора; 4 – корпус прибора; 5 – противовес; 6 – трос; 7 – прозрачный мерный стакан; 8 – сливной патрубков; 9 – кран; 10 – основание прибора; 11 – емкость для фильтра; 12 – отводящая трубка; 13 – отводящий патрубков; 14 – труба для подачи суспензии

падают в пруд-отстойник, вызывая вовлечение седиментирующих отложений, процесс осаждения твердой фракции хвостов происходит еще медленнее. Содержание пылеватых и глинистых частиц (до 70 % по массе) в образцах, отобранных из прудковой зоны отстойника, обуславливает длительный процесс седиментации, что подтверждено полевыми и лабораторными исследованиями.

После завершения процесса седиментации (через 6 мес.) определены фильтрационные характеристики осадка и построены зависимости скорости фильтрации воды от градиента напора (температура $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) при различных значениях плотности скелета ρ_d (рис. 7). Коэффициент фильтрации равен $(4,5 \dots 8,0) \cdot 10^{-5}$ м/сут при начальном градиенте напора 3,75 ... 4,00.



Рис. 5. Процесс седиментации



Рис. 6. График изменения толщины осадка во времени

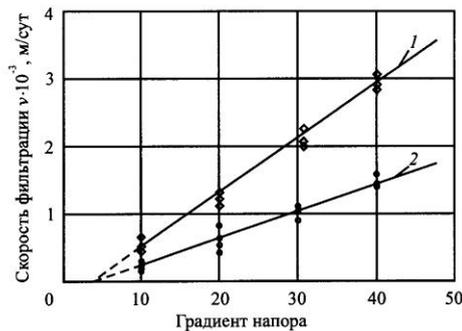


Рис. 7. График зависимости скорости фильтрации от градиента напора:
1 – $\rho_d = 0,75$; 2 – 1,00

Результаты исследований физических и фильтрационных свойств хвостовых отложений свидетельствуют о необходимости применения новых способов утилизации отходов алмазодобывающей промышленности. Комплексное рассмотрение вопроса переработки отходов с учетом особенностей производственного цикла обогащения кимберлитовых руд позволит минимизировать техногенное воздействие на окружающую среду региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большая советская энциклопедия [Текст]: в 30 т. / под ред. А.М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1978.

2. ГОСТ 12536–79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава [Текст]. – Взамен ГОСТ 12536–67; введ. 1980–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 24 с.

3. ГОСТ 5180–84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Текст]. – Взамен ГОСТ 5180–75, ГОСТ 5181–78, ГОСТ 5182–78, ГОСТ 5183–77; введ. 1985–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 24 с.

4. *Минченко, Г.В.* Перспективы разработки месторождений алмазов Архангельской области [Текст] / Г.В. Минченко, В.А. Ларченко, В.П. Степанов, А.А. Фомин // Развитие минерально-сырьевой базы Архангельской области: проблемы, перспективы, задачи: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 3. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. – С. 252–263.

5. Седиментационно-фильтрационный прибор [Текст]: заявка 2006134841/22 РФ: МПК G 01N15/08/ Невзоров А.Л., Коршунов А.А. (RU); патентообладатель АГТУ; заявл. 02.10.06; приоритет 02.10.06.

6. *Сергеев, Е.М.* Грунтоведение [Текст] / Е.М. Сергеев, Г.А. Голодковская, Р.С. Зиангиров; под общ. ред. Е.М. Сергеева. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 388 с.

Архангельский государственный
технический университет

A.L. Nevzorov, A.A. Korshunov

Investigation of Tailing Deposits Characteristics as Source of Technogeneous Load on Environment

It is established that complex approach to waste treatment taking into account the production cycle peculiarities of kimberlite ore dressing allows to minimize technogeneous load on the environment of the region.



УДК 630*232.411.1

Б.А. Мочалов, А.О. Сеньков

Мочалов Борис Александрович родился в 1942 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией лесных культур ФГУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», заслуженный лесовод РФ. Имеет более 100 печатных работ в области производства посадочного материала, лесных культур и экологии.



Сеньков Александр Олегович родился в 1972 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, научный сотрудник ФГУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства». Имеет 4 печатные работы в области лесных культур.



РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ С ЗАКРЫТЫМИ И ОТКРЫТЫМИ КОРНЯМИ В КУЛЬТУРАХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ

Установлено, что приживаемость и интенсивность роста сеянцев сосны с закрытыми и открытыми корнями в 6-летних культурах имеют довольно близкие и высокие показатели и оба вида посадочного материала могут быть использованы при искусственном лесовосстановлении.

Ключевые слова: лесные культуры, сеянцы сосны с закрытыми и открытыми корнями.

В последние годы в лесокультурном производстве на Севере стали использовать посадочный материал с закрытой корневой системой (ЗК), поэтому важно знать, насколько успешно он приживается и растет в различных лесорастительных условиях по сравнению с традиционным, имеющим открытые корни (ОК).

Исследования проводили в средней подзоне тайги (Архангельская область) на вейниковой вырубке из-под сосняка брусничного. Почва дерново-слабоподзолистая на тяжелом карбонатном моренном суглинке. Посадку 1-летних сеянцев с ЗК и 2-летних сеянцев с ОК проводили весной по пластам плуга ПЛП-135. Сеянцы с ЗК выращивали в кассетах «пант» с объемом субстрата $4 \times 4 \times 7$ см, с ОК – в теплице первый год под пленкой, второй год без покрытия по региональной технологии [3].

Приживаемость культур в первый и второй годы у сеянцев с ЗК составила 99,3 и 93,3 %, с ОК – 95,9 и 91,9 %. Размеры шестилетних культур представлены в таблице.

Сеянцы	Высота, см	Диаметр у шейки корня, мм	Ширина кроны, см
--------	---------------	------------------------------	---------------------

С ЗК	140,7 ± 7,12	32,9 ± 2,08	81,1 ± 5,49
С ОК	144,8 ± 7,05	32,2 ± 1,95	75,3 ± 4,16

Различия по высоте, диаметру и ширине кроны у обоих видов посадочного материала имели пределы 2,2 ... 7,7 % и были недостоверны ($t_{\phi} < t_{st}$ при $P = 0,95$).

При создании культур важна интенсивность роста посадочного материала в первые годы после посадки, чем в значительной мере определяется степень конкурентоспособности его с травянистой растительностью и естественным возобновлением лиственных пород [1, 2, 4]. На рисунке показан прирост в высоту семян с ЗК (1) и ОК (2) по годам.



В первый год он был равен 8,4 ... 9,1 см, на второй возраст в 2,2-2,3 раза, в течение двух последующих лет увеличился незначительно (на 6 ... 22 %), что обусловлено в основном сильным развитием травянистой растительности на пластах. На пятый и шестой годы прирост практически достиг уровня интенсивного роста культур этого возраста в данных лесорастительных условиях.

В целом прирост в высоту у семян с ЗК и ОК в течение шести лет имеет близкие значения. Различия по годам составляли от 0,3 до 2,1 см, или 0,9 ... 9,9 %, и были недостоверны ($t_{\phi} = 0,1 ... 1,3$ при $t_{st} = 2$ и $P = 0,95$).

Высокая приживаемость и интенсивный рост семян с ЗК в первые годы после посадки обеспечиваются двумя факторами: наличием кома субстрата и хорошим развитием корневой системы, которая практически не нарушается при посадке; у семян с ОК – хорошим развитием корневой системы и низким отношением массы надземной части к массе тонких, физиологически активных корней, что достигается высоким уровнем агротехники при выращивании в теплицах и питомниках.

Приведенные материалы показывают, что в рассмотренных лесорастительных условиях при создании культур могут быть использованы оба вида посадочного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркова, И.А. Пути повышения эффективности лесокультурного производства [Текст] / И.А. Маркова // Таежные леса на пороге XXI века: тр. СПбНИИЛХ. – СПб., 1999. – С. 61–71.
2. Мочалов, Б.А. Использование разных видов посадочного материала для лесовосстановления в зоне тайги европейской части России [Текст] / Б.А. Мочалов // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере: сб. науч. тр. СевНИИЛХ. – Архангельск, 2005. – С. 123–136.

3. Мочалов, Б.А. Рекомендации по выращиванию сеянцев хвойных пород в теплицах с полиэтиленовым покрытием [Текст] / Б.А. Мочалов; Мин-во лесн. пром-сти СССР. – М., 1990. – 36 с.

4. Пигарев, Ф.Т. Состояние и рост лесных культур в зависимости от вида, возраста и размеров посадочного материала [Текст] / Ф.Т. Пигарев, Б.А. Сенчуков, В.В. Беляев // Искусственное восстановление леса на севере. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1979. – С. 85–97.

