

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

1

2004

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **И.И. Гусев**, проф. **Р.Е. Калитеевский**, акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, проф. **А.А. Камусин**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **В.С. Куров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолева**, **В.В. Мусинский**, доц. **О. А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **В.И. Онегин**, проф. **Г.С. Ощепков**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **В.К. Попов**, проф. **С.М. Репях**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.Г. Санаев**, проф. **В.И. Санев**, проф. **В.А. Суслов**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

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

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 1

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

Сдан в набор 01.02.2004. Подписан в печать 01.04.2004.
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.
Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

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

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- А.М. Невидомов.* Пойменное лесоводство – новый вид зонально-географических систем ведения лесного хозяйства 7
- Ю.М. Шарыгина.* Опыт выращивания родиолы розовой в Ботаническом саду Марийского государственного технического университета..... 14
- С.А. Коханский.* Трансформация заболоченных древостоев под влиянием лесохозяйственных мероприятий 19
- А.В. Родионов.* Технологические основы неистощительного лесопользования. 24
- И.В. Шутов.* О хозяйственной классификации лесов..... 31

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Ю.А. Ширнин, Э.Ф. Герц.* Стохастическое моделирование валки деревьев при несплошных рубках 39
- П.Н. Гагарин, А.Н. Вихарев, Т.С. Исупова.* Радиационно-аналоговое моделирование скоростей и турбулентных напряжений в затопленной струе или гидромеханическом следе..... 45

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

- А.И. Гильденгорн, М.П. Худяков.* Формирование технологических моделей машиностроительных изделий лесопромышленного комплекса..... 54
- Е.Н. Покровская, И.В. Котенева, А.А. Аскадский.* Определение лимитирующей стадии сорбции на примере древесины различной длительности эксплуатации 61
- Д.А. Братилов, А.Д. Голяков.* Выборочная технологическая модель сучковатости комлевых сосновых бревен..... 66

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- О.Г. Авакова, К.Г. Боголицын, С.Г. Дмитриенко.* Определение удельной площади поверхности растительной клетчатки..... 77
- В.Г. Шабалин, М.М. Чемерис, В.В. Коньшин.* Некоторые кинетические закономерности ацетилирования древесины уксусной кислотой в присутствии тионилхлорида в среде ТФУК..... 81
- Д.Ф. Кириллов.* Исследование влияния стимуляторов выхода живицы на смоляной аппарат лиственницы сибирской..... 86
- А.М. Кряжев.* Механохимическое воздействие на техническую целлюлозу для интенсификации технологических процессов..... 91
- П.Н. Балакишин.* Экологические проблемы в целлюлозно-бумажной промышленности РФ 100

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- А.В. Воронин.* Прикладные транспортно-производственные задачи планирования работы предприятий ЛПК 103

<i>В.А. Кузнецов.</i> Задачи раскроя и комплектования материалов в моделировании производственных процессов.....	111
<i>Я.Ф. Молнар, Е.Н. Пономарева.</i> Актуальность и методика разработки и внедрения единой тарифной системы оплаты труда работников целлюлозно-бумажных предприятий.....	117

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

<i>А.А. Rogov.</i> Оптимизация объема поставок запасных частей	120
<i>В.С. Сюнев.</i> Новые информационные технологии как инструмент оптимального выбора машин для лесозаготовок.....	124
<i>А.Т. Гурьев, Л.В. Абрамова, С.В. Торхов, Д.В. Трубин.</i> Функциональное моделирование лесного хозяйства.....	135

ЮБИЛЕИ

Ректорат С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Юбилей профессора Г.В. Стадницкого



CONTENTS

FORESTRY

<i>A.M. Nevidomov.</i> Floodplain Silviculture – New Type of Zonal-geographical Systems of Forest Management.....	7
<i>Yu.M. Sharygina.</i> Experience of Growing <i>Rhodiola Rosea</i> in the Botanic Garden of Mari State Technical University.....	14
<i>S.A. Kokhansky.</i> Transformation of Swamp Forest Stands under Forestry Measures Influence.....	19
<i>A.V. Rodionov.</i> Technological Base of Inexhaustible Forest Management.....	24
<i>I.V. Shutov.</i> Economic Classification of Forests.....	31

WOODEXPLOITATION

<i>Yu.A. Shirnin, E.F. Gerts.</i> Stochastic Simulation of Tree Felling under Thinning....	39
<i>P.N. Gagarin, A.N. Vikharev, T.S. Isupova.</i> Radiation-analogous Simulation of Velocities and Turbulent Shear Stress in Submerged Flow or Hydrodynamic Trace.....	45

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>A.I. Hildengorn, M.P. Hudyakov.</i> Technological Models Formation of Machine-building Products for Woodworking Complex.....	54
<i>E.N. Pokrovskaya, I. V. Koteneva, A. A. Askadsky.</i> Determination of Sorption Limiting Stage Based on Wood of Different Service Time.....	61
<i>D.A. Bratilov, A.D. Golyakov.</i> Sample Process Model of Branchiness of Butt Pine Logs.....	66

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>O.G. Avakova, K. G. Bogolitsyn, S. G. Dmitrienko.</i> Determination of Specific Surface Area of Vegetable Cellulose.....	77
<i>V.G. Shabalin, M.M. Chemeris, V.V. Konshin.</i> Some Kinetic Regularities of Wood Acylation by Acetic Acid in Presence of Thionyl Chloride in Trifluoroacetic Acid Medium.....	81
<i>D.F. Kirillov.</i> Investigation of Stimulating Agents' Influence of Gum Yield on Resin Apparatus of Siberian Larch.....	86
<i>A.M. Kryazhev.</i> Mechanical-chemical Effect on Pulp for Technological Processes Enhancement.....	91
<i>P.N. Balakshin.</i> Environmental Problems in Pulp-and-paper Industry of RF.....	100

ECONOMICS AND MANAGEMENT

<i>A.V. Voronin.</i> Applied Transport-production Tasks of Planning Work of Forest-industrial Companies.....	103
<i>V.A. Kuznetsov.</i> Tasks of Cutting and Gathering Materials in Production Processes Simulation.....	111
<i>Ya.F. Molnar, E.N. Ponomareva.</i> Relevance and Technique of Development and Introduction of Standard Wage System for Labor Remuneration of Pulp-and-Paper Mill Employees.....	117

COMPUTERIZATION OF TRAINING AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

A.A. Rogov. Optimization of Spare Parts Supply.....	120
V.S. Syuney, S.A. Kilpelainen, G.A. Davydkov, A. P. Sokolov. New Information Technologies as Instrument of Optimal Selection of Logging Machines.....	124
A.T. Gurjev, L.V. Abramova, S.V. Torkhov, D.V. Trubin. Functional Modelling of Forestry.....	135

JUBILEES

Administration of Saint-Petersburg State Technological University of Vegetable Polymers. Jubilee of Professor G.V. Stadnitsky.....	
--	--



УДК 630*2

А.М. Невидомов

Невидомов Алексей Михайлович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Горьковский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, действительный член Русского ботанического общества РАН, старший научный сотрудник ФГУП «ЦНИЛХИ». Имеет около 50 научных трудов и внедрений НИР в лесохозяйственное производство.



ПОЙМЕННОЕ ЛЕСОВОДСТВО – НОВЫЙ ВИД ЗОНАЛЬНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Разработана система пойменного лесоводства, основанная на лесопригодности аллювиальных почв. Определены направления лесохозяйственной деятельности, выделены формы хозяйства.

Ключевые слова: пойменное лесоводство, направления лесохозяйственной деятельности, формы хозяйства.

В специальной литературе и средствах массовой информации немало сказано о напряженной экологической обстановке на Волге. Но при этом почему-то остается в тени ключевая роль лесоводов в решении проблемы. Между тем еще 10 лет назад в резолюции I делегатского съезда Русского ботанического общества РАН было обращено внимание на необходимость комплексного экосистемного подхода при реализации Всероссийской экологической программы «Возрождение Волги» [9]. Бесспорно, что растительный (автотрофный) компонент является центральным в системе любого природного территориального комплекса (ПТК). Это основа экологической пирамиды. Трудно переоценить роль и значение лесов в долинах р. Волги и ее притоков. Тем не менее, особую значимость пойменных лесов можно конкретизировать, выделив пять основных групп их ценных функций.

I. Гидрологические функции. Сюда относятся важнейшие водоохранные, руслоукрепляющие, берегозащитные, противоэрозионные, кольматирующие (задержание плодородного ила), фильтрующие функции, выполняемые долинными лесами. Но едва ли не главнейшая из них – регулирование водного режима реки.

II. Агротелиоративные функции. Располагаясь узкими лентами вдоль водоемов естественной гидросети речных долин Волжского бассейна, пойменные леса образуют идеальную природную систему лесных защитных полос, создающую благоприятные условия для развития высокопродуктивных луговых угодий и возделывания сельскохозяйственных культур.

III. Социальные функции, связанные с удовлетворением рекреационных, оздоровительных потребностей населения, имеющие, в частности, первостепенное значение для развития экологического водного туризма.

IV. Экологические и средообразующие функции. Пойменные леса являются особым незаменимым резерватом биоразнообразия на всех его уровнях (генетическое – наличие гаммы специфических пойменных экотипов; видовое – целый ряд сугубо долинных видов и разнообразие экосистем речных долин) и участвуют в создании особой экологической среды в поймах, уменьшающей воздействие жестких зональных климатических факторов.

V. Лесоводственные функции. На богатых хорошо дренированных лесных пойменных почвах могут произрастать наиболее высокопродуктивные древостои. Так, например, запас естественных 30-40-летних насаждений тополя черного (оскорники) в долинах рек европейской части СНГ в среднем и высоком экологических уровнях пойм достигает 600 ... 800 м³ на 1 га [2].

Феноменом современного состояния макроэкосистемы (ПТК) прибрежных территорий р. Волги и ее притоков является тот факт, что локальные антропогенные воздействия (техногенные влияния, промышленные загрязнения, сельхозпользование, рекреационная нагрузка) сейчас многократно усиливаются региональным изменением пойменных земель – регулированием стока р. Волги (прямым – каскад водохранилищ и косвенным – мелиорация на водосборной площади) на огромном протяжении ее бассейна. В результате наблюдается этап формирования нового ПТК долины р. Волги и ее притоков. При этом на смену природным звеньям экологического ряда развития лесной растительности поймы идут древесно-кустарниковые породы с далеко не лучшими лесоводственно-хозяйственными свойствами: пришельцы из Америки – клен американский, ясень пенсильванский, аморфа кустарниковая; в пойме Нижней Волги на засоленных почвах начал распространяться лох узколистный; на Верхней и Средней Волге четко прослеживается процесс смены дуба липой и осинкой. Все это ведет к необратимой деградации коренной флоры и фауны. Теряется уникальный резерват биоразнообразия, а в биологическом спектре начинают преобладать сорные космополитные виды.

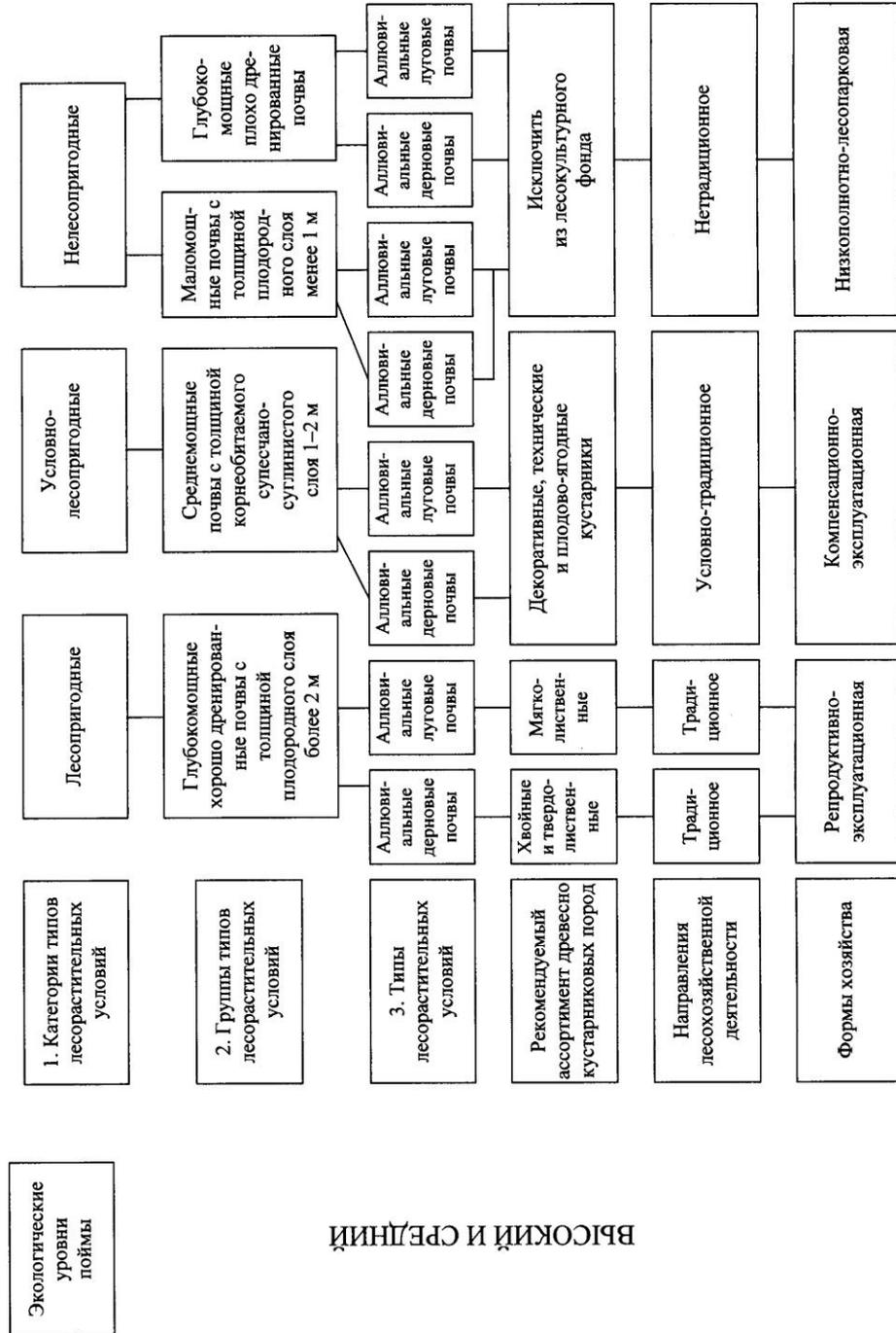
Следуя представленной В.Ф. Цветковым [10] логичной системе лесоводства в сосняках Кольской лесорастительной области, при разработке прогрессивной системы пойменного лесоводства в изменившихся в результате регулирования стока гидрологических условиях речных долин мы последовательно определяли основной принцип лесохозяйственной деятельности, ее направления и формы хозяйства (см. рисунок).

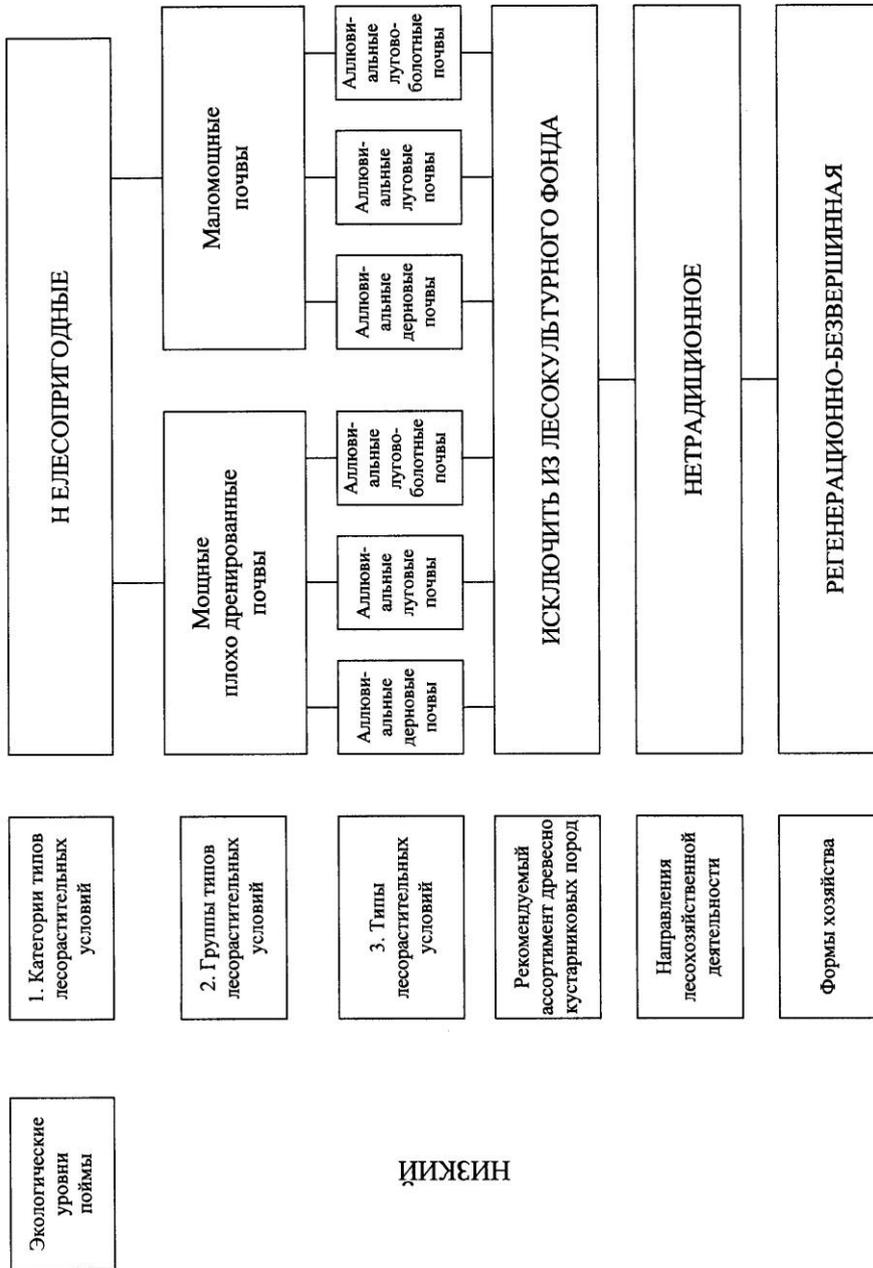
Основным принципом лесохозяйственного производства в системе пойменного лесоводства является жесткая привязка всех лесохозяйственных мероприятий к почвенно-типологической основе. Дело в том, что, в отличие от водораздельных (плакорных) территорий, лесорастительные условия речных долин характеризуются исключительно высокой пестротой и динамичностью. Лес никогда не занимал всей территории речных долин Волжского бассейна в силу лабильности характеристик паводков и, соответственно, почвенно-гидрологических условий. У истоков пойменного лесоводства стоял российский лесничий С. Конардов, установивший в 1888 г. закономерности распределения лесной растительности в долине Нижней Волги в зависимости от высоты над меженным уровнем реки [3]. Главный практический вывод отсюда – отказ от понятия лесопригодности всех пойменных почв. Особенно это актуально сегодня в условиях зарегулированного стока рек Волжского бассейна.

Новые лесорастительные условия зарегулированных пойм Волжского бассейна требуют иных подходов к формированию системы лесного хозяйства, основанной на сочетании традиционного и нетрадиционного направлений лесохозяйственной деятельности, на что обращалось внимание В.Д. Шульгой [13] еще 20 лет назад. Поэтому сейчас в процессе лесоустройства на почвенно-типологической основе требуется, во-первых, разделить все пойменные территории на три категории (лесопригодные, условно-лесопригодные и нелесопригодные) и, во-вторых, определить направления лесохозяйственной деятельности (традиционное, условно-традиционное и нетрадиционное), руководствуясь как экономическими, так и экологическими принципами.

Проведенные нами массовые исследования [5 – 7] подтвердили нелесопригодность маломощных (мелких) пойменных почв в условиях зарегулированного речного стока, установленную ранее лабораторией выращивания защитных насаждений в поймах рек ВНИАЛМИ [13–15] и лабораторией лесоведения РАН [4, 8]. Нелесопригодны также территории речных долин, подверженные губительному воздействию зимних паводков, вызванных пиковыми сбросами с плотин ГЭС, в результате чего происходит повреждение и поломка льдом древесно-кустарниковой растительности на низкой пойме до высоты 4-5 м [1, 11] и ее гибель из-за интенсивных глееобразовательных процессов в почвенном профиле [14, 15].

В настоящее время при зарегулированном речном стоке долинские леса сохраняют свою достаточную устойчивость только на хорошо дренированных глубококомочных почвах в пойме среднего уровня с толщиной плодородного супесчано-суглинистого слоя более 2 м. И только здесь приемлемо традиционное направление лесохозяйственной деятельности, основанное на системе рубок промежуточного и главного пользования по канонам классического лесоводства. Его конечная цель – получение крупномерной деловой древесины (форма хозяйства репродуктивно-эксплуатационная). Интенсивность рубок ухода здесь должна определяться этой целью. Виды и периодичность лесохозяйственных мер назначают в соответствии с ныне





Принципиальная схема организации системы пойменного лесоводства

действующими инструкциями, правилами, наставлениями и положениями. В условиях зарегулированного речного стока возможности естественного семенного возобновления хозяйственно-ценных древесных пород затруднены, поэтому метод лесовосстановления здесь должен быть комбинированным: сочетать создание, во-первых, благоприятных условий для естественного порослевого возобновления с установлением возраста лесовосстановительных рубок, исходя из онтогенетических закономерностей развития древостоев (для дубрав до 60 лет, для быстрорастущих мягколиственных пород – с 21 года); во-вторых – лесных культур как под пологом природных древостоев, так и на вырубках.

Участки, на которых мощность корнеобитаемой толщи составляет 1-2 м, должны быть признаны условно-лесопригодными, на них можно выращивать культуры плодово-ягодных, технических и декоративных кустарников (форма хозяйства компенсационно-эксплуатационная).

Маломощные почвы с толщиной плодородного слоя менее 1 м и плохо дренированные глубокомощные необходимо исключить из лесокультурного фонда в силу их явной нелесопригодности. Приходится согласиться с В.Д. Шульгой [13], что единственной практически выполнимой мерой при данных экономических условиях является выделение лесопарковых зон в пределах наиболее сложных лесорастительных условий поймы среднего и высокого уровней (маломощные и плохо дренированные глубокомощные почвы). Рубки ухода здесь следует проводить по правилу Юнака: начинать их следует рано, проводить часто и умеренно. Метод рубок ухода при этом должен быть комбинированным, строго индивидуальным с учетом микро-рельфа и мозаичности пойменного почвенного покрова. Нецелесообразна раскорчевка дубрав на участках с наиболее сложными лесорастительными условиями, так как в итоге такого мероприятия можно получить только пустыри, не пригодные для создания лесных культур. Поэтому рубки ухода должны быть направлены на то, чтобы сохранившиеся деревья могли иметь наибольшую площадь питания и хорошо развитые, низко опущенные кроны; тем самым обеспечивается устойчивость насаждений в сложных лесорастительных условиях. Первоочередные задачи данной низкополотно-лесопарковой формы хозяйства – избежать резкого сокращения покрытых лесом площадей и повысить рекреационную роль естественной древесно-кустарниковой растительности. Здесь целесообразно привлечь, по возможности, методы ландшафтной зеленой архитектуры.

В пойме низкого экологического уровня актуальна регенерационно-безвершинная форма хозяйства, в основе которой лежит так называемая «рубка на кобло» с оставлением пней высотой, соответствующей средней высоте затопления полыми водами. Эта мера предложена еще С. Конардовым [3] и рекомендована Н. С. Шингаревой-Поповой [12], затем В.Д. Шульгой [13]. В силу онтогенетических закономерностей естественных тополе-вых и ветловых древостоев желателен оборот рубки 25 ... 30 лет (кобловое хозяйство). Регенерационно-безвершинная (кобловая) форма хозяйства имеет своей целью поддержать существование важнейших водоохранных при-

родных лесов, так как повсеместно безуспешны попытки создать лесные культуры на участках, затопляемых в периоды зимнего половодья. Способ обыкновенной рубки «на пень», т. е. с оставлением пней нормальной высоты, в пойме низкого уровня неприемлем из-за длительного затопления площадей. Порослевое возобновление возможно, если верхняя часть пней находится над уровнем полой воды. По данным В.Д. Шульги [14], коблы некоторое время сохраняют порослевую способность, потому что интенсивные глееобразовательные процессы протекают, как правило, на глубине 140 ... 150 см и ниже, в итоге отмирание корневых систем деревьев происходит снизу, а в верхней части почвенного профиля ветла и осокорь могут давать придаточные корни и сохранять порослевую способность коблов.

Таким образом, пойменное лесоводство ставит своей целью сохранение, восстановление (по мере возможности) и рациональное использование важнейших пойменных лесов Волжского бассейна, от функционирования которых в конечном счете зависит существование самой Волги как крупнейшей водной артерии Европы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брылев В.А.* Опыт классификации антропогенных изменений природных условий некоторых районов Волго-Ахтубинской поймы // Антропогенные воздействия на природные комплексы и экосистемы. – Волгоград: ВГПИ им. А. С. Серафимовича, 1976. – С. 3–7.
2. *Вараксин Ф.Д.* Основные направления технического прогресса в лесной, бумажной и деревообрабатывающей промышленности и в лесном хозяйстве СССР // Лесное хозяйство и промышленное потребление древесины в СССР: Докл. к VI Мировому лесному конгрессу. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – С. 5–29.
3. *Конардов С.* Влияние разлива реки Волги на произрастание и возобновление леса // Лесн. журн. – 1888. – № 6. – С. 854–872.
4. *Кузьменко И.Т.* Почвенно-гидрологические условия осокорников в пойме р. Урал // Лесоведение. – 1992. – № 6. – С. 28–38.
5. *Невидомов А.М.* Фитоиндикация лесорастительных условий в Волго-Ахтубинской пойме // Лесн. хоз-во. – 1990. – № 12. – С. 18–20.
6. *Невидомов А.М.* К вопросу о типологии вырубок в северной части Волго-Ахтубинской поймы. – М., 1991. – 19 с. – Деп. в ВИНТИ АН СССР 04.06.1991. – № 2334-В.
7. *Невидомов А.М., Логинова Т.Д.* Ксерофитизация растительного покрова северной части Волго-Ахтубинской поймы в связи с регулированием речного стока // Ботан. журн. – 1993. – Т. 78, № 1. – С. 59–68.
8. *Оськина Н.В., Беспалов В.Д.* Биологическая продуктивность белотопольников в пойме р. Урал // Лесоведение. – 1992. – № 6. – С. 39–47.
9. Резолюция I делегатского съезда РБО // Ботан. журн. – 1994. – Т. 79, № 2. – С. 3–5.
10. *Цветков В.Ф.* Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 380 с.
11. *Шаталов В.Г., Трещевский Н.В., Якимов И.В.* Пойменные леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 160 с.

12. *Шингарева-Попова Н.С.* Пойменные осоковые и ветловые леса. – Л.: Гослестехиздат, 1935. – 72 с.
13. *Шульга В.Д.* Классификация лесорастительных условий зарегулированных пойм аридной зоны // Бюл. ВНИАЛМИ. – 1984. – Вып.1(42). – С. 64–70.
14. *Шульга В.Д.* Анализ новых лесорастительных условий пойм юго-востока ЕТС // Бюл. ВНИАЛМИ. – 1986. – Вып. 2(48). – С. 4–10.
15. *Шульга В.Д., Азовцев В.В., Максимов А.Н.* Лесорастительные условия пойм юго-востока ЕТС // Лесн. хоз-во. – 1987. – № 4. – С. 23–25.

ФГУП «ЦНИЛХИ»

Поступила 15.10.03

A.M. Nevidomov

Floodplain Silviculture - New Type of Zonal-geographical Systems of Forest Management

A system of floodplain silviculture is developed based on forest suitability of alluvial soils. Directions of forestry activity are defined, forms of economic activity are set.

УДК 633.88 (470.343)

Ю.М. Шарыгина

ОПЫТ ВЫРАЩИВАНИЯ РОДИОЛЫ РОЗОВОЙ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ МАРИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Подведены итоги 12-летней интродукции родиолы розовой в Ботаническом саду МарГТУ. Даны рекомендации по созданию плантационных культур лекарственного растения в Среднем Поволжье.

Ключевые слова: родиола розовая, интродукция, биомасса подземной части, плантационные культуры.

Многие декоративные лекарственные растения, являющиеся объектами массовых заготовок, перешли в разряд редких и исчезающих. Для сохранения их генофонда создаются комплексные заповедники, специализированные заказники, разрабатываются методы их интродукции, технологии плантационного выращивания, культивирования *in vitro*, сохранения генофонда *in situ*, *ex situ* и криоконсервации.

Уникальным с точки зрения фармакологических свойств видом является родиола розовая, которая 12 лет назад введена в интродукционную культуру в Ботаническом саду МарГТУ.

Родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.) относится к семейству толстянковых (*Crassulaceae*). Это многолетнее травянистое растение, размножающееся семенным и вегетативным путем, имеет дизъюнктивный ареал. В горных условиях, по литературным данным [1, 2, 5], растет на высоте от 1520 до 2700 м над уровнем моря под поясом вечных снегов и ледников, на каменистых склонах, древних моренах, на альпийских и субальпийских лугах, по долинам рек, спускается до мелколесья. Растения характеризуются высокой зимостойкостью, слабой требовательностью к трофности почвы, низкой конкурентной способностью, высокой требовательностью к свету и влажности почв, не переносят застойного увлажнения.

В корневищах и корнях родиолы содержатся биологически активные вещества, макро- и микроэлементы, которые определяют фармакологические свойства вида [4]. Препараты золотого корня широко применяются при профилактике и лечении различных заболеваний центральной нервной системы, обладают высокими адаптогенными, иммуномоделирующими, реабилитационными свойствами.

Цель данного сообщения – подвести итоги 12-летней работы Ботанического сада и кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ по введению родиолы розовой в культуру в Среднем Поволжье.

Первичная интродукция этого растения выполнена в условиях Ботанического сада и урочища «Буревестник» Республики Марий Эл. Посадочным материалом послужили корневищные черенки, взятые с Алтая (1900 ... 2100 м над уровнем моря), Тянь-Шаня (3500 ... 4000 м), Восточных Саян (1500 м). Растения из районов-доноров перемещены для интродукции на северо-запад на 2700 ... 3600 км, по высоте над уровнем моря – на 1600 ... 3900 м. Различия в условиях произрастания очень существенны. Первые испытательные посадки растений с Тянь-Шаня выполнены весной 1993 г., с Саян – весной 1994 г., с Алтая – весной 1993 и 1995 гг. Семена саянского происхождения высеяны в холодные парники под зиму 1993/94 гг. В 1996 г. весной был завершен первый эксперимент. Вторая серия экспериментов начата весной 1997 г. и закончена осенью 2001 г. Суть их заключалась в следующем. Изучали поведение растений, выращиваемых из черенков, заготовленных с маточников первичной интродукции. При этом учитывали влияние среднего и низкого уровня агротехники выращивания растений, крупности заготовленных черенков, их предпосадочной обработки ростовыми веществами – ЖУССом и гетероауксином. Варианты опыта анализировали раздельно по происхождению и возрасту.

*Накопление биомассы подземных органов
первичных интродуцентов*

Возрастная динамика изменения биомассы корневища и корней у растений следующая.

В год посадки подземная часть растений набирает в среднем 33-39 г сырой массы подземной части, изменчивость признака высокая (52 ... 67 %). Часть растений практически не накапливает биомассы после посадки черенков. Их подземные органы по массе мало отличаются от массы высаженных черенков (4 ... 8 г). Другая часть растений к концу вегетации достигает сырой массы 60 ... 78 г.

На второй год рост подземных органов резко усиливается. Их сырая масса в сравнении с однолетними растениями возрастает в среднем втрое и достигает 94 ... 103 г (самые мелкие растения 12 ... 21, самые крупные 316 ... 417 г), изменчивость признака возрастает до 63 ... 81 %.

На третий год интенсивность роста подземных органов снижается. Сырая масса увеличивается в среднем в 1,5-2,0 раза по сравнению с массой двухлетних растений и достигает 150 ... 194 г при колебаниях от 15 ... 24 до 713 ... 806 г.

Кроме возрастной динамики, прослеживаются следующие закономерности:

густота посадки черенков в пределах 50,0 ... 66,7 тыс. шт. на 1 га не оказывает существенного влияния на рост подземных органов;

растения алтайского и саянского происхождения по интенсивности роста не различаются и опережают трехлетние растения с Тянь-Шаня в среднем на 14 ... 28 %;

растения, выращенные из черенков местной репродукции, на одном и том же агрофоне растут быстрее первичных интродуцентов на протяжении трех лет в среднем на 46 ... 66 %.

В качестве сырья в фармакологической, пищевой и парфюмерной промышленности используют корневища вместе с почками и корни. Расчеты, основанные на результатах трехлетних экспериментов, показывают, что через два года после посадки черенков на 1 га плантации формируется 4,3 ... 4,6 т корней и корневищ при 50 тыс. посадочных мест. К концу третьего года вегетации подземная масса возрастает до 6,8 ... 8,8 и 10,3 ... 11,5 т/га. После сушки в качестве товарного сырья остается 32 ... 46 % от сухой массы двухлетних и 56 ... 57 % – трехлетних растений, в переводе на 1 га площади это составляет от 0,4 до 2,0 т сухого сырья. Крупных различий у растений разного происхождения нет, несколько меньше получается масса растений с Тянь-Шаня.

Растения, выращенные из черенков местной репродукции, дают на 34 ... 94 % больше сырой и сухой массы подземной части, чем растения первичной интродукции.

При производственном выращивании родиолы розовой следует учитывать, что при посадке с размещением 40 × 50 и 30 × 50 см в последнем случае выход массы корневищ и корней увеличивается на 22 ... 34 %.

Минимальное содержание салидрозида должно быть не менее 0,8 % от сухой массы [3]. Согласно протоколу анализа смешанного образца трехлетних корневищ и корней, выращенных в Ботаническом саду Республики Марий Эл из черенков первичной интродукции, оно составило 1,62 %.

Накопление биомассы подземных органов вегетативного потомства первичных интродуцентов

Масса корневищ и корней существенно зависит от агротехники выращивания и крупности высаживаемых черенков. Масса мелких черенков 3 ... 10 г, крупных – 15 ... 25 г.

Масса подземных органов 2-3-летних растений на средних по механическому составу и трофности почвах более чем вдвое превосходит массу однолетних растений, выращиваемых в условиях низкого агрофона. Это средний показатель, по лимитам различия еще выше. За первые два года после посадки из крупных черенков вырастают растения, у которых масса подземных органов в 2 раза больше, чем у выращенных из мелких черенков. С увеличением возраста различия постепенно сглаживаются и к 5 годам становятся статистически недостоверными.

Во всех вариантах значение признака варьирует в широких пределах (коэффициент вариации 46 ... 77 %). Крайние значения различаются на порядок. Самое крупное трехлетнее растение в выборках, включенных в статистическую обработку, имело массу подземной части 930 г, а во всем эксперименте – 1420 г.

В условиях низкого агрофона быстрее росли растения алтайского происхождения.

Предпосадочная обработка черенков препаратами ЖУСС, гетероауксином не стимулирует рост подземных органов растений.

Родиола розовая в условиях Республики Марий Эл способна продуцировать сырую подземную массу от 2,5 до 19,8 т на 1 га плантации, а сухую массу – от 0,65 до 6,72 т. Результат зависит от географического происхождения, агрофона и продолжительности выращивания растений, крупности высаживаемых черенков, половой дифференциации.

Важным показателем является доля сухой массы, изымаемой вместе с черенками. При 100 %-м использовании черенков для посадки она равна 43 ... 68 % массы подземной части. Однако на посадку используется от 50,0 до 66,7 тыс. черенков на 1 га плантации, что составляет 12 % от возможного количества заготовки с 3-летних и 15 % – с 2-летних растений. Следовательно, вместе с черенками будет изыматься ежегодно 8 ... 10 % от массы подземной части у 2-летних и 5 ... 6 % – у 3-летних растений.

*Рекомендации и нормативы выращивания
родиолы розовой в Среднем Поволжье*

Опыт выращивания родиолы розовой показал, что она легко размножается вегетативно и семенами. Для плантационных культур рекомендуется в качестве посадочного материала использовать крупные черенки. Их нарезают из корневищ осенью после выкопки растений на товарное сырье. Черенок имеет 5 ... 7 почек, часть корневища длиной 4 ... 6 см, толщиной 1,5 ... 3,0 см, сырую массу до 25 г. Маточными служат 6-летние корнесобственные растения. Площадь срезов должна быть минимальной.

При осенних посадках, когда между заготовкой и посадкой проходит 2-3 дн., черенки достаточно прикрыть мешковиной для защиты от иссушения; при более длительном хранении их следует закрывать влажным сфагновым мхом.

В случае весенних посадок черенки закладывают на хранение в ящики с крышками, чередуя слои в 3-4 см: сфагновый мох – черенки – сфагновый мох. Тара должна обеспечивать воздухообмен. Ящики хранят в погребах или холодных помещениях при температуре не выше +4 °С, весной до начала посадок их надо закапывать в снег.

При подборе земель под культуру родиолы желательно учитывать следующие требования: почва экологически чистая, дренированная, плодородная в пахотном горизонте до глубины 35 ... 40 см, свежая либо влажная; хрущ отсутствует; для полива есть водоем; участок доступен для транспорта; обеспечивается надежная охрана.

Основные элементы агротехники выращивания:

- осенью вносят 200 т/га перепревшего навоза, запахивают;
- весной (май – июль) пар трижды культивируют, в августе – сентябре фрезеруют, нарезают борозды через 50 см и через 30 см высаживают черенки на глубину до верхушечной почки;

– уход заключается в культивации междурядий и ручной прополке в рядах (4-кратные) и поливе по мере необходимости;
– цикл выращивания 2- или 3-летний.

Для реализации описанной технологии можно рекомендовать следующие технические средства, имеющиеся в лесхозах и сельхозпредприятиях: Т-75М, МТЗ-82, ЭО-2621, 1ПТУ-4, ПАП-5-35, КРН-42, ФЛУ-0,8, ДДН-70, грузовой автомобиль любой марки.

Сырье и черенки заготавливают в конце сентября – начале октября. Для выкопки можно применять ВМ-1,25 в сцепке с трактором Т-75М; выборка растений, очистка от земли, удаление надземной части, промывка корней и корневищ и их разделка на куски осуществляются вручную, сушка сырья – в сушилке СТЛ-150. Сырье должно отвечать требованиям «Государственной фармакопеи СССР» [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. – М., 1976. – С. 291.
2. Горчаковский П.Л. Флора и растительность высокогорий Урала // Науч. тр. Свердловск. ин-та биологии. – Свердловск, 1996. – № 48. – С. 78–140.
3. Государственная фармакопея СССР. XI изд. Вып. 2: Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. – М., 1990. – С. 226, 364 – 366.
4. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства *Caprifoliaceae* – *Plantaginaceae*. – Л., 1990. – 328 с.
5. Сузов Ю.П. Запасы *Rhodiola rosea* в горах Алтая и Западных Саян // Успехи изучения лекарственных растений Сибири. – Томск, 1973. – С. 8–10.

Марийский государственный
технический университет

Поступила 18.06.02

Yu.M. Sharygina

Experience of Growing *Rhodiola Rosea* in the Botanic Garden of Mari State Technical University

The results of 12-year introduction of *rhodiola rosea* in the Botanic Garden of Mari State Technical University are summarized. The recommendations for creating plantation cultures in the Middle Volga area are provided.



УДК 630*385

С. А. Коханский

Коханский Сергей Александрович родился в 1974 г., окончил Петрозаводский государственный университет, научный сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет 12 печатных работ в области лесоводства, лесных культур и гидролесомелиорации.



ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Исследованы процессы переформирования сосновых насаждений Карелии различных условий произрастания в течение 25 ... 30 лет после осушения. Изучены изменения структуры древостоев, хода роста поколений. Показана роль рубок, дана оценка продуктивности древостоев.

Ключевые слова: подрост, тонкомер, ход роста, продуктивность, осушение, рубка, условия произрастания.

Основным мероприятием, способствующим повышению продуктивности заболоченных лесов, является гидролесомелиорация. В Республике Карелия более трети площади лесного фонда (5,4 млн га) составляют болота и заболоченные леса. Последние разновозрастны, в них преобладают спелые и перестойные поколения с низкой продуктивностью, как правило, много подроста и тонкомера хвойных пород. Это важно в процессах переформирования структуры заболоченных древостоев после осушения.

Гидролесомелиорация зачастую не обеспечивает получение высокой эффективности без проведения дополнительных мероприятий, поскольку на осушаемых площадях преобладают, главным образом, насаждения, мало пригодные для выращивания в связи с их высоким возрастом на момент осушения, значительным участием лиственных пород и низкой товарностью. Этими мероприятиями являются различные виды рубок.

До настоящего времени нет четкого представления, при какой структуре древостоя в разных лесорастительных условиях и при каком хозяйственном воздействии в мелиорированных лесах можно получить максимальный лесоводственный эффект. В связи с этим изучение переформирования древостоев под влиянием гидролесомелиорации и рубок является одной из актуальных проблем в плане повышения продуктивности заболоченных лесов.

Наши исследования проведены в среднетаежной подзоне Карелии на объектах лесомелиоративного стационара «Киндасово». Объектами служили стационарные пробные площади Института леса КарНЦ РАН с давно-

стью осушения 25 ... 30 лет, на которых в начале 70-х гг. были проведены первые исследования.

Цель исследований – установить роль различных поколений деревьев и подроста в формировании древостоев под влиянием осушения и лесохозяйственного воздействия и оценить лесоводственную эффективность осушения в отдельности и в совокупности с проведением рубок в осушенных лесах Карелии.

Изучали наиболее распространенные в Карелии типы леса осушенных насаждений на различных по трофности почвах. Исследования проводили в сосняках и березняках травяно-сфагновых на торфяных почвах переходного-низинного типа, в сосняках осоково-сфагновых на торфяно-(торфянисто-) глеевых почвах на глинах и в сосняках кустарничково-сфагновых на торфяно-подзолисто-глеевых почвах.

В целях изучения влияния рубок на рост и продуктивность осушенных сосновых насаждений в различных условиях произрастания пробные площади были разделены на варианты (участки): 1 – контроль (осушенная площадь), 2 – осушение + выборочная или проходная рубка, 3 – осушение + сплошная рубка с сохранением подроста и тонкомера. В последнем случае в сформировавшихся молодняках были предусмотрены подварианты с уходом за хвойной частью древостоя или без него. Учеты древостоя с выделением поколений и подроста проводили по методике закладки и обработки данных пробных площадей осушенных насаждений [3]. Для каждого поколения сосны отбирали 10...15 модельных деревьев для изучения хода роста по методике, принятой в таксации [1]. Пространственную структуру осушенных насаждений исследовали путем картирования деревьев и возобновления с использованием методики В.С. Моисеева [2].

Длительный мониторинг, периодически осуществляемый на постоянных пробных площадях, показал, что характер и степень изменения структуры насаждений после осушения зависят от нескольких факторов, из наиболее значимы: условия произрастания, возраст и полнота осушаемого насаждения, наличие и качество естественного возобновления хвойных, интенсивность лесоводственных мероприятий (рубок).

Изучение пространственной структуры древостоев на осушенных землях позволило выявить положительное влияние рубок на равномерность размещения деревьев. Различия в густоте деревьев в интенсивно и экстенсивно осушенных зонах в вариантах с рубками составляют 3 ... 11 %, тогда как в контроле 25 ... 39 %. На участках, пройденных рубками, доля хвойных выше в интенсивных, а в контрольных вариантах, наоборот, в экстенсивных зонах осушения. Заметно больше (26 ... 39 %) в контроле доля сосновых деревьев с закрытой вершиной, в вариантах, пройденных рубками, только 11 ... 23 %. Установлено, что даже в кустарничково-сфагновых сосняках, несмотря на невысокую сомкнутость (0,5), около 40 % деревьев имеют частично или полностью закрытую крону, что связано с неравномерностью появления возобновления, приуроченного в заболоченных условиях к микроповышениям. Следовательно, рубки в осушаемых насаждениях необходимы

для формирования оптимальной пространственной структуры, создания хороших условий роста оставшейся части древостоя.

Под влиянием осушения и рубок изменяется также возрастная, породная структура насаждений, повышается их продуктивность и средние таксационные показатели. Как правило, старые поколения деревьев на контрольных участках сохраняются в составе древостоя, хотя их доля существенно сократилась за период наблюдений. При наличии под пологом низкополнотных древостоев достаточного количества жизнеспособного подроста из него формируются молодые поколения сосны и березы, возрастная структура усложняется, происходит естественное омоложение. Спелые и перестойные насаждения через 25 ... 30 лет осушения оказываются средневозрастными и приспевающими.

При проведении выборочных рубок в спелых древостоях или проходных – в средневозрастных повышается доля сосны в осоково- и травяно-сфагновых сосняках. В сосновой части участие средневозрастных и приспевающих поколений заметно выше, чем на контрольных участках, появляются, хоть и незначительно, поколения сосны и ели, сформировавшиеся из подроста.

В результате сплошных рубок с сохранением подроста и тонкомера в осоково- и травяно-сфагновых насаждениях и последующих уходов за хвойной частью в сформировавшихся молодняках через 25 лет после рубки на месте малоэффективных для гидролесомелиорации спелых и перестойных насаждений формируются хвойные древостои с незначительным участием лиственных, но существенной (до 3 единиц в составе) долей поколения сосны, возобновившегося после осушения. В богатых условиях присутствует и ель (до 1 единицы в составе).

Для всех изученных древостоев, даже в олиготрофных условиях произрастания, в течение периода осушения отмечено повышение продуктивности. Однако если в осоково- и травяно-сфагновых насаждениях текущий бонитет повышается до I-II, то в кустарничково-сфагновых изменения незначительны. Выборочные, проходные и сплошные рубки (с уходами) в мезотрофных и мезоевтрофных условиях способствуют формированию древостоев большей хозяйственной ценности и продуктивности.

В осоково- и травяно-сфагновых типах леса распределение деревьев по ступеням толщины в течение 25 лет осушения приближается к нормальному, что более характерно для сосны. В кустарничково-сфагновых сосняках сохраняется преобладание тонкомерных деревьев, через 25 ... 30 лет после осушения левая асимметрия в распределении деревьев по ступеням толщины остается, хотя и несколько снижается.

Уход в сосновых молодняках травяно-сфагнового типа леса, сформировавшихся после осушения и сплошных рубок спелых насаждений, обеспечивает не только большую густоту хвойной части молодых древостоев, но и увеличение периода максимальной густоты. Изреживание деревьев сосны начинается на 5 лет позже, чем в варианте без уходов.

Динамика густоты и породного состава подроста после осушения зависит от условий произрастания и полноты древостоя. Если в высокополнотных травяно-сфагновых сосняках через 15 ... 20 лет подрост сосны предварительной генерации исчезает, а его место занимает возобновление березы и ели, то в кустарничково-сфагновых сосняках вследствие невысокой полноты древостоя и незначительной интенсивности роста сохраняется 1-2 тыс. шт./га подроста, возникшего до осушения.

Исследования хода роста деревьев сосны показали их разную отзывчивость на осушение в зависимости от возраста, размеров и условий произрастания. После осушения полог древостоя выравнивается за счет интенсивного роста деревьев молодых и средневозрастных поколений. Особенно высокие приросты по высоте отмечаются у поколения, сформировавшегося из подроста. В мезотрофных условиях прирост в высоту возрастает даже у спелых деревьев, хотя в заболоченных древостоях он резко снижается уже к 90 ... 100 годам. В мезоевтрофных условиях этот процесс в заболоченных древостоях происходит позднее – к 120 ... 130 годам.

Соответствующие изменения после осушения можно отметить и при рассмотрении хода роста модельных деревьев сосны по диаметру. Однако здесь картина уже менее выражена. Выравнивания средних диаметров деревьев сосны разных поколений нет, хотя разница между ними сокращается.

В накоплении объемного прироста к концу третьего десятилетия осушения лидируют средневозрастные и приспевающие поколения, которые до осушения были представлены тонкомером.

На основании анализа моделей были подобраны математические уравнения, характеризующие в различных условиях произрастания ход роста деревьев сосны разного возраста по диаметру, высоте и объему в течение 30 лет после осушения (факт) и за этот же период без мелиорации (прогноз). Сравнение фактического роста деревьев после осушения и предполагаемого в условиях заболоченности для данных моделей позволило рассчитать дополнительный прирост деревьев сосны каждого поколения, полученный в результате мелиорации в различных условиях произрастания.

Наибольшее значение в накоплении запаса для всех рассматриваемых условий произрастания имеют средневозрастные поколения сосны (60 ... 80 лет), представленные на момент осушения тонкомером. В кустарничково-сфагновых сосняках, а также в относительно небогатых низкополнотных осоково-сфагновых древостоях присутствует также тонкомер сосны в возрасте спелости (120 лет). Его участие в формировании запаса незначительно либо равно нулю.

Если в высокополнотных и среднеполнотных евтрофных и мезоевтрофных сосняках даже при проведении выборочных и проходных рубок (интенсивность 36 ... 49 %) в формировании запаса доминирует хвойный тонкомер, то в низкополнотных мезоолиготрофных древостоях возрастает роль подроста, который может занимать лидирующее положение. Некоторое повышение его доли возможно при проведении в кустарничково-сфагновых сосняках выборочных рубок с удалением старых поколений со-

сны. В травяно- и осоково-сфагновых древостоях для этого требуется проведение сплошных рубок и последующих уходов в молодняках. Поколение хвойных (самосев), возникшее после осушения и рубок, практически не участвует в формировании запаса за исключением сосновых молодняков травяно-сфагнового типа леса, сформировавшихся после сплошных рубок спелых насаждений при условии проведения уходов за хвойной частью древостоя.

Таким образом, средневозрастные и приспевающие поколения сосны и сосновый подрост за счет более интенсивного роста, а последний и за счет значительной густоты в низкополнотных древостоях имеют основное значение в формировании запаса древостоев после осушения.