ФГУ СевНИИЛХ

B.A. Mochalov, A.O. Senkov

Growth of Bare-root and Containerized Pine Seedlings in Cultures of Taiga Zone

It is set that establishment and growth intensity of bare-root and containerized pine seedlings in six-year old cultures have rather close and high parameters and both types of planting material could be used for artificial reforestation.

УДК 674.011.2, 001.2

В.И. Малыгин, П.В. Перфильев

Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИИ РФ, проректор по научной работе Филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 100 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.



Перфильев Павел Валентинович родился в 1965 г., в 1987 г. окончил Севмашвтуз, главный конструктор РосМТК. Имеет более 10 научных работ в области систем автоматизированного проектирования.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ ИЗ ОЦИЛИНДРОВАННЫХ БРЕВЕН

Рассмотрен опыт применения системы параметрического моделирования T-Flex CAD (разработчик – российская фирма «Топ Системы») в задачах проектирования деревянных домов из оцилиндрованных бревен на основе библиотек параметрических фрагментов.

Ключевые слова: деревянные дома, оцилиндрованные бревна, CAD-системы, параметрическое моделирование, проектирование, деревянное домостроение, библиотека фрагментов.

Применение различных CAD-систем актуально при решении сложных комплексных задач в такой области, как жилищное, прежде всего индивидуальное, домостроение. При выполнении конкретных проектных работ необходимо решать вопросы подготовки технической документации по строительству и архитектуре, малой теплоэнергетике, насыщению интерьеров, инструментально-технологическому обеспечению производства и др. В этом случае использование узкоспециализированных CAD-систем неэффективно. Более рациональным является выбор универсальной системы среднего класса с адаптацией ее к решаемым задачам. Опыт авторских работ при проектировании инструмента [3], теплоэнергетики [1], мебели [2] дает основание полагать, что такой оптимальной может быть система параметрического моделирования и черчения T-Flex CAD 3D, разработанная российской фирмой «Топ Системы».

Рассмотрим некоторые идеи и предложения по применению системы параметрического проектирования T-Flex CAD для моделирования деревянных срубов из оцилиндрованных бревен. В настоящее время деревянное домостроение развивается достаточно интенсивно, и вопросы автоматизации

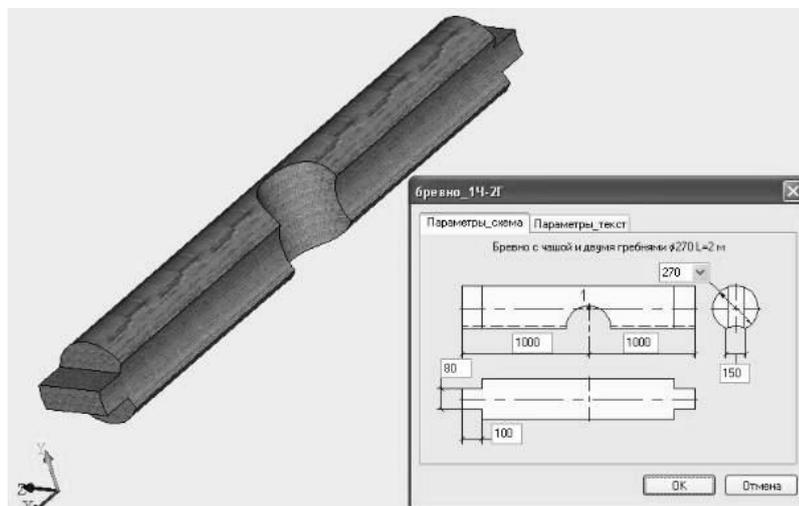


Рис. 1. Пример фрагмента «Бревно_1Ч-2Г»

проектирования в этой области являются актуальными. Специализированное обеспечение решения подобных задач еще недостаточно развито. Как показывает анализ информации, доступной в сети Интернет, при проектировании деревянных домов в лучшем случае используют обычные CAD-системы или по старинке работают карандашом.

Анализ конструкции деревянного дома из оцилиндрованных бревен позволяет предположить, что можно достичь высокой эффективности работы конструктора при использовании параметрического подхода в процессе проектирования. Из отечественных CAD-систем в наибольшей мере для решения подобных задач подходит программа T-Flex CAD 3D.