По результатам исследований можно сделать следующее заключение.

В мезоевтрофных условиях произрастания при осушении средне- и высокополнотных сосновых насаждений следует ориентироваться на средневозрастные поколения сосны, представленные тонкомером, которые после выборочной (в спелых древостоях) или проходной (в средневозрастных древостоях) рубки имеют основное значение в формировании запаса. Оставление соснового тонкомера в возрасте спелости в мезоолиготрофных условиях нецелесообразно в связи с его низким приростом. При осушении низкополнотных сосняков мезоолиготрофных условий произрастания особую роль в формировании насаждений играет сосновый подрост, значение которого возрастает при проведении сплошных (в осоково-сфагновых сосняках) и выборочных (в кустарничково-сфагновых) рубок. При наличии под пологом травяно- и осоково-сфагновых сосняков и березняков жизнеспособного соснового подроста (более 0,5 м) достаточной густоты (4-5 тыс. шт./га при высоте до 1 м, 2-3 тыс. шт./га – до 2 м) оптимальным вариантом является сплошная рубка с сохранением подроста и тонкомера. Проведение уходов в сформировавшихся после сплошной рубки травяно-сфагновых и осоково-сфагновых молодняках позволяет повысить участие соснового подроста и последующего после рубки возобновления сосны в процессе формирования древостоев на осушенных землях.

В мезотрофных и мезоевтрофных условиях произрастания старовозрастные поколения значительно уступают по интенсивности прироста средневозрастным и молодым поколениям, в связи с этим одновременно с осушением или реконструкцией необходимо удалить старовозрастные деревья.

Осушение бедных верховых торфяников (олиготрофные условия) в условиях Карелии бесперспективно для формирования продуктивных древостоев из-за низких запасов к возрасту рубки.

В осушаемых насаждениях мезотрофных и мезоевтрофных условий произрастания после проведения сплошных рубок с сохранением хвойного подроста и тонкомера необходимо не менее двух уходов за хвойной частью молодняков (первый через 5 ... 10 лет после рубки, второй через 15 ... 20 лет).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Н.П.* Лесная таксация. – М., 1971. – 510 с.
2. *Моисеев В.С.* Таксация молодняков: Учеб. пособие. – Л.: ЛТА, 1971. – 343 с.
3. *Рубцов В.Г., Кнize А.А.* Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях. – Л., 1977. – 43 с.

Институт леса Карельского НЦ РАН

Поступила 17.05.03

S.A. Kokhansky

Transformation of Swamp Forest Stands under Forestry Measures Influence

Reformation processes of pine stands in Karelia are characterized by different growing conditions within 25-30 years after drainage are investigated. The stand structure modifications, course of generations' growth is studied. The role of cutting is shown and the stands' productivity is assessed.

УДК 630*3:630*

А.В. Родионов

Родионов Андрей Викторович родился в 1974 г., окончил в 1997 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры механизации сельскохозяйственного производства ПетрГУ. Имеет 39 печатных работ в области технологии и экономики неистощительного лесопользования в условиях переходной экономики.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕИСТОЩИТЕЛЬНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

Представлена технология комплексного освоения лесных площадей (КОЛП) как основа для практической реализации неистощительного лесопользования. Приведены результаты теоретических исследований по оптимизации параметров технологии КОЛП.

Ключевые слова: технология, лесозаготовки, лесовосстановление.

Принцип неистощительного лесопользования предполагает, что эксплуатация лесных ресурсов не должна подрывать их способности к самовоспроизводству [1], т.е. лесопользование следует рассматривать как совокупность технологических процессов заготовки, восстановления, охраны и защиты лесных ресурсов.

Известно [7], что в технологических процессах на лесной площади задействованы различные виды предметов труда, на порядки отличающиеся друг от друга по энергетическому уровню: деревья при проведении рубок леса, саженцы при посадке леса и т. д. При этом взаимная увязка работ осложнена и тем, что они смещены во времени из-за протекания биологических процессов.

Разрешение этих противоречий возможно в рамках объектной концепции лесной технологии [7]. В качестве объекта эта концепция рассматривает лесную площадь как земельный участок (аналог сырья), качество которого изменяется в результате технологических операций. Основная продукция – та же лесная площадь, но со спелыми насаждениями хозяйственно ценных пород, наличие которых говорит о завершении очередного технологического цикла.

Дополнительную продукцию образуют древесина от рубок главного пользования и рубок ухода, пеньевый осмол и другие продукты, заготавливаемые в период оборота рубки леса. Стоимость дополнительной продукции достаточно велика, чтобы компенсировать затраты на ее заготовку и достижение главной цели технологии. Однако стоимость основной продукции оказывается более высокой, если учесть стоимость земельного участка как

недвижимого имущества [7, 8].

Преобразование различных работ, выполняемых на одной площади, в единый процесс комплексного освоения лесной площади (КОЛП) осуществляется на основе постоянно действующих технологических коридоров (ПДТК), которые впервые предложил И.К. Иевинь для проведения рубок ухода [3–5, 8, 9]. При этом обеспечиваются связи между технологическими процессами лесосечных, лесовосстановительных работ и работ в период роста леса.

В процессе КОЛП преобразование лесной площади в исходном состоянии в основную продукцию – лесную площадь со спелыми насаждениями хозяйственно-ценных пород – осуществляется непрерывно с переменной интенсивностью, а все работы на площади – дискретно. Таким образом, технологический процесс КОЛП можно классифицировать как комбинированный [2].

В процессе КОЛП исключаются затраты на разметку и создание технологических коридоров для машин, выполняющих работы в период роста леса, на дополнение лесных культур, уничтожаемых машинами в технологических коридорах; сокращается документооборот [4, 5].

В Петрозаводском государственном университете разработан вариант технологического процесса КОЛП, основанный на применении лункообразователей Л-2У для посадки леса на вырубках с любым количеством пней и каменистыми почвами [4, 5, 8, 9]. Схема увязки параметров процесса КОЛП [5, 8] представлена на рисунке.

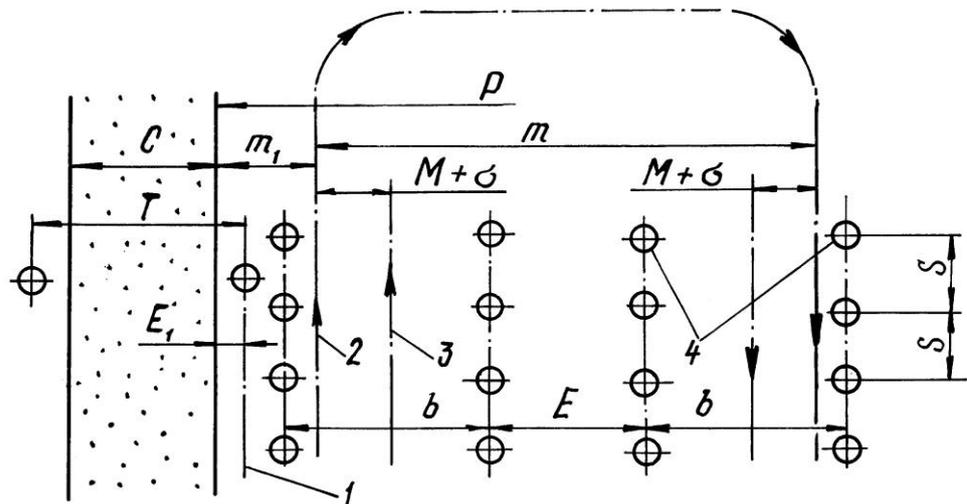


Схема увязки параметров технологического процесса КОЛП: 1 – расчетное расположение крайнего ряда образующихся на пасеке лесных культур; 2 – заданная ось движения лесокультурного агрегата; 3 – расчетное смещение трассы движения агрегата от заданной оси; 4 – ряды посадочных мест под

лесные культуры в одном проходе лесокультурного агрегата; P – ширина пасаки, м; C – ширина ПДТК, м; T – ширина волока для тракторной трелевки древесины, м; E_1 – защитная зона между крайним на пасаке рядом культур и ПДТК, м; E – защитная зона между рядами культур в смежных проходах, м; b – расстояние между крайними рядами культур в ленте, м; S – шаг подготовки посадочных мест под лесные культуры, м; M – средняя арифметическая величина смещения трассы лесокультурного агрегата от заданной оси, м; σ – среднее квадратическое отклонение, м; m – среднее расстояние между лентами культур, м; m_1 – среднее расстояние между осью крайнего агрегата на пасаке и ПДТК, м

Оптимальную схему размещения ПДТК определяют при подготовке лесной площади к освоению. Расстояние между ними по осям устанавливают кратным ширине захвата агрегата, который предполагается использовать в качестве базового для работ в период роста леса. Реальный диапазон ширины захвата составляет 16 ... 25 м.

ПДТК формируют в процессе лесосечных работ на площади, выбирая ширину пасаки кратной расчетному расстоянию между лентами будущих лесных культур.

Лесные культуры закладывают между ПДТК, придерживаясь параллельности между осями проходов агрегата для посадки (посева) леса и технологическими коридорами.

Ширина волока для тракторной трелевки древесины (T) зависит от параметров тракторов и, согласно требованиям по охране труда, не должна быть менее 5 м. Расстояние между крайними рядами культур в ленте (b) определяется технической характеристикой лесокультурного агрегата и для двухрядных машин близко к ширине колеи трактора. Величины M и σ устанавливают при специальных исследованиях вырубок [6]. Остальные параметры процесса КОЛП расчетные.

Ширину ПДТК определяют по формуле

$$C = T - 2E_1. \quad (1)$$

При равномерном размещении лент культур на пасаке выполняется условие $E_1 = 0,5E$, при этом уравнение (1) приобретает вид

$$C = T - E. \quad (2)$$

Минимальная величина C ограничивается шириной наибольшего из агрегатов для обеспечения их беспрепятственного движения по технологическим коридорам. Ширина защитной зоны определяется по уравнению

$$E = m - b - 2(M + \sigma) \quad (3)$$

и должна быть не меньше S , чтобы устранить конкуренцию при росте культур в смежных рядах. При нормальном распределении значений отклонения трассы движения лесокультурного агрегата от заданной оси вероятность того, что это отклонение не превысит σ , составляет 0,242, а вероятность

совпадения отклонения на величину σ для смежных проходов в одном и том же месте равна 0,058 [5]. Исследования [6] показывают, что эксцесс эмпирических кривых распределения отклонений для всех групп типов леса оказался положительным, следовательно, вероятность уменьшения реальной защитной зоны по сравнению с расчетной будет меньше 0,058.

Кратность расстояния между ПДТК по осям в зависимости от ширины захвата базового агрегата для работ в период роста леса выражается как

$$A_k = kB, \quad (4)$$

где A_k – расстояние между смежными ПДТК по осям, м;

B – ширина захвата базового агрегата для работ в период роста леса, м;

k – целое число. При использовании на лесосечных работах агрегатов, близких по ширине захвата к применяемым в период роста леса (например валочно-пакетирующим машинам), принимают $k = 1$.

При использовании трелевочных тракторов с канатно-чокерной оснасткой первоначальное расстояние между ПДТК можно увеличить, соблюдая условие (4), однако в процессе посадки леса (см. рисунок) следует сформировать дополнительные ПДТК между коридорами, подготовленными на этапе лесосечных работ, выполняя условие

$$A_k = B. \quad (5)$$

При использовании в период роста леса различных агрегатов в качестве базового для расчетов принимают агрегат с наименьшей шириной захвата.

Ширину пасаки определяют по формуле

$$P = A_k - C. \quad (6)$$

Кратность ширины пасаки среднему расстоянию между лентами культур по осям выражается как

$$m = \frac{P}{N}, \quad (7)$$

где N – число проходов лесокультурного агрегата между смежными ПДТК.

Решая совместно уравнения (2)–(7), получаем выражение, объединяющее параметры операций лесосечных и лесовосстановительных работ:

$$m = \frac{kB - T - b - 2(M + \sigma)}{N - 1}, \quad (8)$$

при этом условию (2) будет соответствовать $m_1 = 0,5m$.

Среднее расстояние S между высаживаемыми растениями в одном ряду находим по формуле [6]

$$S = \frac{10000nN}{AH}, \quad (9)$$

где n – число рядов культур, высаживаемых за один проход агрегата;

H – норма посадки растений, определяемая в зависимости от условий выполнения работ; для Карелии – 4000 шт./га при посадке семян и 2800 шт./га при посадке саженцев.

При разделении процесса посадки леса на механизированное приготовление лунок и выборочное (с учетом качества) использование их для размещения растений расчетную величину S_p шага подготовки лунок можно определить из выражения [6]

$$S_p = \frac{10000nNK_1K_2K_3}{\left(1 + \frac{\xi}{100}\right)AH}, \quad (10)$$

где K_1 – вероятность образования лунок необходимой глубины;

K_2 – вероятность образования лунок по длине рабочего хода;

K_3 – коэффициент удлинения рабочего хода;

ξ – показатель точности.

Методика определения этих величин изложена в работах [5, 6].

Для практических расчетов можно использовать готовые таблицы [6], при этом следует принимать $\xi = 5\%$.

Шаг S подготовки посадочных мест под лесные культуры (см. рисунок) выбирают как ближайший меньший к расчетному по характеристике лесокультурного агрегата. Для лункообразователя Л-2У в агрегате с трактором МТЗ-82 значения S могут быть равны 0,43; 0,53; 0,74 и 1,04 м [6].

Наиболее равномерное размещение культур на пасеке достигается при максимальном числе проходов лесокультурного агрегата между смежными ПДТК [8]:

$$N = \frac{P}{m} \rightarrow \max; \quad (11)$$

$$E \geq S; \quad S \geq S_m, \quad (12)$$

где S_m – минимальный шаг подготовки посадочных мест по характеристике лесокультурного агрегата, м.

Если при выполнении расчетов условие (12) не выполняется, то применение лесокультурного агрегата не соответствует природно-производственным условиям осваиваемой лесной площади. В этом случае необходимо использовать другие агрегаты либо обеспечить содействие естественному лесовозобновлению.

Из выражений (12) следует, что максимальное число проходов лесокультурного агрегата по пасеке достигается при

$$E = S \geq S_m. \quad (13)$$

При этом максимальное число проходов N определяется путем подстановки в задачу (11) выражений (2)–(9), (13):

$$N = \frac{kB - T + \frac{10^4 nN}{kBH}}{\frac{10^4 nN}{kBH} + b + 2(M + \sigma)} \rightarrow \max. \quad (14)$$

Единственное решение в этом случае имеет вид

$$N = -\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} + z}, \quad (15)$$

где величины p и z будут иметь следующие значения:

$$p = \frac{kBH[b + 2(M + \sigma)]}{10^4 n} - 1;$$

$$z = \frac{kBH(kB - T)}{10^4 n}.$$

При разделении процесса посадки леса на механизированное приготовление лунок и выборочное (с учетом качества) использование их для размещения растений решение задачи (14) также будет иметь вид (15), но значения p и z будут иными:

$$p = \frac{(1 + \xi/100)kBH[b + 2(M + \sigma)]}{10^4 nK_1K_2K_3} - 1;$$

$$z = \frac{kBH(kB - T)(1 + \xi/100)}{10^4 nK_1K_2K_3}.$$

При расчетах по формуле (15) величину N необходимо округлять в меньшую сторону. Это объясняется тем, что в результате формальных вычислений получается предельное количество проходов лесокультурного агрегата по пасеке.

Представленный технологический процесс КОЛП внедрен в практику проведения лесосечных и лесовосстановительных работ при сплошнолесосечных рубках главного пользования на лесопромышленном предприятии «Шуялес» (Республика Карелия). В качестве лесокультурных агрегатов на предприятии используют дисковые бороны ПДН-2 в агрегате с тракторами ТДТ-55А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голуб А.А., Струкова Е.Б. Экономика природных ресурсов. – М.: Аспект Пресс, 1998. – 320 с.
2. Залегалер Б.Г. Технология работ на лесных складах. – М.: Лесн. промышленность, 1980. – 231 с.

3. *Иевинь И.К., Кажелка А.Ф.* Проблемы технологии рубок ухода. – Рига: Зинатне, 1973. – 295 с.

4. *Родионов А.В.* Рекомендации по применению технологии комплексного освоения лесной площади / Петрозав. гос. ун-т. – Петрозаводск, 2002. – 33 с. – Деп. в ВИНТИ 29.07.2002, № 1421-B2002.

5. *Цыпук А.М.* Повышение эффективности лесовосстановительных работ ресурсосберегающей технологией: Дис... д-ра техн. наук. – Петрозаводск, 1996. – 299 с.

6. *Цыпук А.М.* Моделирование процессов работы лесокультурных агрегатов на нераскорчеванных вырубках: Учеб. пособие. – Петрозаводск: Изд-во Петрозав. гос. ун-та, 1997. – 44 с.

7. *Цыпук А.М.* Объектная концепция лесной технологии // Региональные проблемы развития лесного комплекса: Тез. докл. республ. науч.-практ. конф. 16 янв. 1998 г. – Петрозаводск: КарНИИЛП, 1998. – С. 8–9.

8. *Цыпук А.М., Родионов А.В.* Оптимизация параметров комплексного освоения лесной площади // Вестн. Центр.-Черноз. регион. отд. наук о лесе Академии естеств. наук. – Воронеж: ВГЛТА, 1999. – Вып. 2. – С. 40–47.

9. *Цыпук А.М., Эгипти А.Э., Шегельман И.Р.* Технология комплексного освоения лесных площадей // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: Сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1989. – С. 43–46.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 11.07.03

A. V. Rodionov

Technological Base of Inexhaustible Forest Management

Technology of complex development of forest areas is presented as a base for practical realization. The results of theoretical investigations on parameters' optimization of technology for complex development of forest areas are provided.

УДК 630*901

И.В. Шутов

Шутов Игорь Васильевич родился в 1929 г., окончил Ленинградскую лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник СПбНИИ лесного хозяйства, член-корреспондент РАСХН. Имеет более 120 работ в области лесопользования, плантационного лесовыращивания, регулирования состава лесных фитоценозов.



О ХОЗЯЙСТВЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕСОВ*

Предложено новое деление лесов России на группы по экономическому значению. Сохранены три группы, но их классификационные признаки иные; выделены подгруппы.

Ключевые слова: группы лесов, подгруппы, хозяйственная классификация, лесопользования, лесной доход.

Принятое в 1943 г. деление лесов страны на группы по их народно-хозяйственному значению было чрезвычайно важным. Определив интенсивность и технологические нормативы эксплуатации лесов на разных территориях, оно повлияло тогда и влияет до сих пор на состояние и развитие лесного хозяйства и лесной промышленности.

Однако в действующем делении лесов на группы экологические аргументы определены нечетко, а экономических вообще нет. В связи с происшедшими изменениями в стране представляется необходимой разработка новой хозяйственной классификации лесов (ХКЛ), базирующейся на экологических и экономических аргументах. Естественно, что такая классификация должна не только не мешать, но способствовать становлению дееспособного лесного хозяйства, что обязывает оговорить его основные гносеологические (понятийные) признаки. Из них наиболее важными, по нашему мнению, являются следующие.

1. Однозначное признание лесного хозяйства одним из видов хозяйственной (производственной) деятельности на земле, призванной параллельно решать две сопряженные задачи: сохранение и приращение материальных благ (в нашем случае биосферной, социальной и коммерческой ценности лесов); получение собственником леса постоянного и максимально возможного лесного дохода.

2. Формирование лесхозами (лесничествами) лесного дохода в результате реализации на рынке производимых товаров (главным образом вы-

*Работа выполнена по плану Минпромнауки РФ, комплексный проект 2.01 «Многоресурсное управление и модели устойчивого развития лесного сектора в условиях рыночной экономики».

Печатается в порядке обсуждения.

ращенных и отведенных в рубку отдельных деревьев и древостоев), а также оказываемых услуг. Те и другие должны продаваться по свободным ценам в условиях конкурсных торгов и по заданным льготным ценам только для определенных групп населения.

3. Признание органами власти в качестве экологического императива современного представления о том, что *все леса* имеют важное глобальное средообразующее значение. Поэтому *во всех случаях* лесосечные работы должны рассматриваться как *целостные экономико-технологические блоки, состоящие из рубки и возобновления леса*. Составляющие таких блоков ни в коем случае не могут быть разъединены, поэтому в общую сумму затрат на проведение лесосечных работ обязательно должны входить и расходы на возобновление коренных типов леса на каждой конкретной вырубке.

4. Кардинальное изменение практики лесоустройства в связи с достигнутым прогрессом в сфере накопления и обработки информации по каждому выделу (в том числе и о его границах) на электронных носителях. Благодаря этому, очевидно, удастся более обоснованно проектировать цели лесовыращивания, сопряженные во времени характеристики древостоев, сочетания конкретных хозяйственных акций и продолжительность самих оборотов рубки по каждому выделу (или группе выделов). Таким образом, лесоустройство сможет не только задавать лесхозам те или иные «привязанные» по месту модели лесовыращивания, но и контролировать их реализацию во времени.

5. Изменение ныне действующего порядка и методик определения расчетных лесосек, при которых не учитывают различий в экономической доступности лесных территорий, вследствие чего получают резко завышенные объемы якобы возможного неистощительного лесопользования. С учетом сказанного должна иметь место «перепривязка» объектов определения расчетных лесосек в направлении от крупных и неоднородных территорий лесхозов (лесничеств) к хозяйствам с относительно однородными социально-экономическими, природными условиями и долгосрочными целями хозяйственной деятельности. Перерубы расчетных лесосек в одной даче за счет другой не должны иметь места в принципе.

6. Крайне важному в лесоводстве понятию «главное пользование лесом» (ГПЛ) следует вернуть его экономическое содержание. Под главным пользованием сырьевыми и несырьевыми ресурсами леса нужно понимать только то, при котором в конкретных случаях формируется доминирующая доля лесного дохода. Соответственно, в отличие от тех или иных технологических и технических решений, применение экономического понятия ГПЛ не может быть запрещено в отношении той или иной группы лесов. Понятное исключение в данном случае должно иметь место только в отношении заповедных территорий.

7. Аналогичное решение должно быть принято по разным видам промежуточного и побочного пользования лесом как способам получения дополнительного дохода. Эти виды пользования лесом могут ограничивать-

ся только в двух случаях: если они наносят или могут нанести ущерб самому состоянию лесов и доходам, получаемым от ГПЛ.

8. Состав, продуктивность, устойчивость и коммерческая ценность будущих лесов России в большой мере зависят от ухода за составом и густотой возникших на вырубках молодняков естественного и искусственного происхождения. Затраты на такой уход не могут быть компенсированы за счет реализации хвороста и хмыза. Тем не менее, в числе разных вариантов рубок ухода за лесом именно уход за молодняками должен рассматриваться как имеющий приоритетное государственное значение.

9. Незыблемым условием ведения правильного лесного хозяйства должна остаться его территориальная организация в виде учрежденных еще в 1826 г. лесничеств и (или) лесхозов, возглавляемых профессиональными лесоводами. Именно руководители таких структур должны знать, координировать и контролировать все, что происходит на подчиненной им территории. Лучше, если названные структуры будут входить в состав общегосударственной службы лесного хозяйства, а все наши леса останутся в собственности государства. Уверенно говорить так позволяет многолетний опыт Лесного департамента России. В любом случае именно собственник лесов должен нести все бремя ответственности за их состояние, присваивать формируемый лесхозами (лесничествами) лесной доход и распоряжаться им, выделяя определенные его части местным органам власти (в виде лесного налога) и самим структурам лесного хозяйства.

Ныне действующее деление лесов на группы имеет не только отмеченные недостатки, но и достоинства, удобно для работы. Лесоводы и лесопользователи привыкли к делению лесов по их предназначению. Соответственно, по нашему мнению, есть смысл сохранить в новой ХКЛ деление лесов на три группы, но дать им, естественно, другое содержание.

Предлагаемый проект ХКЛ приведен в таблице. Ниже даем дополнительные комментарии.

Хозяйственная классификация лесов России

Группа и подгруппа лесов	Характеристика лесов
I	Леса специального назначения. Выделяют на территориях, где леса имеют реальную сырьевую ценность и где она признается государством менее важной, чем выполняемые ими другие функции.
I-A	Заповедные и иные площади, где запрещены все виды хозяйственной деятельности.
I-B	Леса, выполняющие особо важные защитные (охранные) функции в отношении конкретных территорий и объектов. С учетом их специфики здесь проводятся мероприятия по охране, защите, восстановлению леса и регулированию состава молодняков. Рубка деревьев, достигших потребительских размеров, допускается только по санитарным показаниям, с незамедлительной ликвидацией прогалин в пологе путем по-

I-C	садки крупномерных саженцев. Пригородные рекреационные леса. Здесь разрешены различные хозяйственные акции (в том числе вырубка определенных деревьев) при условии, если такие акции обеспечивают увеличение эстетической и рекреационной ценности, емкости и комфортности лесных ландшафтов, а также их санитарного благополучия. Не допускаются рубки деревьев с использованием технологий и машин, снижающих рекреационную ценность ландшафтов.
I-D	Леса опытных хозяйств НИУ. Разрешены все виды деятельности, одобренной учеными советами НИУ и соответствующей планам научно-исследовательских, опытно-конструкторских и производственных инновационных работ, имеющих целью проверить результаты НИОКР, а также улучшить состояние лесов и увеличить доходность хозяйств.
II	Леса с доминирующей сырьевой функцией. Выделяют для производства древесины как сырья, главным образом, для лесопромышленных структур в системе многократных циклов (оборотов рубки). Являются объектами проведения всех целесообразных по экономическим и экологическим показателям лесохозяйственных и лесопромышленных акций. Те и другие выполняют с использованием дифференцированных по природно-растительным зонам (подзонам) и группам типов леса технологических нормативов, чтобы сохранить потенциальное плодородие почвы, продуктивность и коммерческую ценность лесов, их биологическое разнообразие, неубывающие объемы доходного лесопользования в границах каждой хозяйки. Основное требование к лесам

Продолжение

Группа и подгруппа лесов	Характеристика лесов
	II группы – их относительно высокая продуктивность (реальная или потенциальная) и территориальная (экономическая) доступность. Подгруппы выделяют по возможной средней величине интегрального показателя рентабельности (ИПР) работы лесохозяйственных и лесопромышленных структур.
II-A	ИПР ≤ 10 %.
II-B	ИПР = 11...20 %.
II-C	ИПР = 21...30 %.
II-D	ИПР > 30 %.
III	Леса, не отвечающие требованиям доходного производства древесины для промышленных нужд. Основания для выделения: высокая рентабельность как экологических систем, низкая продуктивность, а также экономическая и территориальная недоступность. Лесохозяйственные мероприятия проводят преимущественно в виде охранных и защитных акций.
III-A	Используемые местным населением в качестве источника древесины для собственных нужд и для заготовки продуктов побочного пользования лесом.
III-B	Используемые местным населением преимущественно как источник не древесины, а иных благ, в том числе кедровых орехов (III-B-1), ягод и грибов (III-B-2), в качестве оленьих пастбищ (III-B-3), как охотничьи

III-C	угодья (III-B-4), объекты туризма (III-B-5), для заготовки лекарственного сырья (III-B-6), в качестве площадей медосбора (III-B-7) и т.д. Неиспользуемые человеком леса, выполняющие роль биосферных экологических резерватов.
-------	---

Леса I группы обозначены в ХКЛ как имеющие специальное назначение. В принципе, при тех или иных чрезвычайных обстоятельствах, они могут стать источником (резервом) дополнительного количества доступной древесины. Однако при стабильных условиях жизни людей другие функции этих лесов признаются обществом более важными, чем сырьевая.

Леса I группы разделены на четыре подгруппы.

В подгруппу I-A включены леса, предназначенные для изучения состояния и естественного хода динамики лесных экосистем биосферы. Здесь вообще не должны допускаться любые акции, сопряженные с изменением видового и генетического состава, обилия и динамики развития существующих комплексов живых существ и условий их обитания. По сути, эти леса должны быть выведены из хозяйственного оборота. Необходимая организационно-охранная и научная деятельность в лесах подгруппы I-A должна проводиться за счет общих ассигнований из госбюджета или части лесного дохода страны.

В лесах подгруппы I-B, выполняющих особо важные защитные функции (в том числе охранные, бальнеологические и иные), может иметь место ограниченная хозяйственная деятельность, не разрушающая условия лесной среды даже на короткое время. Структуры лесного хозяйства функционируют здесь главным образом за счет средств, поступающих от организаций, заинтересованных в сохранении условий лесной среды на данной территории, и отчасти собственных доходов.

В лесах подгруппы I-C допускается проведение только таких хозяйственных акций, которые увеличивают их рекреационную ценность. Источниками финансирования должны быть средства, выделенные из бюджетов соответствующих городов, а также собственные доходы.

К подгруппе I-D относят леса, расположенные в границах опытных лесных хозяйств (ОЛХ) научно-исследовательских учреждений (НИУ). Эти хозяйства являются базами для разработки научно обоснованных предложений о том, как улучшить состояние лесов и повысить доходность лесного хозяйства в конкретных регионах и в стране в целом. Необходимость выделения таких лесов в особую категорию обусловлена не только их важным значением для технического прогресса отрасли, но и тем, что в полной мере они могут выполнять свое предназначение, лишь находясь в непосредственном ведении (подчинении) НИУ. В отличие от других лесхозов, здесь могут (должны!) иметь место разные виды деятельности (лесохозяйственная, лесопромышленная и иная), а также варианты организации хозяйства и его территории, если таковые заданы решением ученого совета НИУ и соответствуют планам (программам) НИОКР. Основным источником финансирования

хозяйственной деятельности в лесах подгруппы I-D – это собственные доходы и выделяемые целевые ассигнования на проведение опытных и опытно-производственных работ.

Леса II группы выделены в ХКЛ в качестве основного источника древесного сырья для промышленных нужд и, соответственно, как главный источник лесного дохода страны. Хозяйственная деятельность всех отраслей лесного комплекса должна приносить не только доход, но и прибыль, что является условием их позитивного развития. Однако эта деятельность не должна выходить за пределы ограничений, устанавливаемых с учетом лесорастительных условий, а также долгосрочных интересов лесного хозяйства и лесной промышленности. В принципе именно леса II группы следует рассматривать как основной объект инновационной деятельности, призванной интенсифицировать процесс производства древесного сырья, а также снизить себестоимость получаемой из него конечной продукции. Для этого, по нашему мнению, именно в лесах II группы, в первую очередь, должна происходить инновация целевых оборотов рубки, технологий ускоренного производства древесины на лесосырьевых плантациях, результатов НИОКР в области лесной генетики и селекции, дорожного строительства, гидротехнической мелиорации (для фундаментального повышения плодородия лесных почв), эффективных мер ухода за лесом, его защиты от вредителей и болезней, а также многих иных достижений лесохозяйственной науки.

С учетом сказанного при выделении лесов II группы необходимо принимать в расчет многие обстоятельства. В их числе особенно важны продуктивность лесов (реальная и потенциальная) и их экономическая доступность. При среднем приросте древесины менее $2 \text{ м}^3/\text{га}$ в год и при сумме затрат на ведение лесохозяйственной и лесопромышленной деятельности меньше прогнозируемой цены на рынке (все в расчете на единицу объема или массы древесины), такие территории, скорее всего, не будут соответствовать требованиям, предъявляемым к лесам II группы.

Приведенное в таблице деление лесов II группы на подгруппы предлагается делать, основываясь на всевозможных средних значениях интегрального показателя рентабельности работы лесохозяйственных и лесопромышленных структур. Этот показатель (ИПР) может быть определен по короткому или полному циклам производственных операций. В первом случае завершенной продукцией считают круглые сортименты древесины, во втором – конечную продукцию их переработки. С позиции становления партнерских социально-экономических отношений между структурами лесного комплекса второй способ более предпочтителен.

Возможен вопрос: зачем вообще делить леса II группы на подгруппы по величине ИПР? По нашему мнению, делать это необходимо для последующего решения, как минимум, следующих задач:

для финансовой оценки лесов в целях включения их в соответствующие разделы лесного кадастра, используемого при проведении различных коммерческих операций;

для расчета обоснованных стартовых цен на выставленный на торги лес, а также ставок лесного налога на лесные земли, который в будущем так или иначе придется вносить в бюджеты местных органов власти;

при поиске баланса экономических интересов (в виде согласованных величин рентабельности) между лесным хозяйством и различными взаимодействующими структурами лесной промышленности;

при выборе предпочтительных направлений финансовых потоков (в том числе инвестиций).

Финансирование деятельности лесхозов в лесах II группы должно происходить за счет части полученного ими лесного дохода.

К лесам III группы отнесены территории, где невозможна рентабельная деятельность лесопромышленных структур по указанным в таблице причинам. Там, где позволяют условия, леса III группы используют в качестве источника древесины и недревесных благ в интересах местного населения.

Все леса III группы предлагается разделить на три подгруппы, главным образом, в интересах их кадастровой оценки, обоснованного налогообложения и планирования охранных, защитных и иных лесохозяйственных акций.

Функционирование лесохозяйственных структур в лесах III группы должно происходить за счет части централизованного в отрасли лесного дохода, различных дотаций, поступающих от международных природоохранных фондов, доходов от собственной хозяйственной деятельности.

В заключение обращаем внимание читателей на следующие обстоятельства.

1. Предлагаемая ХКЛ позволяет проводить рубки в объемах главного и промежуточного пользования в лесах всех трех групп (кроме подгруппы I-A). Но это возможно при самом широком варьировании нормативных требований к организации и технологии лесосечных работ, а также к используемым техническим средствам. Чем жестче требования, тем больше будут затраты на заготовку древесины. Разность между этими затратами на конкретных объектах и ценой круглых сортиментов древесины на рынках может явиться базой для расчета стартовых корневых цен на лес, отведенный в рубку и выставленный на торги.

2. Минимальной территориальной единицей новой ХКЛ должна стать хозяйственная лесная дача, т. е. выделенная при лесоустройстве территория с постоянными границами и относительно однородными социально-экономическими, природными условиями и долгосрочными целями ведения хозяйства. Желательно (но не обязательно!), чтобы границы разных групп и подгрупп лесов совпадали с границами административных структур. В лесничестве, лесхозе или, например, национальном парке могут иметь место леса, отнесенные к разным группам.

3. Новая классификация лесов должна стать неотъемлемой частью нового Лесного кодекса страны. Если это условие не будет выполнено, в новом законе о лесах сохранятся многие недостатки действующего кодекса.

СПбНИИЛХ

Поступила 03.06.03

I.V. Shutov

Economic Classification of Forests

New breakdown of Russian forests into groups is proposed according to economic and environmental value. Three groups are preserved but their classification characteristics are different, the subgroups are set.



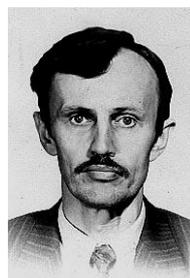
УДК 630*323

Ю.А. Ширнин, Э.Ф. Герц

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет 160 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



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



СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАЛКИ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ НЕСПЛОШНЫХ РУБКАХ

Рассмотрен процесс стохастического моделирования валки деревьев при несплошных рубках. Даны рекомендации по выбору оборудования и исполнителей для проведения работ.

Ключевые слова: несплошная рубка, стохастическая модель, вероятность беспрепятственной валки деревьев.

Несплошные рубки главного и промежуточного пользования сопровождаются удалением части деревьев из древостоя. При изреживании и валке бензиномоторными пилами вероятность повреждения оставляемых деревьев при соударении с падающими, а также возможность валки определяются таксационными характеристиками древостоя, степенью его изреживания и точностью направления валки. Пространство между стоящими деревьями, необходимое для валки в заданном направлении, зависит от размеров вырубаемых деревьев (высота и ширина кроны), исходной густоты и степени изреживания древостоя.

Вероятность валки (P) без повреждения оставляемых деревьев, при условии их случайного, пуассоновского распределения на малых площадях [3], равна

$$P = e^{-\frac{h b_d}{S_d}}, \quad (1)$$

где h – высота дерева, м;

b_d – ширина просвета, необходимая для беспрепятственной его валки, м;

S_d – площадь, приходящаяся на одно дерево, м²/дер.

Найденное по формуле (1) значение P не учитывает возможного отклонения дерева от заданного направления валки, которое увеличивает вероятность повреждения оставляемых на доращивание деревьев при прочих равных условиях. Отклонение на угол β от заданного направления приводит к увеличению ширины просвета, требуемого для беспрепятственной валки дерева на величину:

$$b_u = \pm h \operatorname{tg} \beta.$$

Таким образом, необходима дополнительная площадь, которую, с некоторым допущением, можно считать треугольной с основанием, равным отклонению вершины от заданной точки падения на угол β . В этом случае

$$P = e^{-\frac{h b_d + h^2 \operatorname{tg} \beta}{S_d}}. \quad (2)$$

При валке дерева в просвет размерами $h b_d$ и более отклонение от заданного направления определяет вероятность соударения с деревом, оставляемым на доращивание. Учитывая, что отсутствие хотя бы одного дерева на рассматриваемой площадке и его повреждение являются событиями противоположными, дополнительная вероятность соударения деревьев в случае отклонения от заданного направления валки на угол β составит:

$$P_c = 1 - e^{-\frac{h^2 \operatorname{tg} \beta}{S_d}}.$$

Распределение отклонения падающего дерева от заданного направления валки может быть представлено стандартной записью закона нормального распределения:

$$f(\beta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\beta - \tilde{\beta})^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднее квадратичное отклонение случайной величины;

$\tilde{\beta}$ – математическое ожидание угла отклонения валки дерева.

При математическом ожидании угла отклонения валки дерева, равного заданному, т. е. $\tilde{\beta} = 0$, плотность распределения случайной величины [2] запишется в виде формулы Гаусса

$$f(\beta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\beta^2}{2\sigma^2}}.$$

Среднее квадратичное отклонение угла падения от заданного (σ) отражает возможность точной валки дерева в зависимости от применяемого оборудования, квалификации вальщика, таксационных характеристик, особенностей строения деревьев и насаждения в целом. Это обстоятельство подтверждает правомерность применения закона нормального распределения отклонения угла падения дерева, на суммарную величину которого оказывают влияние все перечисленные факторы. Доверительный интервал, который с доверительной вероятностью α накрывает β , составит:

$$\left(\tilde{\beta} - t_{\alpha} \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}; \tilde{\beta} + t_{\alpha} \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} \right); \tilde{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i,$$

где $\tilde{\beta}$ – математическое ожидание угла отклонения от заданного направления валки дерева;

t_{α} – коэффициент Стьюдента;

$\tilde{\sigma}$ – среднее квадратичное отклонение угла падения дерева от заданного направления,

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\tilde{\beta} - \beta_i)^2};$$

n – число опытов;

β_i – отклонение угла падения дерева от заданного направления, полученное в i -м опыте.

С учетом доверительной вероятности попадания в интервал вероятность соударения

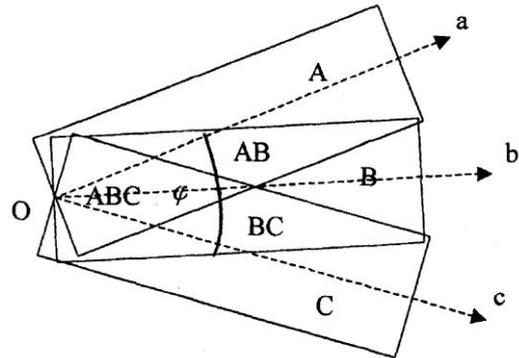
$$P_{\beta} = \alpha P.$$

Вероятность соударения P при этом определится по формуле (2), а угол отклонения дерева от заданного направления валки в соответствии с рассчитанным интервалом для заданного доверительного интервала

$$\beta = \tilde{\beta} + t_{\alpha} \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}.$$

Полученные таким образом вероятности беспрепятственной валки и соударения деревьев для определенных условий (характеристика насаждения, применяемое оборудование, квалификация вальщика) позволяют судить о приемлемости выбранного варианта. В случае несоответствия результатов расчетов лесоводственным и технологическим ограничениям необходимо рассмотреть другие варианты валки, обеспечивающие допустимую вероятность соударений.

Рис. 1. Расчетные схемы для определения вероятности беспрепятственной валки дерева: a, b, c – возможные направления валки дерева; A, B, C – сектора валки; AB, BC – перекрытые сектора



Предложенная методика не учитывает возможности выбора других направлений. Расчетная схема для определения вероятности беспрепятственной валки дерева в трех вероятных направлениях представлена на рис. 1.

В каждом из них валка возможна, если нет мешающих деревьев. В этом случае вероятность беспрепятственной валки в каждом из направлений запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} P(a) &= P(ABC) P(AB) P(A); \\ P(b) &= P(ABC) P(AB) P(BC) P(B); \\ P(c) &= P(ABC) P(BC) P(C). \end{aligned}$$

Вероятность события заключается в возможности беспрепятственной валки дерева хотя бы в одном из направлений. Вероятность валки дерева в нескольких направлениях условная, что заключается в необходимости отсутствия мешающих деревьев на перекрывающихся площадках. С учетом изложенного [1] полная вероятность валки дерева в двух направлениях составит

$$P(ab) = P(AB) [1 - (1 - P(A))(1 - P(B))].$$

При увеличении числа возможных направлений валки в заданном секторе повышается и вероятность беспрепятственной валки дерева в этом секторе. Вероятность хотя бы в одном из трех или четырех направлений составит:

$$\begin{aligned} P(abc) &= P(ABC) \left[\frac{1 - (1 - P(AB) P(A))}{(1 - P(BC) P(C)) (1 - P(AB) P(BC) P(B))} \right]; \\ P(abcd) &= P(ABCD) \left[\frac{1 - (1 - P(ABC) P(AB) P(A))}{1 - P(ABC) P(BCD) P(AB) P(BC) P(B)} \right. \\ &\quad \left. \frac{1 - P(ABC) P(BCD) P(BC) P(CD) P(C)}{1 - P(BCD) P(CD) P(D)} \right]. \end{aligned}$$

В общем случае для n рассматриваемых направлений вероятность беспрепятственной валки дерева

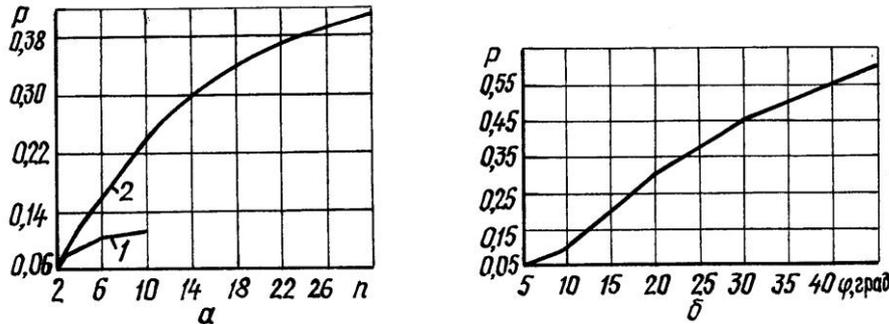


Рис. 2. Зависимости вероятности беспрепятственной валки дерева в заданном секторе от числа возможных направлений (a) и максимальной вероятности беспрепятственной валки дерева от сектора валки (b):

1 – для $\varphi = 11^\circ$; 2 – для $\varphi = 26^\circ$

$$P(n) = P(S_n) \left[1 - \prod_{j=1}^n \left(1 - \prod_{i=1}^n P(S_i) \right)_j \right],$$

где S_n – размер площадки n -кратного перекрытия;

S_i – размер площадки i -кратного перекрытия, $i = 1, 2, \dots, n$;

j – число рассматриваемых направлений валки, $j = 1, 2, \dots, n$.

Размер площадки n -кратного перекрытия при прочих равных условиях определяется величиной сектора валки (φ). При всех рассматриваемых направлениях размеры площадок n -кратного перекрытия для секторов валки дерева $\varphi \leq \frac{b_d}{h}$ и $\varphi > \frac{b_d}{h}$ соответственно составят:

$$S_n \cong h(b_d - htg(\varphi/2)); \quad S_n \cong b_d^2 / 4 \operatorname{tg}(\varphi/2).$$

Зависимость вероятности беспрепятственной валки дерева от числа рассматриваемых возможных направлений валки в секторах 11 и 26° при $b_d = 5$ м, $h = 20$ м и $S_d = 30$ м² представлена на рис. 2, a .

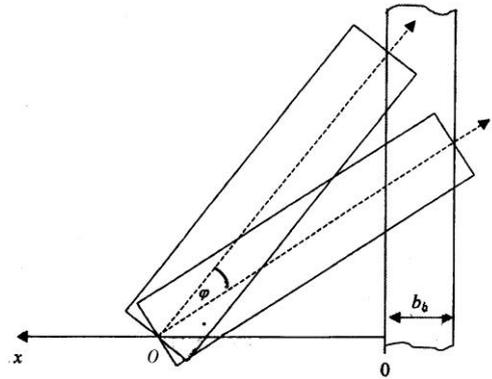
При росте числа возможных направлений полная вероятность беспрепятственной валки увеличивается и составляет не менее 90 % предела функции, которая при $n \rightarrow \infty$ примет вид

$$P(n)^{\max} \Rightarrow P(S_n). \quad (3)$$

Полная вероятность валки дерева в секторе φ , включающая все возможные направления, максимальна для данных условий (рис. 2, b).

Вероятность беспрепятственной валки дерева ограничивается технологией трелевки. При трелевке хлыстов за вершину дерева следует валить под острым углом к волоку. В зависимости от положения дерева, подлежащего валке, и применяемой технологии возможное направление валки на пасеке может быть выбрано из некоторого сектора φ (рис. 3), равного

Рис. 3. Расчетная схема для определения сектора валки дерева при традиционных технологиях (трелевка хлыстов)



$$\varphi = \arccos \frac{x}{h} - \arccos \frac{x + b_b}{h},$$

где b_b – ширина волока, м;

x – расстояние от дерева, подлежащего рубке, до ближнего края волока, $x < h - b_b$.

Вероятность беспрепятственной валки дерева на волок (в непосредственной близости от него) определяют с учетом сектора валки и влияния вырубki (волока). График зависимости вероятности беспрепятственной валки дерева вершиной на волок от расстояния между деревом и границей волока представлен на рис. 4.

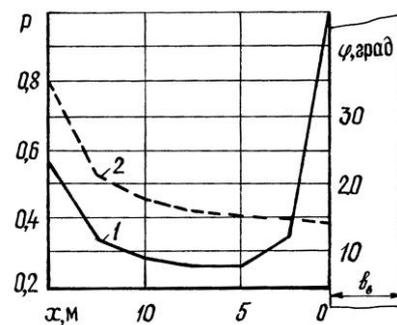
Близость волока до 7,5 м от его границы значительно влияет на вероятность беспрепятственной валки дерева и увеличение сектора валки.

На основании изложенного рекомендуем такую последовательность принятия решения при выборе оборудования и исполнителей для выборочной валки деревьев с заданными таксационными характеристиками и способом изреживания древостоя.

1. Наблюдают за валкой в древостое с фиксированной характеристикой. На основании полученной выборки рассчитывают среднее значение отклонения от заданного угла валки, а также его среднее квадратичное отклонение.

2. Определяют интервал, который с надежностью 90 % покрывает среднее значение отклонения от заданного направления валки.

Рис. 4. Зависимость максимальной вероятности беспрепятственной валки дерева вершиной на волок (1) и сектора валки (2) от расстояния между деревом и границей волока



3. Рассчитывают вероятность соударения деревьев, характеризующую точность валки дерева исполнителем с применением конкретного оборудования и надежность попадания $\tilde{\beta}$ в интервал (3).

4. Полученные результаты для рассматриваемых вариантов валочного оборудования и вальщиков различной квалификации, наряду с другой производственной информацией, используют при выборе средств и исполнителя работ.

5. Вариант технологии рубки (узко-, средне- или широкопосечная) с формированием древостоя со случайным типом размещения деревьев по площади лесосеки может быть принят, если обеспечивается беспрепятственная валка деревьев с вероятностью не менее 90 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Прикладные задачи теории вероятности. – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.

2. *Зайдель А.Н.* Погрешности измерений физических величин. – Л.: Наука, 1985. – 112 с.

3. *Сотонин С.Н.* О соответствии распределения деревьев на малой площади закону Пуассона // Комплексная механизация лесозаготовок и транспорт леса: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1986. – С. 10–11.

Марийский государственный
технический университет

Поступила 24.01.03

Yu.A. Shirnin, E.F. Gerts

Stochastic Simulation of Tree Felling under Thinning

The process of stochastic simulation of trees felling under thinning has been considered. The recommendations regarding equipment selection and performers for the work to be done are provided.

УДК 532.001.57

П.Н. Гагарин, А.Н. Вихарев, Т.С. Исупова

Гагарин Павел Николаевич родился в 1959 г., окончил в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики Архангельского государственного технического университета. Имеет около 30 печатных трудов в области водного транспорта леса и гидромеханики.



Вихарев Александр Николаевич родился в 1961 г., окончил в 1987 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета. Имеет около 60 печатных трудов в области экологии водного транспорта леса.



Исупова Татьяна Степановна родилась в 1947 г., окончила в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области динамики станков и моделирования динамических систем.



РАДИАЦИОННО-АНАЛОГОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ И ТУРБУЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУЕ ИЛИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОМ СЛЕДЕ

Продолжено исследование аналоговым методом характеристик турбулентных течений на основе физических процессов электромагнитного излучения. Аналогия показана на примере общего моделирования турбулентной струи и подтверждена результатами экспериментов.

Ключевые слова: турбулентные потоки, затопленная струя, скорости течения, турбулентные напряжения, аналогия, излучение, поглощение, рассеивание, длина волны.

Механика турбулентных течений и взаимодействия их с твердыми телами представляет одну из самых сложных и недостаточно изученных проблем, несмотря на большое количество существующих моделей. Теория турбулентных струй имеет важное значение в ряде научно-технических направлений, в том числе в водном транспорте и буксировке по воде. Общая

схема гидромеханического следа имеет ту же основу, что и струйное течение.

В связи с этим авторы разработали метод радиационно-аналогового моделирования турбулентных течений на примере светового излучения. Исследования показали, что скрытые механизмы и параметры в течениях часто нельзя непосредственно наблюдать или измерить, а также описать с позиций классической гидромеханики. Именно методологические цели исследований, позволяющие доказать единство природы внешне различных физических процессов, представляются наиболее важными.