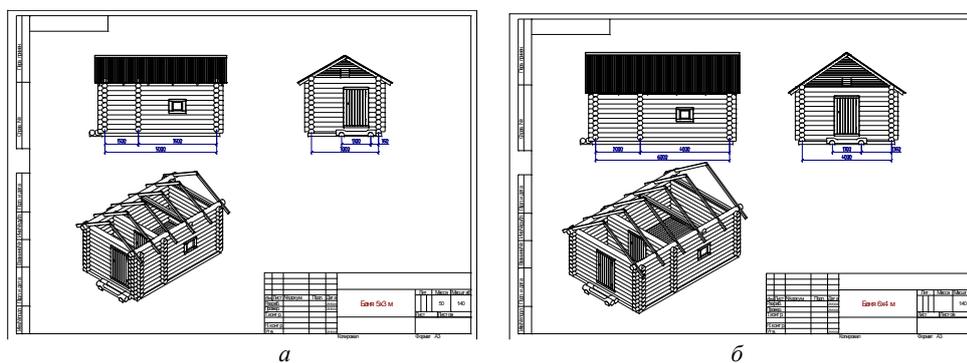
Один из важнейших аргументов в пользу принятия подобного решения – возможность разработки библиотек параметрических фрагментов в достаточно сжатые сроки. Подобная работа может быть доступна любому конструктору, владеющему системой проектирования; дополнительных знаний в области программирования она не требует. В рамках описываемого подхода была разработана небольшая библиотека по проектированию домов из оцилиндрованных бревен. На рис. 1 приведен пример одного из фрагментов.

Библиотека фрагментов позволяет быстро создавать модели деревянных домов. Модель, приведенная на рис. 2 строится методом последовательной вставки фрагментов с привязкой их к локальным системам координат. На этом возможности библиотеки не ограничиваются. Так как все фрагменты представляют собой параметрические модели, редактирование сборочной модели в плане изменения геометрических размеров осуществляется простым изменением переменных сборки (рис. 3). Чуть сложнее редактировать сборку при изменении диаметра бревна, так как это может потребовать добавления дополнительного ряда бревен (рис. 4).

Использование параметрических фрагментов позволяет автоматически получить комплектную спецификацию для любой произвольной формы.



Рис. 2 Модель дома из оцилиндрованных бревен

Рис. 3. Примеры двух вариантов бани: *а* – размером 5×3 м; *б* – 6×4 м

Прототип требуемой спецификации можно легко создать в течение нескольких минут. Всю необходимую для этого информацию можно найти в документации к программе. В процессе разработки каждого фрагмента готовят все необходимые для спецификации данные. При необходимости можно создавать любые формы спецификаций, в которые будет включена нужная для дальнейшей работы с проектом информация (например, объем бревен, площадь поверхности, длина прокладок, стоимость и т.п.).

Использование параметрических фрагментов позволяет осуществлять вариантное проектирование. Например, для одной модели существуют разные варианты покрытия крыши (шифер, металлочерепица, доски), можно легко менять один тип оконных рам на другой и др.