Основы метода были изложены ранее [2–4] на примере равномерных ограниченных течений и проверены на ряде хорошо известных экспериментов.

Существующая информация о движении турбулентных струй является обычно эмпирической. Полуэмпирические методы расчета основаны на совместном решении уравнений Рейнольдса и уравнений неразрывности течения. Но при этом даже ряд упрощающих допущений сопровождается весьма сложными решениями. Несмотря на безусловный приоритет классических методов, представляется полезным изучить гидромеханические процессы с позиций отмеченной аналогии.

В нашей работе сделана попытка создать такую модель на основе хорошо известной теории взаимодействия электромагнитных волн с окружающей средой. Для этого приведем краткое доказательство наличия волновых механизмов в гидромеханических процессах.

Первоначально представим жидкость в виде некоторой субстанции, не имеющей внутренних потерь энергии, но обладающей турбулентной вязкостью. Тогда, пренебрегая членами более высокого порядка малости, суммарную плотность количества движения (s) в каждой точке течения можно представить в виде

$$s = \rho(u^2 + t^2) = \rho \left(u^2 + l^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right), \quad (1)$$

где u , t – соответственно действительная (продольная) и мнимая (поперечная) скорости потока, которые имеют первоначальный или базовый характер;

ρ – плотность жидкости;

l – величина, подобная «пути смещения Прандтля»;

y – поперечная (радиальная) координата потока.

Первое слагаемое в формуле (1) оценивает плотность потока количества движения вдоль течения (по оси x). Второе слагаемое (по оси y) имеет структуру известной формулы Прандтля [7] для турбулентного напряжения трения, т. е. оценивает поперечную компоненту плотности потока количества движения.

Определим функцию базовой скорости u исходя из ее наиболее энергетически выгодного распределения по условию минимизации функционала:

$$I = \rho \int s \, dy = \rho \int \left(u^2 + l^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right) dy. \quad (2)$$

Для определения $u = f(y)$ используем известное уравнение Эйлера:

$$\frac{d}{dy} \frac{\partial s}{\partial \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)} - \frac{\partial s}{\partial u} = 0. \quad (3)$$

Отсюда находим

$$\frac{\partial s}{\partial \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)} = 2\rho l^2 \frac{\partial u}{\partial y}; \quad \frac{d}{dy} \frac{\partial s}{\partial \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)} = 2\rho l^2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}; \quad \frac{\partial s}{\partial u} = 2\rho u.$$

Таким образом, формулу (3) приведем к линейному дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - l^{-2} u = 0$$

с корнями характеристического уравнения $k_1 = il^{-1}$ и $k_2 = -il^{-1}$. Общее решение такого уравнения известно. Принимаем следующие начальные условия:

при $y = 0$ $u = U$ и $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$ (U – скорость на оси струи или базовая амплитуда

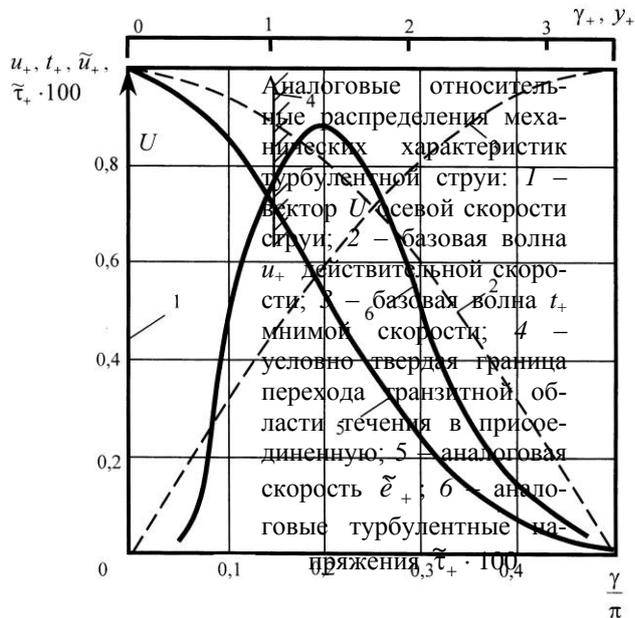
скорости течения вообще). Интегрируя, получаем распределения действительных и мнимых базовых скоростей в виде гармонических волн (см. рисунок):

$$u = U \cos \frac{y}{l} = U \cos \gamma; \quad u_+ = \cos \gamma; \quad (4)$$

$$t = U \sin \frac{y}{l} = U \sin \gamma; \quad t_+ = \sin \gamma, \quad (5)$$

где γ – угловая поперечная (радиальная) координата течения.

Знак плюс здесь и далее обозначает безразмерные относительные характеристики.



В реальных течениях базовая скорость u искажается за счет влияния стенок (в трубах и т. д.) и потерь энергии. Характеристики t как таковой на практике не существует, но она лежит в основе определения турбулентных напряжений. Таким образом, результирующие параметры течений можно определять на базе различных комбинаций характеристик электромагнитных волн при их преломлении, отражении и рассеивании.

Поскольку аналоговый метод предполагает единую базовую схему для ограниченных и свободных течений, необходима привязка к разработанной ранее модели равномерного течения в трубах.

В ограниченных течениях «фаза падения» γ_0 волн на границу вполне определенно зависит от аналогового числа Рейнольдса (Re) и с его уменьшением в турбулентном режиме слабо растет [3]. Так, при $Re = 1,45 \cdot 10^6$ $\gamma_0 = 0,3$ рад, а при $Re = 7,53 \cdot 10^3$ $\gamma_0 = 0,4$ рад.

Аналоговое напряжение трения τ равномерного или установившегося течения определяется через квадрат граничной амплитуды преломленной мнимой (нормальной к ограничивающей поверхности) волны. По аналогии с известной формулой Френеля, приведенной к режиму максимальной поляризации, имеем

$$\tau = \rho \chi^2 \frac{\sin^4 \gamma_0}{\cos^2 \gamma_0} U^2, \quad (6)$$

где χ – постоянная Кармана, равная 0,4; известна из логарифмического распределения скоростей.

В круглых трубах в качестве базовой амплитуды U следует принимать среднюю скорость течения. Аналоговый коэффициент гидравлического трения Дарси–Вейсбаха [2]

$$\lambda = 8\chi^2 \frac{\sin^4 \gamma_0}{\cos^2 \gamma_0} . \quad (7)$$

Сравнение коэффициента λ , найденного по формуле (7), с хорошо известными эмпирическими данными в диапазоне чисел Рейнольдса $4 \cdot 10^3 \leq Re \leq 1 \cdot 10^6$ показывает их полное соответствие. При дальнейшем уменьшении числа Рейнольдса наступает кризис сопротивления (резкий провал коэффициента λ) и переход в ламинарный режим. Аналоговая же кривая λ продолжает монотонно возрастать при $Re \rightarrow 0$.

Как известно, в струйных затопленных течениях возникают турбулентные напряжения трения, которые существенно выше трения жидкости о стенки труб при сравнимых скоростях и размерах. Пиковые значения турбулентных напряжений ($\tau \approx 0,01\rho U^2$) возникают в области перемешивания транзитного потока с присоединенным. Представим границу транзитного и присоединенного потоков условно твердой. Тогда допустимо ввести условный коэффициент трения λ для турбулентной струи, который будет выше всех соответствующих значений для турбулентного режима в трубах.

Отсюда естественно предположить, что режим турбулентных струй определяется искусственным продолжением аналоговой кривой λ в область малых значений Re , где условная «фаза падения» $\langle \gamma_0 \rangle$ повышается [4]. Понижение числа Рейнольдса $Re = Ud/\nu$ (где d – некоторый поперечный размер течения) с увеличением λ для струи можно объяснить тем, что коэффициент вязкости ν здесь носит турбулентный характер, и, как известно, он много больше обычного коэффициента кинематической вязкости (в трубах). Таким образом, струйное транзитное течение можно условно рассматривать как ограниченное установившееся, границы которого имеют те же механические свойства, что и сама жидкость (в случае ламинарного режима при $Re < 2000$ наблюдается подобное явление).

Для моделирования струйного течения необходимо определить условную «фазу падения» $\langle \gamma_0 \rangle$, которую будем рассматривать как максимально возможную для всех установившихся и равномерных течений. Этой фазе соответствует определенная линейная координата $\langle y_0 \rangle$ или некоторая характерная длина $\langle l \rangle = \langle y_0 \rangle$. В относительном виде для струи $\langle l_+ \rangle = 1$, а для любого потока вообще

$$\langle l_+ \rangle = \langle \gamma_{0+} \rangle = \frac{\langle l \rangle}{r} = \frac{\langle \gamma_0 \rangle}{\gamma_0} \geq 1. \quad (8)$$

В теории излучения [1] существует величина, которая, на наш взгляд, аналогична $\langle l_+ \rangle$. Это вероятность выживания кванта или длина свободного пробега фотона. Она обратно пропорциональна коэффициенту поглощения μ , который в относительном виде равен:

$$\mu = \langle l_+ \rangle^{-1} = \langle \gamma_{0+} \rangle^{-1}. \quad (9)$$

Таким образом, длина свободного пробега может служить характерным размером течения или линейной единицей измерения. Здесь она в качественном и количественном отношении приобретает существенно бóльшую определенность, чем известная длина пути смещения Прандтля.

Фактически фаза падения γ_0 усреднена, а переход от транзитного течения к присоединенному в струе является непрерывным. Поэтому коэффициент поглощения следует рассматривать переменным вместе с текущей координатой y или γ :

$$\mu_+ = \frac{y}{\langle y_0 \rangle} = \frac{\gamma}{\langle \gamma_0 \rangle} = y_+ = \gamma_+. \quad (10)$$

Такое непрерывное изменение оптических или радиационных характеристик (например показателя преломления) можно наблюдать в аналоговом процессе атмосферной рефракции космического излучения, например света.

Элементарное изменение плотности количества движения \tilde{s} определим по аналогии с изменением интенсивности световой волны в поглощающей среде:

$$-d\tilde{s} = \tilde{s}\mu_+ dy_+ = \tilde{s}y_+ dy_+, \quad (11)$$

что при граничном условии на оси струи

$$\tilde{s}_{y=0} = \rho U^2$$

соответствует решению

$$\tilde{s} = \rho U^2 \exp\left(-\frac{y_+^2}{2}\right); \quad \tilde{s}_+ = \exp\left(-\frac{y_+^2}{2}\right). \quad (12)$$

В соответствии с исходной моделью течения \tilde{s}_+ распадается на действительную и мнимую скорости в виде затухающих волн:

$$\tilde{u}_+ = \exp\left(-\frac{\gamma_+^2}{4}\right) \cos \gamma = \exp\left(-\frac{\gamma^2}{4\langle \gamma_0 \rangle^2}\right) \cos \gamma; \quad (13)$$

$$\tilde{t}_+ = \exp\left(-\frac{\gamma_+^2}{4}\right) \sin \gamma = \exp\left(-\frac{\gamma^2}{4\langle \gamma_0 \rangle^2}\right) \sin \gamma. \quad (14)$$

Полагая, что \tilde{t}_+ является подобием усредненных турбулентных пульсаций (коэффициент подобия χ), напряжение турбулентного трения в фазе γ_0 можно оценить формулами

$$\tau = \rho \chi^2 k t_{0+}^2 U^2, \quad \tau_+ = \chi^2 k t_{0+}^2, \quad (15)$$

где k – коэффициент корреляции турбулентных пульсаций (по данным С.С.

Кутателадзе и др. [5], при развитой турбулентности $k \approx 0,4$).

Для определения предельной переходной фазы $\langle \gamma_0 \rangle$ или длины свободного пробега, как указывалось выше, представим условную границу перехода транзитного течения в присоединенное квазитвердой. Турбулентное трение, определенное по формуле (15), приравняем к гидравлическому, найденному по формуле (6). При $\gamma_0 = \langle \gamma_0 \rangle$ получим условную фазу перехода для струи $\langle \gamma_0 \rangle = 26,33^\circ = 0,460 \text{ рад} = 0,146\pi \text{ рад}$. На рисунке верхняя шкала поперечного размера относительных распределений показана в масштабных единицах $\langle l \rangle = \langle \gamma_0 \rangle$.

Разумеется, эта фаза не является абсолютно точной и единой для всех случаев течений, так как они различаются разными уровнями турбулентности, а следовательно, и коэффициентами корреляции k . С известным приближением примем полученную фазу как единую масштабную единицу в излагаемой приближенной модели.

На рисунке построена аналоговая кривая скорости \tilde{y}_+ . Распределение действительной скорости вполне соответствует фактическому. Сравнение наших данных с результатами обширных и тщательных измерений Вигнаского и Фидлера [6] показывает их хорошее совпадение. Кроме того, распределение \tilde{y}_+ вполне удовлетворяет профилю, рассчитанному на основе уравнений Рейнольдса и уравнений неразрывности течения [7].

На этом же рисунке показана аналоговая кривая распределения турбулентных напряжений (τ_+) согласно формуле (15). Пиковое значение $\tau_+ = 0,0088$. По данным измерений [8, 9 и др.], оно приблизительно равно 0,01 с возможным разбросом на несколько десятков процентов. Разброс объясняется большой сложностью и индивидуальными особенностями течений, в частности уровнем их турбулентности. Важно отметить также качественное соответствие расчетных и экспериментальных результатов.

Полученная переходная фаза разделяет возмущенную область струи на транзитное и присоединенное течения в соотношении приблизительно 1:2. Этот факт подтверждается известными экспериментальными данными [6].

Такова аналоговая модель струйного турбулентного течения на основе аналогии излучательных процессов. Мы не ставили цель выявить количественное различие характеристик плоских и осесимметричных струй, равно как плоских и цилиндрических волн. В области развития течения ($0 < \gamma < \pi/2$) это различие сказывается незначительно. В данной работе изложена лишь принципиальная основа модели. Общая схема струйного течения будет рассмотрена в дальнейшем.

Аналоговый метод существенно отличается от методов классической гидромеханики и чисто эмпирических моделей. В нем используется угловая координата по ширине струи, что вызвано необходимостью учета волновой природы турбулентных течений. Поэтому одним из важнейших параметров, которым обладает любое сечение реального потока, является длина падающей волны. Это понятие невозможно интерпретировать с пози-

ций классической гидромеханики. В рассматриваемом же методе длина волны в абсолютном (L) и относительном (L_+) виде определяется по формулам

$$L = \frac{2\pi r}{\gamma_0} = 2\pi l; \quad L_+ = \frac{2\pi}{\gamma_0}, \quad (16)$$

где r – радиус трубы или полуразмер конкретного течения.

Естественно предположить, что при расширении струи скорость распространения базовых волн по оси y равна скорости струи на оси в местном сечении. В этом случае $L = x$, где x – продольная координата, имеющая начало на мнимом полюсе струи, находящемся за начальным сечением (соплом).

Тогда полуугол раствора струйного течения, соответствующий первой четверти волны, $\alpha \approx \arctg(1/4) \approx 15^\circ$. Это также подтверждается экспериментами [6]. Как указывалось в работе [4], очевидна аналогия напряжения трения течения на твердой или квазитвердой границе с интенсивностью рассеивания излучения (света). Последняя, согласно закону Релея, обратно пропорциональна длине волны в четвертой степени.

По нашему предположению, режим кризиса сопротивления, наблюдаемый в гидромеханике, аналогичен режиму аномальной дисперсии при облучении вещества электромагнитными волнами. Этот процесс с позиции аналогии пока не исследован.

Аналоговый метод позволит оценить механику ограниченных струй, обтекания различных препятствий потоком и др. Как известно, с позиции классической гидромеханики такие расчеты ведут к существенным математическим затруднениям. Предлагаемый метод может быть распространен на моделирование процессов переноса теплоты и концентрации вещества, а также на другие проблемы гидро- и аэромеханики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: Справочник. – М.: Энергоиздат, 1991. – 432 с.
2. Гагарин П.Н. Радиационно-оптическая аналогия механики турбулентного потока // Лесн. журн. – 1995. – № 2-3. – С. 55–61. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Гагарин П.Н., Вихарев А.Н. О волновой природе напряжения трения в турбулентных потоках // Лесн. журн. – 1998. – № 1. – С. 47–51. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Гагарин П.Н., Вихарев А.Н. Первичные результаты радиационно-аналоговых исследований механики турбулентных течений // Вклад ученых АГТУ в развитие науки и техники: Сб. науч. тр. АГТУ. – Архангельск, 1999. – С. 187–195.
5. Кутателадзе С.С. и др. Экспериментальное исследование структуры пристенной турбулентности и вязкого подслоя / С.С. Кутателадзе, Е.М. Хбахпашева, В.В. Орлов и др. // Турбулентные сдвиговые течения. Т.1 / Пер. с англ.; Под ред. А.С. Гиневского. – М.: Машиностроение, 1982. – С. 92–107.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10 т. – Т. 6. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988. – 736 с.

7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1987. – 840 с.

8. Мосс В.Д., Беккер С., Бредбери Л. Дж. С. Измерения скорости в некоторых областях рециркулирующих течений // Турбулентные сдвиговые течения. Т. 1. /Пер. с англ.; Под ред. А.С. Гиневского. – М.: Машиностроение, 1982. – С. 203–213.

9. Wignanski A.D. Fielder H.E. The two-dimensional / mixing region // J. Fluid Mech. – 1970. – 41/2. – P. 327–361.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 04.03.03

P.N. Gagarin, A.N. Vikharev, T.S. Isupova

Radiation-analogous Simulation of Velocities and Turbulent Shear Stress in Submerged Flow or Hydrodynamic Trace

Investigation of turbulent flows' characteristics by analog method based on physical processes of electromagnetic radiation is continued. Analogy is demonstrated based on the example of general simulation of a turbulent flow and confirmed by the experimental results.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 65.015.13: 674.01

А.И. Гильденгорн, М.П. Худяков

Гильденгорн Александр Иосифович родился в 1958 г., окончил в 1982 г. Севмашвуз, ведущий специалист ФГУП ПО «Севмашпредприятие». Имеет 3 научных работы в области технологии автоматизированного производства.



Худяков Михаил Павлович родился в 1965 г., окончил в 1987 г. Севмашвуз, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и технических систем машиностроения Севмашвуза. Имеет около 20 научных работ в области технологии автоматизированного производства.



ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены математический аппарат и методика формирования технологических моделей, используемые при проектировании и управлении производственными процессами.

Ключевые слова: технологическая модель, полихроматическое множество, технологичность конструкции изделия.

Автоматизированное проектирование и управление проектированием технологических процессов производства изделий лесопромышленного комплекса предусматривает создание описывающих их технологических моделей. Эти модели, с одной стороны, представляют собой технологические образы изделий, с другой – отражают производственные процессы их изготовления. Таким образом, технологическая модель является связующим звеном между описаниями изделия и производством, в котором оно изготавливается. Важной характеристикой технологических моделей служит динамичность, т. е. изменение их параметров во времени. Это условие по-

звоняет эффективно использовать модели в задачах управления процессом технологического проектирования.

Для формирования технологических моделей применим аппарат полихроматических ПС-множеств и ПС-графов [1], оперирующий условным понятием «цвет» в качестве универсального, задающего различные характеристики объектов описания. В соответствии с ним при представлении объекта моделирования в виде ПС-множества учитываются его собственные цвета $F_j(A)$ или цвета $F_j(a_i)$ его элементов a_i ; $A = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$, соответствующие j -му свойству объекта или его элемента. Каждому элементу $a_i \in A$ соответствует множество цветов $F(a_i)$, а множеству A в целом – множество цветов $F(A) = (F_1, \dots, F_j, \dots, F_m)$. Множество цветов $F(a_i)$ называют персональной раскраской этого элемента. Цвет $F_j(A)$ ПС-множества в целом как единого объекта, в отличие от персонального цвета $F_j(a_i)$ элемента $a_i \in A$, называют унитарным, а полный состав $F(A)$ таких цветов – унитарной раскраской ПС-множества. Отношения между элементами одного множества определяют булевы матрицы. Например, для задания размерно-точностных связей элементов конструкции изделия используют булеву матрицу $[A \times F(A)]$ персональных цветов элементов $a_i \in A$, одноименных с унитарными цветами $F(A)$. Все булевы матрицы могут быть представлены в виде списков или логических уравнений. В логическом уравнении, эквивалентном списку, функцией является имя списка, а аргументами – входящие в список элементы, представленные в виде логических переменных.

При моделировании процесса изготовления изделия A_i в производственной системе P исходными данными служит требуемый состав $F(A_i)$ унитарных цветов. Результатом является структура элементов производственной системы, реализующей унитарные цвета. Одноименные свойства изделия и производственной системы P описывают одинаковыми унитарными цветами $F_j(A_i) \equiv F_j(P)$. Наличие $F_j(P)$ отражает возможность реализации $F_j(A_i)$ в производственной системе P . Можно считать, что $F_j(A_i)$ отражает свойство конструктивного элемента изделия A_i «иметь возможность обрабатываться в P », а $F_j(P)$ – свойство P «иметь возможность обрабатывать j -м способом конструктивный элемент изделия A_i ». Задание отношения порядка на ПС-множестве элементов технологической системы обработки изделия формирует варианты возможных технологических маршрутов, которые графически могут быть отображены в виде путей на ПС-графе. Так формируется модель производственной системы, реализующей технологический процесс преобразования изделия из предшествующего $(A_i)_{k-1}$ в последующее $(A_i)_k$ состояние. Модель производственной системы включает разные способы обработки и ее используют для выбора средств оснащения производства, обеспечивающих реализацию унитарных цветов конъюнктивного ПС-множества элементов изделия. Это множество образуется применением конъюнкции к матрице $F(A_i)$ и отражает группирование элементов изделия по определенным, в частности по конструктивно-технологическим, признакам. Например, на базе ПС-множеств формируют конструктивно-

технологические классификаторы изделий, разрабатывают типовые и групповые технологические процессы.

С помощью рассмотренного математического аппарата путем комбинации операций над ПС-множествами решают различные задачи конструкторско-технологического проектирования и управления. В качестве примера рассмотрим задачу управления производственной технологичностью механически обрабатываемой корпусной конструкции вакуумно-вихревой установки для сжигания отходов лесопереработки (см. рисунок).

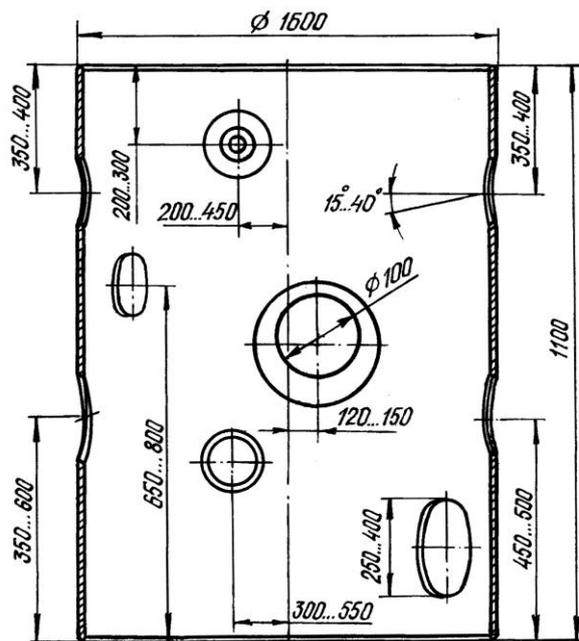
Необходимо построить модели конструкции изделия и производственной системы на основе альтернативных вариантов технологических процессов, а также количественную модель оценки показателей технологичности.

Модель конструкции изделия представим в виде ПС-множества механически обрабатываемых конструктивных элементов изделия. Элементы конструкции: a_1 – поверхность оболочки; a_2 – верхняя торцевая поверхность; a_3 – нижняя торцевая поверхность; a_4 – цилиндрическое отверстие на поверхности оболочки; F_1 – цилиндрическая поверхность; F_2 – фаска на торцевой поверхности; F_3 – плоская торцевая поверхность; F_4 – ось отверстия, радиально ориентированная относительно оси оболочки, нормально к образующей; F_5 – ось отверстия, радиально ориентированная относительно оси оболочки, имеет наклон относительно образующей; F_6 – ось отверстия расположена в плоскости, параллельной диаметральной плоскости (ДП) и имеющей смещение относительно ДП, нормально к образующей; F_7 – ось отверстия расположена в плоскости, параллельной ДП и имеющей смещение относительно ДП и наклон относительно образующей; F_8 – ось отверстия, имеющая наклон к плоскости, параллельной ДП, смещение относительно ДП и наклон относительно образующей; F_9 – плоская поверхность цилиндрического отверстия; F_{10} – фаска на поверхности цилиндрического отверстия.

Таким образом,

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4);$$

$$F(A) = (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9).$$



С учетом конъюнктивной формы связи персональных и унитарных цветов их соотношение в конструкции изделия представлено в виде булевых матриц:

$$[A \times F(A)]$$

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
a_1	•									
a_2		•								
a_3			•							
a_4				•	•	•	•	•	•	•

и

$$[A \times A(F)]$$

	$A(F_1)$	$A(F_2)$	$A(F_3)$	$A(F_4, F_9)$	$A(F_4, F_{10})$	$A(F_5, F_9)$	$A(F_5, F_{10})$	$A(F_6, F_9)$	$A(F_6, F_{10})$	$A(F_7, F_9)$	$A(F_7, F_{10})$	$A(F_8, F_9)$	$A(F_8, F_{10})$
a_1	•												
a_2		•											
a_3			•										
a_4				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Конъюнктивное $\hat{\Pi} S$ -множество элементов конструкции секции корпуса может быть представлено в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 A &= (a_1, a_2, a_3, a_4); \\
 F(A) &= (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9); \\
 \{F(a_i)_A\} &= \{F(a_1) = F_1, F(a_2) = F_2, F(a_3) = F_3, F(a_4) = (F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9)\}; \\
 \{A_{\kappa}(F)\} &= \{A(F_1) = a_1, A(F_2) = a_2, A(F_3) = a_3, A(F_4, F_9) = a_4, A(F_4, F_{10}) = a_4, A(F_5, F_9) = \\
 &= a_4, A(F_5, F_{10}) = a_4, A(F_6, F_9) = a_4, A(F_6, F_{10}) = a_4, A(F_7, F_9) = a_4, A(F_7, F_{10}) = \\
 &= a_4, A(F_8, F_9) = a_4, A(F_8, F_{10}) = a_4\}.
 \end{aligned}$$

Таким образом, в виде ПС-множества описаны конструктивные элементы, обработку которых необходимо выполнить при изготовлении корпусной конструкции.

Следующий этап состоит в формировании ПС-множества элементов технологической системы обработки изделия. Элементы производственной системы: технологические операции (p_1 – токарная обработка, p_2 – сверление, p_3 – растачивание, p_4 – фрезерование фаски в отверстиях); инструменты (p_5 – резец, p_6 – сверло, p_7 – фреза); станки (p_8 – карусельный, p_9 – токарно-карусельный, p_{10} – карусельно-расточной с ЧПУ); станочные приспособления (p_{11} – специальная головка для изменения угла наклона инструмента, p_{12} – специальная расточная головка для фрезерования фасок в отверстиях, расположенных под углом к образующей, p_{13} – опорное приспособление для выравнивания изделия при установке на станке).

Таким образом,

$$\begin{aligned}
 P &= (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}); \\
 F(P) &= (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9).
 \end{aligned}$$

Следовательно, имеем булевы матрицы
 $[P \times F(P)]$

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
p_1	•	•	•							
p_2				•	•	•	•	•	•	•
p_3				•	•	•	•	•	•	
p_4				•	•	•	•	•		•
p_5	•	•	•							
p_6				•	•	•	•	•	•	
p_7				•	•	•	•	•		•
p_8	•	•	•							
p_9	•	•	•	•	•	•			•	•
p_{10}	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
p_{11}					•		•	•		
p_{12}				•	•	•	•	•		
p_{13}	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

$[P \times P(F)]$

	$P(F_1)$	$P(F_1)$	$P(F_1)$	$P(F_2)$	$P(F_2)$	$P(F_2)$	$P(F_3)$	$P(F_3)$	$P(F_3)$	$P(F_4, F_9)$	$P(F_4, F_{10})$	$P(F_5, F_9)$	$P(F_5, F_{10})$	$P(F_6, F_9)$	$P(F_6, F_{10})$	$P(F_7, F_9)$	$P(F_7, F_{10})$	$P(F_8, F_9)$	$P(F_8, F_{10})$
p_1	•	•	•	•	•	•	•	•	•										
p_2										•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
p_3										•		•		•		•		•	
p_4											•		•		•		•		•
p_5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•		•		•		•	
p_6										•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
p_7											•		•		•		•		•
p_8	•			•			•												
p_9		•			•			•		•	•	•	•	•	•				
p_{10}	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
p_{11}												•				•		•	
p_{12}											•		•		•		•		•
p_{13}	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Для оценки технологичности конструкции изделия используют количественные модели расчета показателей. Производственную технологичность оценивают прежде всего по трудоемкости изготовления изделия. Трудоемкость выполнения k -й операции T_k определяют по общей формуле [2]

$$T_k = A_T \Pi a_i^{\alpha_i},$$

где A_T – коэффициент пропорциональности;

a_i – количественная величина параметра изделия;

α_i – количественная величина, характеризующая свойства производственной системы, влияющие на трудоемкость операции.

Количественная модель представляет собой булеву матрицу связи технологических операций, реализованных в ПС-множестве элементов технологической системы обработки изделия, с номерами формул расчета трудоемкости (с 1 по 4 – номера формул); числовые матрицы количественных величин α_i и коэффициента пропорциональности A_T :

	p_1	p_2	p_3	p_4
1	•			
2		•		
3			•	
4				•

Номер формулы	Параметры изделия						
	D	d	δ	k_m	k_y	k_ϕ	k_{cm}
	1	2	3	4	5	6	7
1	$\alpha_{1.1}$	0	$\alpha_{1.3}$	$\alpha_{1.4}$	0	0	0
2	0	$\alpha_{2.2}$	$\alpha_{2.3}$	$\alpha_{2.4}$	$\alpha_{2.5}$	$\alpha_{2.6}$	$\alpha_{2.7}$
3	0	$\alpha_{3.2}$	$\alpha_{3.3}$	$\alpha_{3.4}$	$\alpha_{3.5}$	$\alpha_{3.6}$	$\alpha_{3.7}$
4	0	$\alpha_{4.2}$	$\alpha_{4.3}$	$\alpha_{4.4}$	$\alpha_{4.5}$	$\alpha_{4.6}$	$\alpha_{4.7}$

Номер формулы	1	2	3	4
A_T	A_1	A_2	A_3	A_4

В рассматриваемом случае параметры изделия: D – диаметр оболочки; d – диаметр отверстия; δ – толщина оболочки; k_m – коэффициент, зависящий от марки материала; k_y – коэффициент, зависящий от угла наклона оси отверстия к образующей; k_ϕ – коэффициент, зависящий от формы фаски на поверхности отверстия; k_{cm} – коэффициент, зависящий от смещения отверстия относительно ДП оболочки.

Трудоемкость выполнения технологических операций определяют для всех условий обработки поверхностей по матрице $[P \times F(P)]$ с последующим определением суммарной трудоемкости обработки поверхности:

	$P(F_1)$	$P(F_1)$	$P(F_1)$	$P(F_2)$	$P(F_2)$	$P(F_2)$	$P(F_3)$	$P(F_3)$	$P(F_3)$	$P(F_4, F_9)$	$P(F_4, F_{10})$	$P(F_5, F_9)$	$P(F_5, F_{10})$	$P(F_6, F_9)$	$P(F_6, F_{10})$	$P(F_7, F_9)$	$P(F_7, F_{10})$	$P(F_8, F_9)$	$P(F_8, F_{10})$	Σ
P_1	•	•	•	•	•	•	•	•												
P_2									•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
P_3									•		•		•		•		•		•	
P_4									•		•		•		•		•		•	
Σ	9,6	7,2	4,3	6,1	4,8	2,2	3,4	2,1	1,8	4,5	8,0	16,5	28,7	23,6	42,0	36,9	88,7	44,1	127,4	461,9

Аналогичную модель используют для определения технологической себестоимости изготовления изделия. Сравнивая полученные показатели с базовыми их значениями, определяют относительные показатели производственной технологичности. Сравнительный анализ показателей дает основание для принятия решений об использовании технологического процесса, оптимальном составе оборудования производственной системы, изменении конструкции изделия в целом или отдельных ее элементов.

Анализ конструкции рассмотренного изделия показал, что изменение угла наклона оси отверстия относительно образующей имеет существенное значение для показателей производственной технологичности. С увеличением угла от 12 до 18° трудоемкость обработки возрастает в 1,2 раза, от 18 до 25° – в 2,8 раза. Предельно допустимое технологическое значение угла составило 36°. Наиболее высокие показатели при обработке таких отверстий достигнуты при выполнении работ на карусельно-расточном станке с ЧПУ с использованием специальных угловых головок. Кроме того, с увеличением объема группы изделий такого типа себестоимость обработки на станке указанного типа снижается более существенно.

Вывод

Использование аппарата полихроматических множеств позволяет на общих методологических принципах осуществить моделирование различных этапов процесса создания изделия и оценку производственной технологичности на ранних стадиях проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В.В. Полихроматические множества в теории систем. Структура ПС-множеств // Информационные технологии. – 1997. – № 7. – С. 11–16.
2. Технологичность конструкции изделия // Под ред. В.С. Амирова. – М.: Машиностроение, 1987. – 386 с.

ФГУП ПО «Севмашпредприятие»

Севмашвтуз

Поступила 22.05.02

A.I. Hildengorn, M.P. Hudyakov

Technological Models Formation of Machine-building Products for Woodworking Complex

Mathematical apparatus and technique of technological models' formation to be used at production design and control are considered

УДК 674.048

Е.Н. Покровская, И.В. Котенева, А.А. Аскадский

Покровская Елена Николаевна родилась в 1938 г., окончила в 1960 г. Московский химико-технологический институт, доктор технических наук, профессор кафедры общей химии Московского государственного строительного университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 200 научных трудов в области изучения древесины памятников деревянного зодчества, модифицирования ее элементоорганическими соединениями.



Котенева Ирина Васильевна родилась в 1978 г., окончила в 2001 г. Брянский государственный университет, аспирант кафедры общей химии Московского государственного строительного университета. Имеет 1 печатную работу в области изучения древесины памятников (химический состав, удельная поверхность, прочность, сорбционная способность).



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИМИТИРУЮЩЕЙ СТАДИИ СОРБЦИИ НА ПРИМЕРЕ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Изучены релаксационные характеристики сорбционных процессов в древесине различных памятников деревянного зодчества.

Ключевые слова: сорбция, сорбат, сорбент, релаксанты, релаксационные процессы, коэффициент диффузии.

Древесина относится к природным полимерным композитам, которые не подчиняются закону Гука. В работах [1–3] показано, что процесс сорбции низкомолекулярных веществ в полимеры происходит не только за счет заполнения отдельных пор молекулами сорбата, но и за счет конформационных перестроек макромолекул. Сорбция при этом сопровождается релаксационными процессами в полимерах [3, 4]. Количественный анализ механизма сорбции в полимерах с учетом процессов релаксации приведен в работах [3, 5]. Сущность этого анализа заключается в том, что коэффициент диффузии молекул сорбата в полимерном теле не является постоянным. Это вызывает проникновение молекул низкомолекулярных жидкостей в полимер и приводит как к реконструкции надмолекулярной организации полимера, так и к конформационной перестройке макромолекул. При этом происходит изменение коэффициента диффузии в процессе сорбции. Скорость движения низкомолекулярного сорбата в полимере зависит от кинетических и релаксационных параметров среды.

Связывая скорость диффундирующей частицы с силой F , действующей на эту частицу при движении в полимере, авторы [3, 5] получили следующие соотношения для описания кинетики сорбционных процессов:

$$\frac{\dot{I}(\tau)}{\dot{I}^\infty} = \frac{\int_0^t \dot{O}_1^*(\tau) d\tau}{\int_0^\infty \dot{O}_1^*(\tau) d\tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\dot{I}(\tau)}{\dot{I}^\infty} = \frac{\int_0^t \dot{O}_2^*(\tau) d\tau}{\int_0^\infty \dot{T}_2^*(\tau) d\tau}, \quad (2)$$

где $M(\tau)$ – масса сорбированного за время τ вещества;

M^∞ – равновесная масса сорбированного вещества при $\tau \rightarrow \infty$;

$T^*(\tau)$ – переменная часть ядра (термодинамически выделенная часть сорбента),

$$T_1^* = f(S_0, k_0, m, \alpha); \quad (3)$$

$$T_2^* = f(S_0, k_0, m, \beta). \quad (4)$$

Термодинамическое ядро является функцией начальной энтропии системы S_0 , константы Больцмана k_0 , числа релаксантов в системе m , показателей α и β . Величина α связана с коэффициентом диффузии сорбата уравнением

$$1 - \alpha = \frac{4}{l} \left(\frac{D\tau}{\pi} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

где l – размер образца;

D – коэффициент диффузии.

Величина β характеризует скорость взаимодействия релаксантов. Под релаксантами подразумевают различные неоднородности структуры полимера: микрополости, микротрещины и другие дефекты, которые под влиянием сорбата могут изменить микроструктуру полимера. Это может происходить при слиянии микрополостей в одну и т.п. Скорость взаимодействия релаксантов определяется уравнением

$$k^* = kC_0^{n-1},$$

где k^* – константа скорости взаимодействия релаксантов, которое описывается уравнением реакции n -го порядка:

$$\frac{dC}{d\tau} = kC^n.$$

Здесь C – текущая концентрация релаксантов;

n – порядок реакции, который может быть дробным.

Величина β связана с порядком реакции n :

$$\beta = \frac{1}{n-1}.$$

Анализ сорбционных процессов проведен с помощью ЭВМ-программы, разработанной в Институте элементоорганических соединений РАН совместно с компьютерной фирмой «Million Zillion Software Company».

Программа, предназначенная для описания релаксационных и сорбционных процессов в полимерах, построена следующим образом. В память ЭВМ заносят все значения интегралов

$$\int_0^T \frac{\dot{O}_1^*(\tau)}{d\tau} \quad \text{и} \quad \int_0^T \frac{T_2^*(\tau)}{d\tau}$$

при различных значениях кинетических параметров процесса k^*, β, α .

Анализ качества аппроксимации кривых сорбции по уравнениям (3) и (4) проводили методом наименьших квадратов. Ход кинетических кривых сорбции представлен в работе [6]. Определяли коэффициент корреляции r . Если при описании процесса с помощью уравнения (4) r выше, чем по уравнению (3), то это свидетельствует о том, что лимитирующей стадией является скорость взаимодействия релаксантов друг с другом. Если r по уравнению (3) выше, чем по уравнению (4), то лимитирующей стадией процесса является диффузия релаксантов в материале. Анализ сорбции для древесины с этих позиций проведен впервые.

Для изучения сорбции была выбрана древесина заболонной части сосны и дуба из памятников деревянного зодчества различного срока эксплуатации. Структурные изменения в древесине после длительной эксплуатации отражены в работе [6]. В качестве сорбентов использовали дистиллированную воду, растворы диметилфосфита (ДМФ) в воде и бензол. Величину сорбции определяли весовым методом. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью ЭВМ.

В таблице приведены результаты аппроксимации экспериментальных кривых сорбции для образцов древесины с различными сроками эксплуатации в памятниках деревянного зодчества. В качестве сорбатов использовали 10 и 50 %-й водный ДМФ, $\text{H}_2\text{O}_{\text{дист}}$, C_6H_6 .

Из данных таблицы видно, что во всех случаях при описании процессов сорбции с помощью уравнения (4) r выше и ближе к единице, чем при описании этих же процессов с помощью уравнения (3). Следовательно, с рассматриваемых позиций почти во всех случаях лимитирующей стадией процесса сорбции является скорость взаимодействия релаксантов, а не диффузионные ограничения. Интересно, что наименьший r практически во всех случаях отмечен при аппроксимации кривых сорбции по уравнению (3) для 10 %-го водного раствора ДМФ.

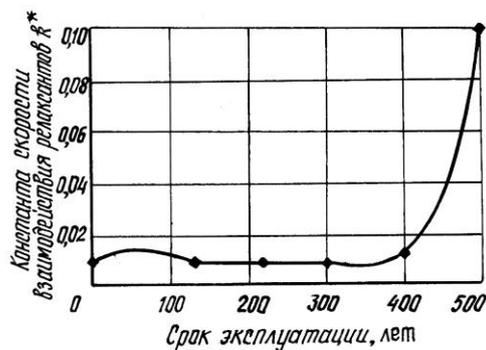
Рассмотрим влияние длительности эксплуатации древесины на кинетические параметры процесса сорбции, которые наилучшим образом описываются уравнением (4).

Порядковый номер образца	Срок эксплуатации, лет (год постройки)	Сорбат	a_{\max} , %	k^*	β	r_1	α	r_2
1	500 (1493 г.)	10 %-й ДМФ	146,94	0,1	0,8	0,99	0,3150	0,71
		50 %-й ДМФ	153,88	0,1	0,2	0,98	0,0306	0,96
		H ₂ O _{дист}	152,23	0,1	0,8	0,98	0,1260	0,64
		C ₆ H ₆	65,70	0,1	0,3	0,98	0,1260	0,84
2	400 (1600 г.)	10 %-й ДМФ	34,18	0,1	0,2	0,99	0,3150	0,91
		50 %-й ДМФ	41,29	0,1	0,8	0,99	0,1260	0,96
		H ₂ O _{дист}	32,63	0,01	0,4	0,99	0,1260	0,97
		C ₆ H ₆	8,86	0,1	0,2	1,00	0,3150	0,94
3	300 (1699 г.)	10 %-й ДМФ	50,35	0,1	0,5	0,99	0,3150	0,79
		50 %-й ДМФ	60,82	0,1	0,2	0,99	0,0306	0,92
		H ₂ O _{дист}	58,00	0,01	0,2	0,99	0,3150	0,93
		C ₆ H ₆	12,87	0,1	0,2	1,00	0,3150	0,99
4	210 (1790 г.)	10 %-й ДМФ	60,33	0,1	0,3	0,99	0,0306	0,90
		50 %-й ДМФ	63,91	0,1	0,2	0,99	0,0306	0,93
		H ₂ O _{дист}	67,75	0,01	0,8	0,99	0,0306	0,98
		C ₆ H ₆	16,24	0,1	0,3	0,98	0,0306	0,92
5	130 (1870 г.)	10 %-й ДМФ	127,60	0,1	0,2	0,98	0,0306	0,98
		50 %-й ДМФ	150,50	0,1	0,6	1,00	0,3150	0,77
		H ₂ O _{дист}	88,49	0,01	0,2	0,99	0,3150	1,00
		C ₆ H ₆	89,73	0,1	0,8	0,98	0,1260	0,66
6	0 (2000 г.)	10 %-й ДМФ	82,90	0,1	0,3	0,98	0,0306	0,90
		50 %-й ДМФ	95,30	0,1	0,2	0,99	0,0306	0,96
		H ₂ O _{дист}	69,50	0,1	0,3	0,99	0,0306	0,84
		C ₆ H ₆	54,80	0,01	0,4	1,00	0,1260	0,98
7	250 (1750 г., колокольня)	10 %-й ДМФ	46,00	0,01	0,8	0,99	0,1260	0,96
		H ₂ O _{дист}	42,55	0,00001	0,8	1,00	0,1260	0,99
8	500 (1500 г., водопровод)	10 %-й ДМФ	56,00	0,001	0,3	1,00	0,3150	1,00
		H ₂ O _{дист}	54,42	0,001	0,2	1,00	0,1260	0,99

Примечание. 1. Образцы 7, 8 – дуб, остальные – сосна. 2. r_1 – коэффициент корреляции для уравнения (4), r_2 – для уравнения (3).

Для всех образцов древесины с наибольшим сроком эксплуатации константа скорости взаимодействия релаксантов k^* равна или выше, чем у нативной древесины, независимо от состава сорбата. Следовательно для наиболее состарившейся древесины взаимодействие релаксантов выше, что вполне естественно. Кроме того, константа скорости взаимодействия релаксантов зависит и от типа сорбата. Например, при анализе процесса сорбции в 10 и 50 %-м растворе ДМФ установлено, что $k^* = 0,1$ для всех образцов независимо от сроков эксплуатации. Константа скорости взаимодействия

Изменение k^* в процессе эксплуатации древесины сосны (при сорбции воды)



релаксантов k^* не зависит от сроков эксплуатации древесины для всех сорбатов, кроме $\text{H}_2\text{O}_{\text{дист.}}$. Характер изменения k^* для системы древесина – $\text{H}_2\text{O}_{\text{дист.}}$ показан на рисунке. Константа скорости взаимодействия релаксантов постоянна в течение 400 лет эксплуатации и составляет 0,01. Очевидно, это можно объяснить устойчивостью структуры древесины в первые 400 лет, когда вымываются низкомолекулярные компоненты. Через 500 лет происходит значительное изменение структуры, вызванное объединением микрополостей и микротрещин в более крупные пустоты, что обуславливает увеличение k^* .

Для C_6H_6 величина k^* существенно уменьшается, как правило, при снижении сроков эксплуатации. Что касается величины β , то для данных систем трудно отметить какую-либо закономерность.

Почти для всех изученных образцов древесины характерна общая закономерность – значения предельной сорбции воды и водных растворов превышают значения предельной сорбции бензола (см. таблицу), кроме образцов древесины, эксплуатируемой 130 лет, для которой эти значения практически одинаковы. Разность между значениями предельной сорбции воды и бензола характеризует степень развития капилляров древесины. Практически все изученные образцы имеют развитую систему капилляров, за исключением древесины, эксплуатируемой 130 лет, которая сильно деградирована и в которой полностью отсутствует система капилляров, а внутренняя поверхность представлена крупными порами и полостями.

Таким образом, изучение с помощью ЭВМ процесса сорбции древесины различной длительности эксплуатации позволяет сделать следующие выводы

1. С рассматриваемых позиций лимитирующей стадией процесса сорбции древесины различных сроков эксплуатации являются не диффузные ограничения, а скорость взаимодействия релаксантов.

2. Величина сорбции характеризует состояние внутренней структуры древесины и зависит от вида сорбата (сорбция воды и водных растворов превышает сорбцию бензола в 6–10 раз).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аскадский А.А. и др. Оценка кинетических параметров сорбции и набухания полимеров с учетом релаксационного механизма данных процессов / А.А. Аскадский, В.А. Арсламбеков, Т.А. Андриющенко и др. // Высокомолек. соединения. – 1989. – А31, № 8. – С. 1616–1623.
2. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Т1. Атомно-молекулярный уровень. – М.: Науч. мир, 1999. – 544 с.
3. Гуль В.Е. Роль молекулярных сил в механизме набухания высокополимеров. Кинетика набухания // Коллоид. журн. – 1953. – Т. 15, № 3. – С. 170–177.
4. Догадкин Б.А., Гуль В.Е. Изменение релаксационных свойств при набухании вулканизированного каучука // Докл. АН СССР. – 1950. – Т. 70, № 6. – С. 1017–1019.
5. Зубов П.И. и др. К вопросу о набухании полимеров в парах низкомолекулярных жидкостей на примере блок-сополимеров полистирола с полибутадиеном / П.И. Зубов, Ю.И. Матвеев, А.А. Аскадский, Т.А. Андриющенко // Высокомолек. соединения. – 1980. – А 22, № 6. – С. 1347–1358.
6. Покровская Е.Н., Котенева И.В. Изучение древесины памятников деревянного зодчества // Лесн. журн. – 2003. – № 2-3. – С. 23-26. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Московский государственный
строительный университет

Институт элементоорганических соединений, РАН

Поступила 20.09.03

E.N. Pokrovskaya, I.V. Koteneva, A.A. Askadsky

Determination of Sorption Limiting Stage Based on Wood of Different Service Time

Relaxation characteristics of sorption processes are studied in wood of different wooden architecture monuments.

УДК 674.093.6

Д.А. Братилов, А.Д. Голяков

Братилов Дмитрий Александрович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесопильно-строгальных производств АГТУ. Имеет 2 печатные работы в области технологии деревообработки.



Голяков Александр Дмитриевич родился в 1939 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных трудов в области механической технологии древесины и изучения показателей механических свойств пиломатериала.



ВЫБОРОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУЧКОВАТОСТИ КОМЛЕВЫХ СОСНОВЫХ БРЕВЕН

На основании экспериментальных данных построена выборочная технологическая модель сучковатости комлевых сосновых бревен, не содержащих наружных сучков.

Ключевые слова: пиломатериалы, сучковатость, технологическая модель, зона качества, пиловочные бревна.

Сучки – основной сортообразующий порок пиломатериала. Сучковатость пиломатериалов зависит от наличия сучков в распиливаемом сырье, способа раскроя и параметров постава. Для составления эффективных поставов и схем раскроя необходима систематизированная детальная информация о сучковатости пиловочных бревен. Под этим понимают совокупность параметров, характеризующих количество, расположение, размеры и форму сросшихся и несросшихся частей сучков.

Изучению сучковатости пиловочных бревен посвящены работы [1–9]. Однако среди исследователей нет единства в выборе способа установления границы между бессучковой и сучковой зонами, недостаточно отражен вопрос о ее точности и форме, отсутствует целостная и удобная для анализа математическая модель изменения диаметра сросшихся и несросшихся частей сучков в пределах модели бревна.

Для эффективного раскроя необходима информация о внутреннем качестве бревен до их распиловки. Такую информацию может дать модель сучковатости, названная нами технологической, так как она используется в технологии лесопиления и деревообработки и должна с определенной точностью отражать пределы колебаний сучковатости отдельных бревен. Ана-

лиз работ [1–9] и результатов собственных исследований, позволил сделать вывод, что невозможно построить модель, которая подходила бы ко всем бревнам одной породы древесины, одинаковой длины и места вырезки из хлыста, потому что сучковатость бревен зависит от условий роста деревьев. Наибольшее влияние оказывают географическая широта, тип леса, состав, полнота и возраст насаждений. Следовательно, технологическая модель, справедлива только для сортиментов, полученных из деревьев, выросших в лесорастительных условиях, схожих с условиями выборки. Поэтому модель называется выборочной.