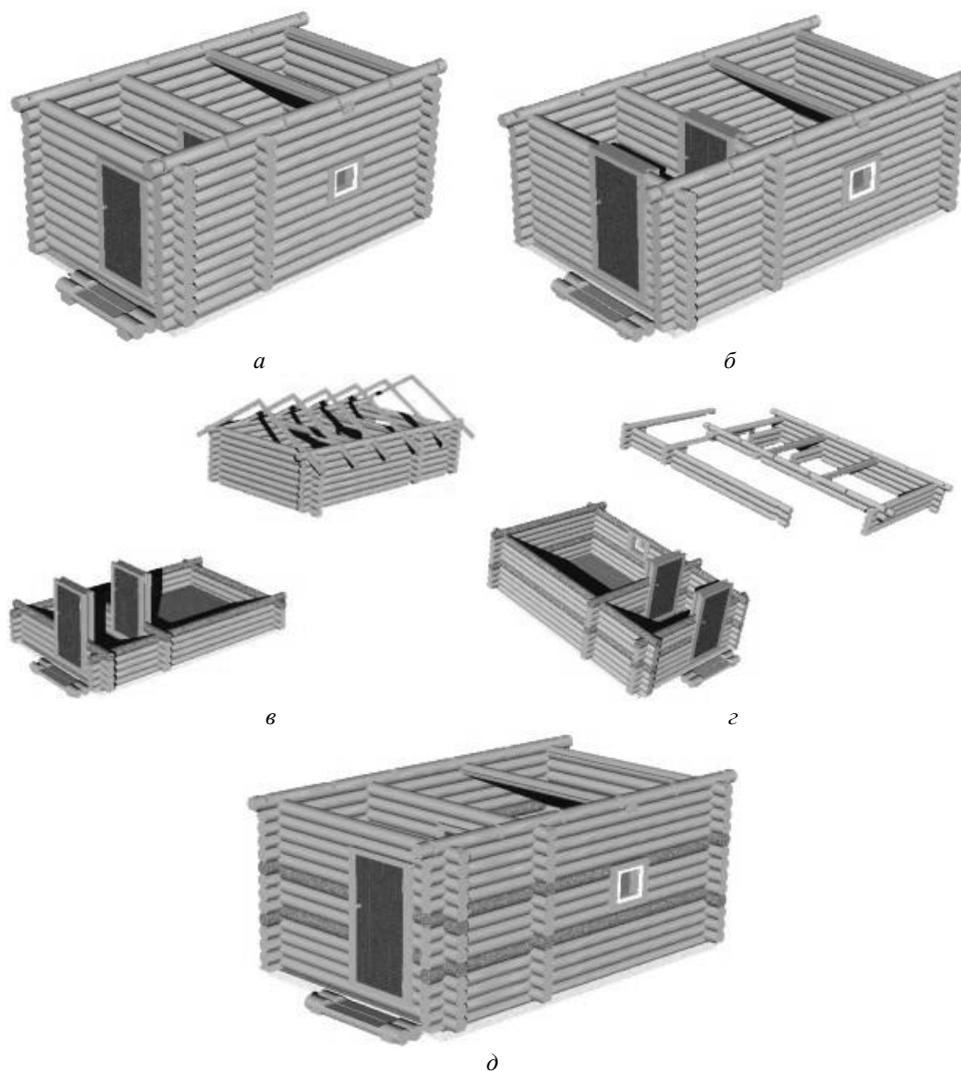


Рис. 4. Редактирование модели при изменении диаметра бревна: *а* – исходная модель (диаметр бревна 240 мм); *б* – изменен диаметр бревна (200 мм); *в* – добавлен ряд бревен ниже окна (выделен цветом), предварительно верхняя часть бревен смещена в сторону; *г* – добавлен ряд бревен на уровне окна (выделен цветом), предварительно верхняя часть бревен смещена в сторону; *д* – модель после редактирования (добавленные ряды выделены цветом)

Несмотря на то, что все фрагменты дома проектируются для построения 3D модели, в любой фрагмент можно включить чертеж изделия, который в дальнейшем используют при изготовлении (рис. 5). При этом могут быть включены элементы, которые в 3D модели не отображаются (например, отверстия под нагели, паз для снятия внутренних напряжений и т.п.).

система T-Flex CAD 3D в комплексе с библиотеками параметрических фрагментов существенно повышает производительность труда конструктора, сокращая сроки выполнения проекта;

при использовании T-Flex CAD 3D повышается надежность работы конструктора, так как все ошибки проекта сразу видны на 3D-моделях;

в системе T-Flex CAD 3D легко осуществляется редактирование моделей;

с ее помощью эффективно решаются вопросы увязки всех элементов жилого комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перфильев, П.В.* Опыт использования системы параметрического моделирования T-FLEX CAD при проектировании объектов энергетики [Текст] / П.В. Перфильев, М.П. Худяков // САПР и графика. – 2004. – № 1. – С. 93–96.

2. *Перфильев, П.В.* Опыт использования системы программного комплекса T-FLEX CAD для параметрического проектирования в мебельном производстве [Текст] / П.В. Перфильев, М.П. Худяков // САПР и графика. – 2002. – № 7. – С. 70–74.

3. *Перфильев, П.В.* Проектирование сборного инструмента в T-FLEX CAD [Текст] / П.В. Перфильев, М.П. Худяков // САПР и графика. – 1999. – № 8. – С. 82–83.

Филиал «Севмашвтуз» СПбГМТУ
РосМТК

V.I. Malygin, P.V. Perfiljev

Use of Computer-assisted Design System for Modeling Wooden Houses Made of Round Logs

The experience of applying the parametric modeling T-Flex CAD (developer – the Russian company Top Systems) in designing wooden houses made of regularized round timber based on the library of parametric fragments is considered.