Задача моделирования – установить с определенной точностью границы зон однородного качества и пределы их колебаний, а также получить характеристику зон.

Эксперименты проводили в условиях малого лесопильного предприятия, расположенного на юге Вологодской области.

Для построения технологической модели было отобрано 10 комлевых бревен. Критериями отбора служили: отсутствие наружных сучков, вершинный диаметр 27 ... 29 см, длина 6,1 м. Небольшой объем выборки объясняется однородностью качества бревен по сравнению, например, с выборкой, взятой на основе сортов круглых лесоматериалов по ГОСТ 9463 – 88. У исследованных бревен замерялись следующие параметры: вершинный диаметр $d_{\text{ф}}$, диаметр на расстоянии одного метра от комлевого торца $D_{1\text{м}}$, комлевой диаметр $D_{\text{к}}$, диаметр ядра в вершинном торце $d_{\text{я}}$, число годичных колец в вершинном торце $N_{\text{в.т}}$. На основе данных параметров вычисляли сбег S , возраст N , среднюю ширину годичного кольца h и закомелистость. Ниже приведены средние значения параметров, характеризующих отобранное сырье:

Вершинный диаметр.....	(27,94 ± 0,22) см
Диаметр ядра	(19,20 ± 0,87) см
Число годичных колец	(71,0 ± 5,6) шт.
Сбег	(0,82 ± 0,10) см/м
Возраст деревьев, из которых получены бревна*	(88,0 ± 6,3) лет
Ширина годичного кольца	(2,07 ± 0,18) мм

Для изучения внутренней сучковатости был выбран метод опытных распиловок. Бревна распиливали брусом поставом с толщиной бруса 150 мм на доски толщиной 22 мм. Для исследования брали доски, полученные из бруса. На каждую доску составляли паспорт: на развернутой схеме доски зарисовывали сучки, определяли их вид (сросшиеся, несросшиеся, частично сросшиеся), местоположение, наибольший и наименьший размеры. На основе паспортов досок при помощи графического построения были получены индивидуальные модели бревен. По совокупности моделей бревен

* Возраст подсчитывали по следующей формуле: $N = N_{\text{в.т}} + N_{\text{мут}} + (3 \dots 4)$, где $N_{\text{мут}}$ – число мутовок в бревне (определяется после распиловки), шт.

была установлена выборочная технологическая модель сучковатости комлевых сосновых бревен.

На рис. 1 точками показаны проекции вершинок заросших сучков (позиция 1) и проекции границ, отделяющих сросшуюся и несросшуюся части сучков (позиция 2), на продольную плоскость, проходящую через ось модели комлевого бревна. Расстояние от оси модели до точки представляет собой длину проекции сучка l_c (или длину проекции сросшейся части сучка $l_{ср}$) на поперечное сечение модели.

Между длиной сучка l_c и длиной бревна $L_{бр}$ существует криволинейная корреляционная зависимость. Регрессионное уравнение связи имеет вид

$$l_c = -0,089 L_{бр}^2 + 1,102 L_{бр} + 7,192.$$

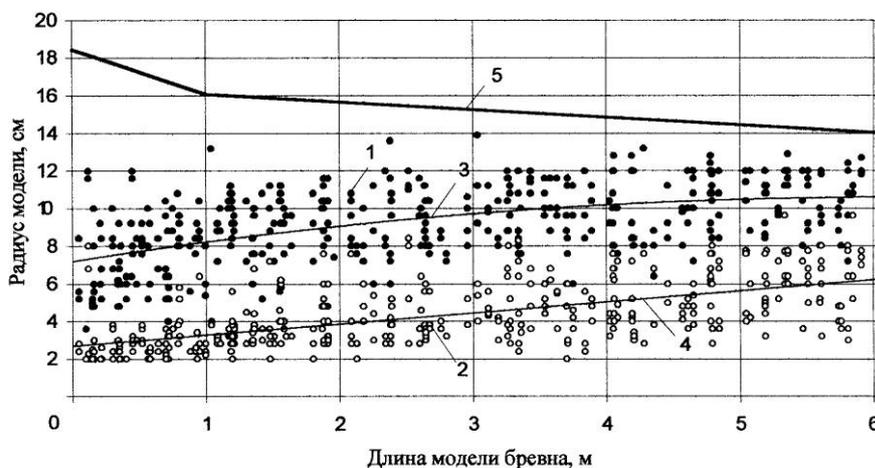


Рис. 1. Распределение сучков внутри модели комлевого соснового бревна: 1 – точки, соответствующие вершинам сучков; 2 – точки, соответствующие границе, разделяющей сросшуюся и несросшуюся части сучков; 3 и 4 – регрессионные модели; 5 – поверхность бревна (горизонтальная ось рисунка совпадает с осью модели)

Теснота корреляции, оцененная корреляционным отношением, $\eta = 0,5170$ при средней ошибке $m_\eta = \pm 0,037$ и критерии значимости $t_\eta = 14,07$. Коэффициент корреляции $r = 0,496$ при средней ошибке $m_r = \pm 0,038$ и критерии значимости $t_r = 13,13$. По разности между корреляционным отношением и коэффициентом корреляции можно сделать вывод, что криволинейность для данной зависимости является значимой при вероятности $p = 0,995$.

Между длиной проекции сросшейся части сучка $l_{ср}$ и длиной бревна $L_{бр}$ также существует зависимость. Для нее корреляционное отношение $\eta = 0,6124$ при $m_\eta = \pm 0,033$ и $t_\eta = 18,80$, коэффициент корреляции $r = 0,6107$ при $m_r = \pm 0,033$ и $t_r = 18,68$. Поскольку разница между η и r незначима даже при $p = 0,800$, то корреляционную зависимость можно рассматривать как прямолинейную, описываемую уравнением регрессии

$$l_{cp} = 0,592 L_{бр} + 2,666.$$

Полученные регрессионные уравнения показывают, что в среднем длина сучков и их сросшихся частей увеличивается в направлении от комля к вершине. Однако данные кривые и описывающие их уравнения не имеют практического приложения для составления поставов или схем раскроя, так как полностью не характеризуют распределение сучков в поперечном направлении по всей длине модели бревна. Для расчета поставов важнее знать границы рассеивания обеих совокупностей точек. На рис. 2 границы проведены таким образом, что внутри каждой области рассеивания сосредоточено 90 % точек (за пределы наружной или внутренней границ каждой из областей выходит 5 % точек). Границы могут быть заданы прямой линией или параболой второго порядка. Уравнения границ представлены ниже:



Рис. 2. Расположение границ технологических зон: 1 – наружная граница переходной зоны; 2 – внутренняя граница переходной зоны; 3 – наружная граница смешанной зоны; 4 – внутренняя граница смешанной зоны; 5 – образующая поверхности бревна; (кривая 1 совпадает с границей сучковой области)

$$R = -0,107 L_{до}^2 + 0,997 L_{бр} + 9,685; \quad (1)$$

$$R = -0,093 L_{до}^2 + 1,083 L_{бр} + 4,925; \quad (2)$$

$$R = -0,087 L_{до}^2 + 1,250 L_{бр} + 3,442; \quad (3)$$

$$R = -0,297 L_{бр} + 1,909. \quad (4)$$

Номер уравнения (1–4) соответствует номеру линии на рис. 2.

Границы 1–4 (рис. 2) делят продольное сечение модели бревна на зоны качества. Между границами 1 и 3 располагается зона несросшихся частей сучков, между 3 и 4 – смешанная зона. Данные зоны выделены по признаку состояния древесины сучков. По количеству сучков также можно выделить три зоны: постоянного количества сучков, переходная и бессучковая.

Границей первой зоны является линия 2. Переходная зона располагается между линиями 1 и 2, бессучковая зона – между линией 1 и образующей поверхности бревна 5.

Переходная зона появляется в результате неодинаковой длины сучков в каждой из мутовок и незначительной асимметрии сучковой области относительно оси бревна. В направлении от внутренней к наружной границе переходной зоны количество заросших сучков снижается до нуля. В пределах переходной зоны сучковая область постепенно переходит в бессучковую зону. Появление смешанной зоны обусловлено отсутствием в бревне (а тем более в выборке бревен) четкой границы между сросшимися и несросшимися частями сучков.

Из числа зон, выделенных по признаку состояния древесины сучков, наибольшие размеры имеет зона несросшихся частей сучков, что говорит о невысокой эффективности естественной очистки от сучьев. Ширина смешанной зоны интенсивно уменьшается от вершины к комлю. Переходная зона имеет постоянную ширину по длине модели бревна. Она занимает большую часть зоны несросшихся частей сучков. Размеры переходной зоны на 84 % зависят от рассеивания длин проекций сучков внутри отдельных бревен, на 16 % – между бревнами выборки. Это говорит о том, что выборка была достаточно однородной в отношении распределения сучков. Бессучковая зона в вершинном торце имеет толщину 2 см (в относительных единицах – 0,14 от вершинного радиуса). Бессучковая зона увеличивается по длине модели за счет сбега бревна и сбега сучковой области.

В трехмерном пространстве зоны качества представляют собой тела вращения, границы зон качества – поверхности вращения. Для построения поверхности вращения в качестве образующей берут линию границы зон (рис. 2), а осью вращения служит ось модели бревна.

В результате получается модель сучковатости с симметричными относительно оси зонами качества. В этой модели несколько сужена бессучковая зона и расширена сучковая область. Модель дает представление о минимальной толщине бессучковой зоны и возможных пределах ее отклонения. Минимальная толщина бессучковой зоны равновероятна со всех сторон любого бревна выборки. Однако, если асимметрия сучковой области относительно оси бревна достигнет некоторого предела, превысив который рассматриваемая модель не будет объективно отражать сучковатость отдельных бревен, то следует строить другую с учетом эксцентриситета и угла наклона сучковой области к оси модели бревна.

В пространстве размеры зон качества можно характеризовать объемом V , их границы – площадью поверхности S (см. таблицу).

На рис. 3 представлена гистограмма соотношения объемов зон качества по длине выборочной технологической модели комлевого соснового бревна. На столбцах гистограммы указаны объемы (m^3) участков соответствующих зон качества.

Зона, область	Объем, м ³	Площадь поверхности, м ²	
		наружной	внутренней
Бессучковая	0,205	5,89	4,37
Сучковая	0,250	4,37	–
Переходная	0,152	4,37	2,71
Несросшихся частей сучков	0,173	4,37	2,37
Смешанная	0,061	2,37	1,08
Сросшихся частей сучков	0,016	1,08	–
Бревно	0,455	5,89	–

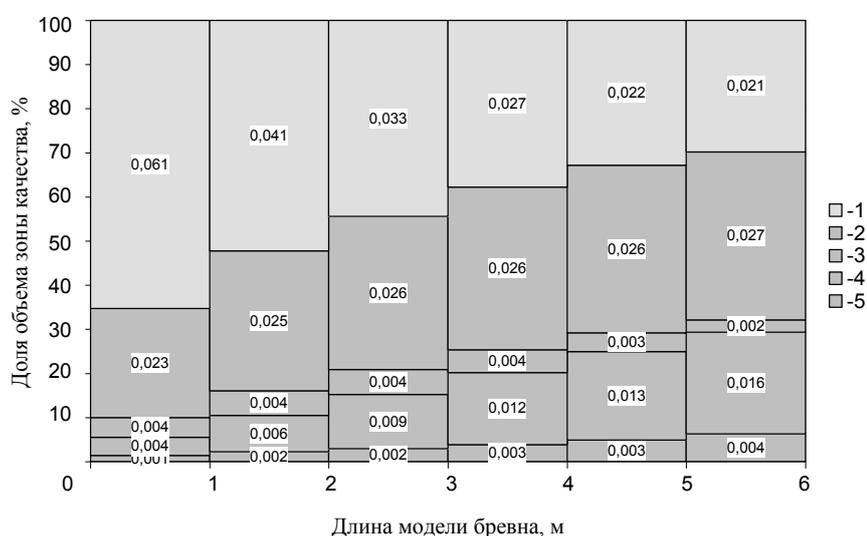


Рис. 3. Соотношение объемов технологических зон качества: 1 – бессучковая; 2 – переходная; 3 – с постоянным количеством несросшихся частей сучков; 4 – смешанная; 5 – сросшихся частей сучков

Самой большой по объему является бессучковая зона. Это объясняется тем, что она располагается на периферии бревна и на первых трех метрах от комля имеет значительную толщину. У конкретных бревен объем бессучковой зоны изменяется в зависимости от варьирования сбега.

В поперечном направлении переходной зоны количество заросших сучков изменяется с определенной интенсивностью. В поперечном направлении смешанной зоны общее количество сучков остается постоянным, но изменяется соотношение между сросшимися и несросшимися частями сучков. Интенсивность изменения можно представить в виде интегрального (кумулятивного) распределения. Накопленные частоты представим в виде коэффициентов

$$k = \frac{N_i}{N}; \quad p = \frac{N_i^c}{N}; \quad p' = \frac{N_i^f}{N}; \quad p = 1 - p',$$

где k – коэффициент изменения количества заросших сучков;

p – коэффициент изменения количества сросшихся частей сучков;

p' – коэффициент изменения количества несросшихся частей сучков;

N_i – количество заросших сучков на i -м интервале переходной зоны, шт.;

N_i^c – количество сросшихся частей сучков на i -м интервале смешанной зоны, шт.

N_i^f – количество несросшихся частей сучков на i -м интервале смешанной зоны, шт.;

N – количество всех сучков в выборочной модели бревна, шт.

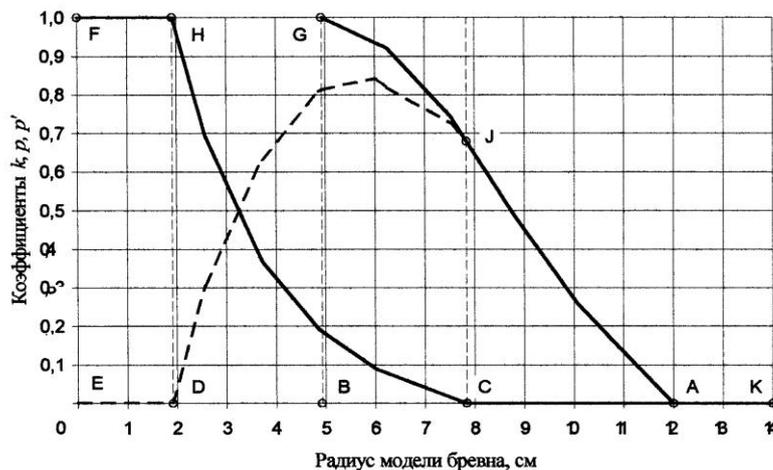


Рис. 4. Диаграмма интегральных функций распределения по длине модели: FHCK – для сросшихся частей сучков; EDJ – для несросшихся частей сучков в пределах смешанной зоны; GJAK – то же в пределах переходной зоны; АК – бессучковая зона; АВ – переходная зона; DC – смешанная зона; ED – зона сросшихся частей сучков

Все три коэффициента изменяются от 0 до 1. На рис. 4 представлена диаграмма экспериментальных интегральных распределений сросшихся и несросшихся частей сучков по длине модели бревна.

В начале зоны DC количество сросшихся сучков уменьшается достаточно интенсивно, от середины до конца зоны интенсивность постепенно падает. Необычный вид ломаной EDJ обусловлен пересечением переходной и смешанной зон. Из графика следует, что на участке от 10 до 12 см радиуса количество сучков незначительное, следовательно, в этих пределах возможно получать, с некоторой долей вероятности, бессучковые пиломатериалы.

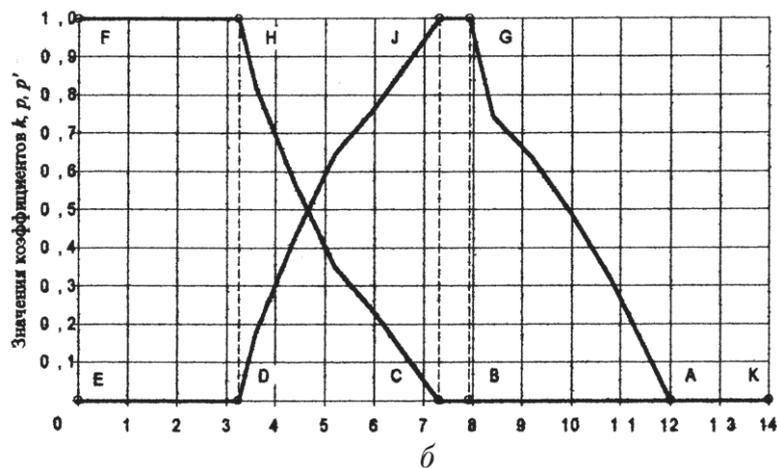
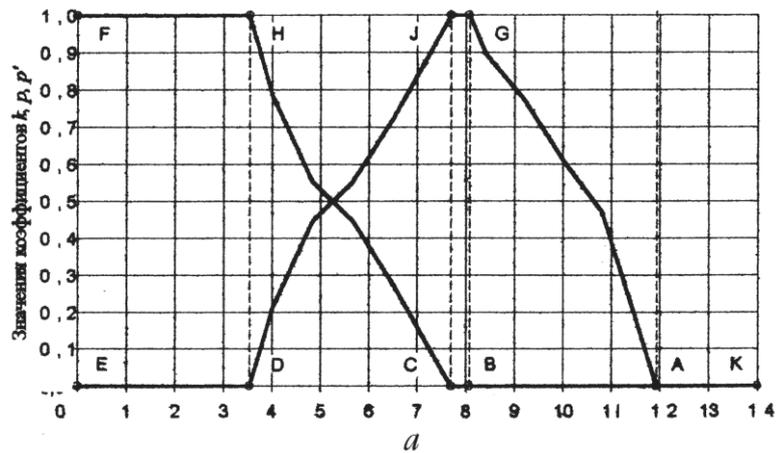
На рис. 5 (буквенные обозначения те же, что и на рис. 4) приведены диаграммы интегральных распределений на каждом погонном метре техно-

логической модели, причем ширину зоны качества брали на середине каждого метра.

Необходимо отметить, что технологическая модель сучковатости также характеризуется математической моделью диаметров сросшихся и несросшихся частей сучков, количеством сучков и расстояниями между мутовками. Однако рамки статьи не позволяют рассмотреть эти вопросы.

На основе изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Распределение сучков внутри комлевых бревен носит зональный характер.
2. Выборочная технологическая модель сучковатости с симметричными зонами относительно оси приемлема для описания бревен, имеющих незначительную асимметрию сучковой области.



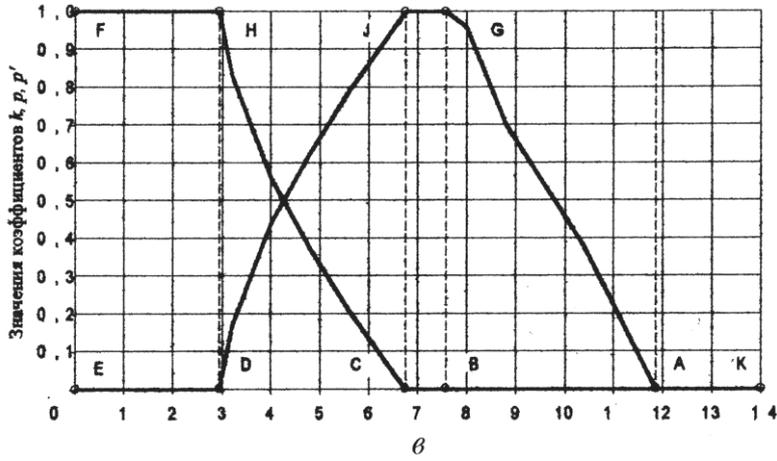
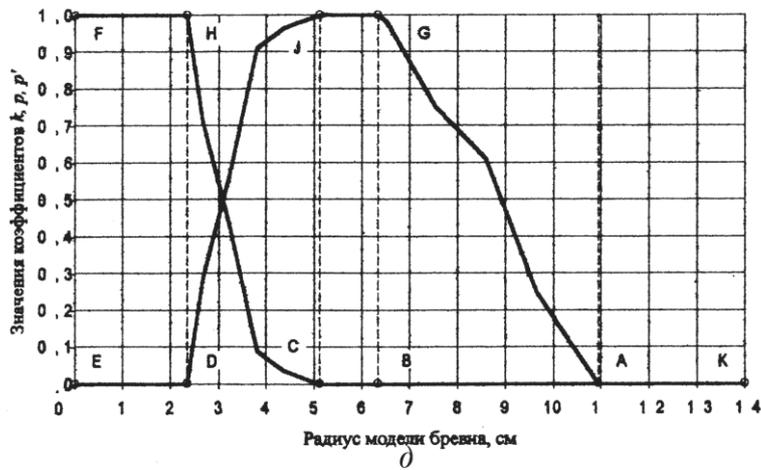
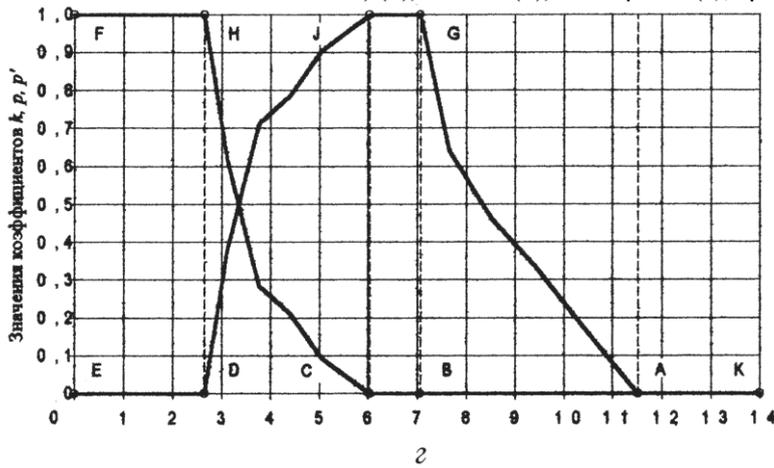
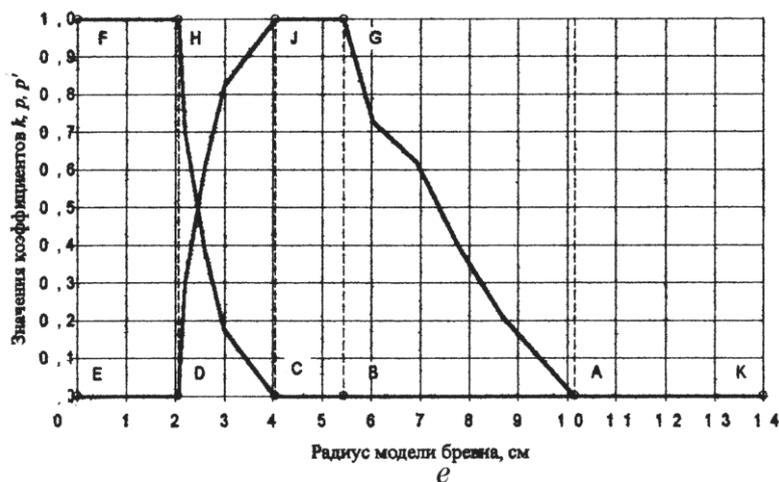


Рис. 5. Диаграмма интегральных функций распределения сросшихся от комля (а), пятом (б), четвертом (в), третьем (г),





(FHCK) и несросшихся (EDJGAK) частей сучков на шестом (считая вторым (d)), первом (e) метрах модели комлевого бревна

3. Длина заросших сучков и их сросшихся частей в среднем увеличивается по длине бревна от комля к вершине; теснота корреляции средняя.

4. В результате того, что бревна имеют нечеткую границу, с одной стороны, между сучковой областью и бессучковой зоной, с другой стороны – между зонами сросшихся и несросшихся сучков, то при построении модели формируются соответственно переходная и смешанная зоны.

5. В трехмерном пространстве зона качества представляет собой полое или неполое тело вращения, а ее граница – поверхность вращения.

6. Данная модель сучковатости является основой для теоретического раскрытия комлевых сосновых бревен в целях определения оптимальных параметров поставов для повышения ценностного выхода и получения пиломатериалов с заданным качеством.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокщанин Ю.Р. Исследование распространения пороков в пиломатериалах из лиственничного сырья на Красноярской группе лесозаводов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1954. – 16 с.
2. Елькин Г.А. Раскрой сосновых бревен на палубо-шлюпочные пиломатериалы. – М.: Гослесбумиздат, 1957. – 44 с.
3. Ицкович Я.А. Исследование размерно-качественной характеристики соснового и лиственничного пиловочного сырья Ангаро-Енисейского района с целью повышения качественного выхода экспортных пиломатериалов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 1980 – 23 с.
4. Колобова М.В., Цыкин Б.С. Влияние качества древесины сосновых бревен на сортность пиломатериалов // Лесн. пром-сть. – 1954. – № 4. – С. 29–30.
5. Крашенинников И.П. Исследование распиловки сосновых бревен на высококачественные пиломатериалы: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1961. – 20 с.
6. Лозинский В.М. Проект посортного деления и посортных признаков сосновых пиловочных бревен: (Отчет) / ЦНИИМОД. – Химки, 1941. – 50 с.

7. *Нушкарев С.Г.* Исследование способов раскря соснового сырья на авиационную пилопродукцию: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Л., 1974. – 18 с.

8. *Тюриков Ф.Т.* Распределение всех сучков в деловой части хлыста корейского кедра // Лесн. журн. – 1966. – № 6. – С. 100–101. – (Изв. высш. учеб. заведений).

9. *Peter R., Bamping J.* Theoretical Sawing of Pine Logs // Forest Products Journal. – 1962. – N 11. – P. 549–557

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 3.09.03

D.A. Bratilov, A.D. Golyakov

Sample Process Model of Branchiness of Butt Pine Logs

A sample process model has been built based on the experimental data for branchiness of the butt pine logs with no external knots.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.017.28

О.Г. Авакова, К.Г. Боголицын, С.Г. Дмитриенко

Авакова Ольга Гарриевна родилась в 1980 г., окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретической и прикладной химии. Область научных интересов – химические, физико-химические свойства и структура органической составляющей низших растений.



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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТЧАТКИ***

На основании экспериментальных данных установлено, что водорослевая целлюлоза обладает достаточно развитой удельной поверхностью.

Ключевые слова: удельная площадь поверхности, водорослевая целлюлоза, микрокристаллическая целлюлоза, сорбция.

В настоящее время известно не так много сорбентов растительного происхождения, которые нашли широкое применение в медицине. Увеличение поступления в окружающую среду различных загрязнителей и рост их воздействия на человеческий организм требуют поиска новых препаратов, эффективно выводящих экотоксиканты, но в то же время не оказывающих неблагоприятного воздействия на человека.

Уникальным по составу сырьем для получения целого ряда веществ, которые крайне редко или вообще не встречаются в наземных растениях, являются морские бурые водоросли. Наиболее типичный представитель бу-

* Работа выполнена в рамках гранта для поддержки исследовательской работы аспирантов высших учебных заведений Минобразования России А03-2.11-681 «Изучение строения и свойств энтеросорбентов, выделенных из бурых водорослей».

рых водорослей *Laminaria digitata* образует обширные плантации в прибрежных районах северной части Архангельской области, что позволяет организовать их переработку для получения различных препаратов. Водорослевая клетчатка, основной компонент бурых водорослей, – природный биосорбент, однако из-за недостаточности сведений о ее структуре и свойствах в настоящее время она практически не используется [4].

Одна из важнейших характеристик любого сорбента – удельная поверхность.

Для определения удельной поверхности твердых тел в настоящее время, наряду со статическими адсорбционными методами, широко применяют метод тепловой десорбции, который по существу не является хроматографическим, так как в нем не используется время удерживания или удерживаемый объем адсорбата. Метод тепловой десорбции отличается простотой аппаратного оформления выполняемых операций и позволяет быстро проводить измерения удельной поверхности в широком диапазоне (0,1 ... 500,0 м²/г) [3]. По точности он приближается к статическим методам.

Раньше для измерения удельной поверхности методом тепловой десорбции использовали газовый хроматограф, в котором вместо хроматографической колонки устанавливали съемный адсорбер для исследуемого образца. В настоящее время можно работать в режимах абсолютных измерений и сравнительном [2].

Режим абсолютных измерений основан на использовании уравнения изотермы полимолекулярной адсорбции Брунауэра–Эмметта–Теллера. Однако это довольно трудоемкий метод, он требует наличия, как минимум, трех газовых смесей с разной концентрацией азота. Кроме того, он не дает никаких преимуществ по сравнению со статическими методами, позволяющими получить полную изотерму адсорбции. Поэтому чаще используют сравнительный метод, который основан на сравнении количества азота, сорбированного в одинаковых условиях образцами с известной (стандарт) и измеряемой поверхностями. При этом также определяют количество азота, сорбированного навеской образца, после чего рассчитывают удельную поверхность:

$$S_x = \frac{Q_x M_{\text{нò}} S_{\text{сò}}}{\bar{I} \delta Q_{\text{нò}}},$$

где $S_x, S_{\text{ст}}$ – удельная поверхность неизвестного и стандартного образцов, м²/г;

$Q_x, Q_{\text{ст}}$ – площадь десорбционных пиков на диаграмме образцов, усл. ед.;

$M_x, M_{\text{ст}}$ – масса навесок образцов, г.

Для удобства расчетов данные для стандартного образца преобразуем в коэффициент

$$S_x = \frac{Q_{\text{сò}}}{\bar{I}_{\text{нò}} S_{\text{нò}}},$$

который устанавливает соответствие между получаемыми в эксперименте условными единицами площади десорбционного пика и 1 м^2 поверхности образца. Тогда

$$S_x = \frac{Q_x}{M_x k}.$$

Применение указанного способа вычисления удельной поверхности предполагает, что на единице поверхности сорбентов различной природы адсорбируется одинаковое количество азота. Для непористых или широкопористых сорбентов вблизи значений относительного давления пара условие $P/P_s = 0,05$ достаточно хорошо выполняется. Таким образом, методом тепловой десорбции азота можно с удовлетворительной точностью быстро определять удельную поверхность сорбентов различной природы.

Данный метод впервые был применен для определения сорбционных свойств водорослевой клетчатки (рис. 1). В ходе эксперимента использовали препарат, выделенный путем щелочной обработки бурых водорослей *Laminaria digitata*.

Газовая смесь (6 % N_2 в He) поступает из баллона (1) через редуктор (2) и кран (3) в фильтр-влагопоглотитель (4), затем проходит систему тонкой регулировки: редуктор (5), вентиль (6) и регулятор расхода (7). Далее через холодильник с жидким азотом (8) газ попадает в сравнительную камеру детектора (9) и через переключатель потоков (10) – к адсорберам К-1–К-6 либо К-7–К-12 (11). Пройдя систему адсорберов, газовая смесь поступает в измерительную камеру детектора (9) и через пенный расходомер (12) сбрасывается в атмосферу. Сигнал с детектора поступает на интегратор (13) и самописец (14).

Для анализа газовой смеси используют детектор теплопроводности – катарометр. Чувствительные элементы в сравнительной и измерительной

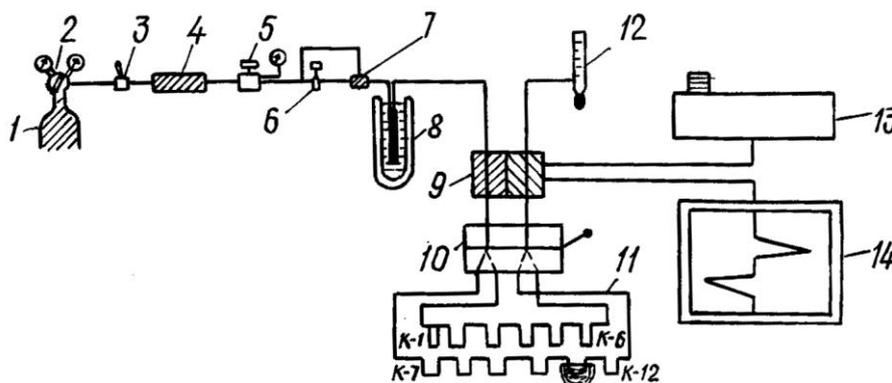


Рис. 1. Схема прибора для определения удельной поверхности

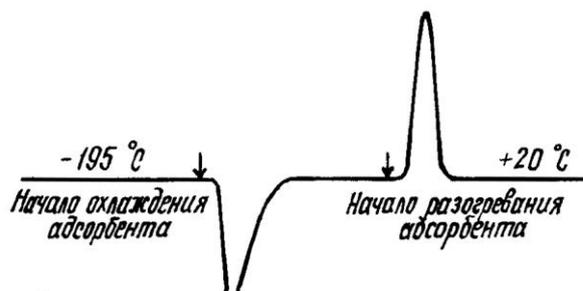


Рис. 2. Диаграмма сорбции/десорбции

камерах детектора являются плечами моста Уитсона. При комнатной температуре оба газа (азот и гелий) практически не адсорбируются, поэтому через обе камеры протекает поток одного состава. В процессе адсорбции азота меняется состав выходящей из адсорбера газовой смеси, а следовательно, и ее теплопроводность. Равновесие моста нарушается, и перо самописца отклоняется от нулевой линии (рис. 2). После установления адсорбционного равновесия из колонки выходит газовая смесь исходного состава, и перо самописца возвращается на нулевую линию. Затем жидкий азот убирают, адсорбер разогревается, азот с его поверхности десорбируется и концентрация его в потоке повышается. Поэтому перо самописца отклоняется в противоположную сторону и возвращается к исходному положению, когда десорбция заканчивается. Площади адсорбционных и десорбционных пиков пропорциональны количеству азота, сорбированного образцом. Подсчет площадей пиков можно проводить или как для обычных хроматограмм, или с помощью интегратора. Расчет обычно ведут по десорбционным пикам, так как процесс десорбции происходит при более высокой температуре и, следовательно, быстрее, чем адсорбция. Кроме того, десорбционные пики более симметричны [5, 6].

Определенные экспериментально значения удельной поверхности ($\text{м}^2/\text{г}$) водорослевой клетчатки ($0,6 \pm 0,1$) были сопоставлены с данными ($1,4 \pm 0,1$) для микрокристаллической целлюлозы, являющейся одним из наиболее распространенных сорбентов для медицины и фармакологии и по своим свойствам близкой к водорослевой клетчатке [1].

На основании анализа полученных данных можно сделать вывод, что водорослевая клетчатка обладает достаточно развитой удельной поверхностью, что позволяет считать ее адекватной целлюлозе высших растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакова О.Г. Изучение состава и физико-химических свойств препаратов, выделенных из бурых водорослей // Матер. междунар. конф. студентов и аспирантов по фундамент. наукам «Ломоносов – 2003». – Москва, 2003. – Т. 1. – С. 99.

2. *Караханов Э.А.* и др. Спецпрактикум кафедры химии нефти и органического катализа / Э.А. Караханов, И.И. Кулакова, В.В. Ковалев, Е.А. Рунова // Метод. разработка для студентов IV-V курса. – М.: МГУ, 2000. – 25 с.

3. Курс физической химии / Под ред. Я.И. Герасимова. – М.: Химия, 1969. – Т. 1. – С. 425–433.

4. *Оберюхтина И.А.* и др. Исследование реологических свойств растворов в процессе получения альгината натрия с целью снижения потерь целевого продукта с отходами данного производства / И.А. Оберюхтина, О.Г. Авакова, К.Г. Боголицын, Н.Р. Попова // Матер. междунар. молодеж. эколог. форума стран Баренц-региона. – Архангельск: АГТУ, 2001. – С. 134–135.

5. Практические работы по газовой хроматографии / Под ред. А.В. Киселева. – М.: МГУ, 1968. – С. 275–285.

6. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии / Под ред. А.В. Киселева и Я.П. Дерлинга. – М.: МГУ, 1973. – С. 214–220.

Архангельский государственный
технический университет

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила 26.12.03

O.G. Avakova, K.G. Bogolitsyn, S.G. Dmitrienko

Determination of Specific Surface Area of Vegetable Cellulose

It was found out based on experimental data that algal cellulose has rather well developed specific surface.

УДК 66.095.112:[674.031.33+674.032.442]

В.Г. Шабалин, М.М. Чемерис, В.В. Коньшин

Шабалин Владимир Григорьевич родился в 1974 г., окончил в 1997 г. Алтайский государственный университет, аспирант кафедры технологии переработки пластмасс и эластомеров Алтайского государственного технического университета. Имеет 10 публикаций в области химии древесины и ее основных компонентов.



6

Чемерис Михаил Матвеевич родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Томский политехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии переработки пластмасс и эластомеров Алтайского государственного технического университета. Имеет более 100 научных публикаций в области химии древесины и ее основных компонентов.



Коньшин Вадим Владимирович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Алтайский государственный университет, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры технологии переработки пластмасс и эластомеров Алтайского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области химии древесины и ее основных компонентов.



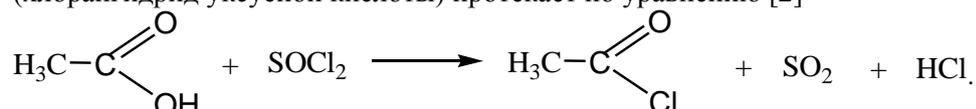
НЕКОТОРЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АЦЕТИЛИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ УКСУСНОЙ КИСЛОТОЙ В ПРИСУТСТВИИ ТИОНИЛХЛОРИДА В СРЕДЕ ТФУК

Установлено, что реакция ацилирования древесины осины и сосны системой уксусная кислота – тионилхлорид – трифторуксусная кислота протекает в диффузной области.

Ключевые слова: уксусная кислота, тионилхлорид, трифторуксусная кислота, древесина, уравнение Ерофеева–Колмогорова, уравнение Аррениуса.

Известно, что одними из эффективных агентов ацилирования целлюлозосодержащих материалов (древесина, целлюлоза и др.) являются галогенангидриды карбоновых кислот [4]. Однако высокая химическая активность галогенангидридов делает их неустойчивыми (в частности легкогидролизуемыми), что затрудняет проведение органического синтеза.

В связи с этим наши исследования [6, 7] были направлены прежде всего на обработку лигноцеллюлозных материалов такой смесью, в которой галогенангидрид образовывался бы в процессе реакции ацилирования. Примером такой системы может служить смесь уксусная кислота – тионилхлорид – трифторуксусная кислота (ТФУК). Образование галогенангидрида (хлорангидрид уксусной кислоты) протекает по уравнению [2]



В связи с малоизученностью процесса обработки древесины данной смесью представлялось интересным исследовать его кинетику.

Нами были использованы опилки (фракция 0,4 ... 0,75 меш.) осины (*Populus tremula* L.) и сосны (*Pinus silvestris* L.), предварительно проэстрагированные спиртобензольной смесью (1 : 1 по объему) в течение 8 ч и предгидролизированные 0,5 ... 1,0 %-м раствором H_2SO_4 в течение 4 ч. Реакционную смесь готовили путем смешивания уксусной кислоты и тионилхлорида в соотношении 0,025 : 0,050 моль на 1 г древесины, выдерживали 1 ч при температуре 25 °С, затем прибавляли ТФУК (0,17 моль на 1 г древесины), выдерживали еще 15 мин при заданной температуре и термостатировали определенное время. Синтез прерывали добавлением в реакционную смесь воды. О глубине протекающих процессов судили по содержанию связанной уксусной кислоты в продуктах реакции. Содержание ацетильных групп в ацетилированной древесине определяли по методике, приведенной в работе [3].

Реакция ацетилирования древесины данной системой протекает в гетерогенной среде и является топохимической, поэтому обработку кинетических данных проводили по уравнению Ерофеева–Колмогорова [5]:

$$\ln [-\ln(1 - \alpha)] = n \ln \tau + \ln K,$$

где α – степень превращения;

τ – продолжительность реакции, мин;

K – константа скорости реакции.

Степень превращения представим как

$$\alpha = \frac{D}{I}.$$

Здесь P – содержание связанной уксусной кислоты в момент времени τ , полученное из опыта;

I – теоретически рассчитанное, исходя из среднего содержания ОН-групп в компонентах древесины (целлюлоза и лигнин в предгидролизованной древесине) при условии, что все гидроксильные группы будут проацетилированы, максимальное содержание связанной уксусной кислоты.

Проведенные расчеты показали, что для осины $\Pi = 56 \%$, для сосны – 55% .

Результаты исследований представлены в таблице.

В данных условиях реакции наблюдалось линейная зависимость между $\ln[-\ln(1-\alpha)]$ и $\ln \tau$ (коэффициент корреляции составил $0,982 \dots 0,995$).

По определенным значениям констант скорости реакции была оценена энергия активации процесса ацетилирования древесины уксусной кислотой в присутствии тионилхлорида в среде ТФУК с применением уравнения Аррениуса (см. рисунок):

$$\ln K = \ln B - \frac{E_a}{RT}$$

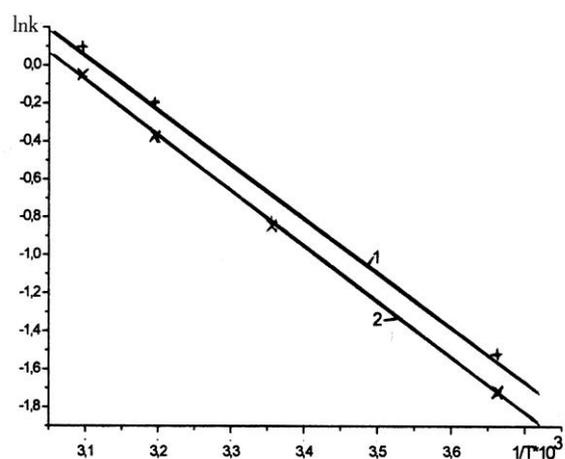
Энергия активации для осины и сосны соответственно составила $(6,2 \pm 1,7)$ и $(5,2 \pm 1,9)$ кДж/моль.

Результаты ацетилирования предгидролизованной древесины (1) и сосны (2) в среде ТФУК в присутствии тионилхлорида

6*

Температура, °С	Продолжительность, мин	Содержание связанной уксусной кислоты, %		Степень превращения		$\ln[-\ln(1-\alpha)]$		Константа скорости реакции, мин ⁻¹	
		1	2	1	2	1	2	1	2
0	1	14,4	11,2	0,26	0,20	-1,21	-1,48	0,22	0,18
	3	21,2	17,6	0,38	0,32	-0,74	-0,95		
	5	24,8	22,1	0,44	0,40	-0,54	-0,67		
	7	32,4	28,2	0,58	0,51	-0,15	-0,33		
25	1	25,7	23,6	0,46	0,43	-0,49	-0,58	0,44	0,43
	3	36,5	32,6	0,65	0,59	0,05	-0,40		
	5	41,9	41,5	0,75	0,75	0,32	0,34		
	7	48,8	43,3	0,87	0,79	0,72	0,44		
40	1	35,6	31,7	0,64	0,58	0,01	-0,15	0,82	0,69
	2	42,1	38,2	0,75	0,69	0,33	0,17		
	3	45,6	42,8	0,81	0,78	0,52	0,41		
	4	49,3	46,2	0,88	0,84	0,75	0,61		
50	1	41,3	37,3	0,74	0,68	0,29	0,12	1,10	0,95
	2	44,6	41,6	0,80	0,76	0,46	0,35		
	3	46,7	46,1	0,83	0,84	0,59	0,60		
	4	50,4	47,6	0,90	0,87	0,84	0,70		

Характерной особенностью исследуемой системы, как свидетельствуют данные таблицы, является довольно быстрое протекание реакции ацетилирования древесины. За первые 7 мин степень



Аррениусовская зависимость процесса ацетилирования древесины осины (1) и сосны (2)

превращения достигает 0,9. При использовании традиционных ацетилирующих агентов, например уксусного ангидрида, указанная степень превращения достигается в течение нескольких часов [8, 9].

Известно, что для ускорения процесса ацетилирования целлюлозы и древесины необходимо проводить предварительную активацию растительного материала [1]. Однако значения энергий активации в данном случае составляет более 50 кДж/моль, т.е. лимитирующей стадией процесса является химическая реакция. Полученные нами результаты свидетельствуют о протекании реакции ацетилирования предгидролизованной древесины осины и сосны смесью уксусная кислота – тионилхлорид – ТФУК в диффузионной области.

Таким образом, изучение кинетики обработки предгидролизованной древесины осины и сосны смесью уксусная кислота – тионилхлорид – ТФУК показывает, что замещение ОН-групп на ацетильные количественно происходит в течение первых 7 мин. Вычисленные по уравнению значения энергий активации свидетельствует о диффузионно-лимитируемом процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: Учеб. для вузов. – СПб: СПб ЛТА, 1999. – 628 с.
2. Ким А.М. Органическая химия. – Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2001. – 814 с.
3. Оболенская А.В. и др. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А.В.Оболенская, В.П.Щеголев, Г.А. Аким и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1965.
4. Роговин З.А. Химия целлюлозы. – М.: Химия, 1972. – 520 с.
5. Розовский А.Я. Кинетика топохимических реакций. – М.: Химия, 1974.
6. Шабалин В.Г., Чемерис М.М., Чемерис Н.А. Оптимизация процесса ацилирования древесины системой тионилхлорид – карбоновая кислота – трифторуксусная кислота // 3-й Междунар. симп. «Строение, свойства и качество древесины–2000». – Петрозаводск, 2000. – С. 603–605.
7. Шабалин В.Г., Чемерис М.М., Чемерис Н.А. Взаимодействие древесины с высшими карбоновыми кислотами в присутствии тионилхлорида в среде трифторуксусной кислоты // 3-й Междунар. симп. «Строение, свойства и качество древесины–2000». – Петрозаводск, 2000. – С. 605–606.
8. Pat. 4804384 USA. Acetylation of lignocellulosic materials / R.M. Rowell et al. – 1989.
9. Rowell R. M., Tillman A.-M., Simonson R. Vapor phase acetylation of southern pine Douglas-fir and aspen wood flakes // J. Wood Chem. and Technol. – 1986. – Vol. 6, N 2. – P. 293–309.

Алтайский государственный
технический университет

Поступила 19.01.04

V.G. Shabalin, M.M. Chemeris, V.V. Konshin

Some Kinetic Regularities of Wood Acylation by Acetic Acid

in Presence of Thionyl Chloride in Trifluoroacetic Acid Medium

It's been found out that reaction of aspen and pine wood acylation by a system of acetic acid - thionyl chloride - trifluoroacetic acid takes place in the diffusion region.

УДК 630*284:582.475.2

Д.Ф. Кириллов

Кириллов Дмитрий Федорович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 50 печатных работ в области подсочки хвойных смолоносных пород.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТИМУЛЯТОРОВ ВЫХОДА ЖИВИЦЫ НА СМОЛЯНОЙ АППАРАТ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ

Изучено влияние стимуляторов выхода живицы (кормовые дрожжи, натриевая соль 2М-4Х, комплексный стимулятор) на количество патологических смоляных ходов в годичных слоях лиственницы сибирской как выше кары, так и на межкарровом ремне; установлена различная реакция камбия на ранения при подсочке лиственницы сибирской со стимуляторами выхода живицы.

Ключевые слова: лиственница сибирская, смоляной аппарат, подсочка, стимуляторы выхода живицы, смоляные ходы, карра, межкарровый ремень.

У большинства хвойных смолоносных пород живица находится в смоляных ходах, которые встречаются в древесине в вертикальном и горизонтальном направлениях. Совокупность всех смоляных ходов, по определению Л.А. Иванова [3], называется системой смоляных ходов, представляющей собой смолообразовательный и выделительный аппарат.

Изучением анатомического строения смоляного аппарата лиственницы европейской, лиственницы сибирской и лиственницы даурской в разные годы занимались А.С. Казанский, Н.А. Понамарев [5], А.Н. Шатерникова [7], Э.И. Адамович [1], А.В. Васильев [2], Н.А. Кадочников [4], В.А. Мананков [6] и др.

Анатомическое строение смоляного аппарата лиственницы имеет следующие особенности:

оболочки клеток выделительного эпителия быстро древеснеют, выделительные клетки теряют способность активно участвовать в процессе смоловыделения;

клетки выстилающей паренхимы имеют относительно небольшие размеры и не заполняют полностью канал смоляного хода;

лиственница имеет узкую заболонь (1...2 см), что указывает на ограниченную смоловыделительную способность смоляных ходов древесины;

в древесине лиственницы, в отличие от сосны, кедра и ели, сохраняются жизнедеятельные смоляные ходы в ядре, хотя в этом случае слой живых клеток не образует полного кольца, а лишь частично выстилает канал смоляного хода;

кроме вертикальных и горизонтальных смолоходов, в смоляной аппарат лиственницы входят смоляные карманы, отлупы и метиковые трещины, заполненные живицей.

Кроме того, при обычной подсочке лиственницы сибирской в годичных слоях заболонной части древесины образуется большое число дополнительных (патологических) смоляных ходов [4]. Под воздействием подсочки с химическим стимулятором (натриевая соль 2,4-Д) у лиственницы даурской, в основном, в поздней части годичного слоя образуется в 1,5 – 2,0 раза больше патологических смоляных ходов по сравнению с обычной подсочкой [6].

Нами поставлена задача исследовать влияние подсочки со стимуляторами (кормовые дрожжи, натриевая соль 2М-4Х, комплексный стимулятор – кормовые дрожжи + соль 2М-4Х) на образование патологических смоляных ходов у деревьев лиственницы сибирской. Для сравнения исследовали смоляной аппарат в доподсочный период и оценивали влияние на него обычной подсочки.

С опытного участка были отобраны образцы древесины 360 модельных деревьев лиственницы сибирской, из которых 90 деревьев были заподсочены обычным методом, 90 – с 5 %-м водным настоем кормовых дрожжей, 90 – с 1 %-м водным раствором соли 2М-4Х, на остальные деревья на карроподновки наносили комплексный стимулятор (состав стимулятора: 5 % кормовых дрожжей, 1 % соли 2М-4Х, остальное – вода). С каждого дерева было взято по два образца: один на межкарровом ремне, другой на 10 см выше карры.

Лесоводственно-таксационная характеристика опытного участка: тип леса – лиственничник разнотравный, состав древостоя 10 Л, средний диаметр 32 см, полнота 0,6, класс возраста VI, класс бонитета II.

Основные технологические параметры, по которым подсачивались опытные деревья: пауза вздымки – 21 день (за сезон наносили по четыре карроподновки), шаг подновки 5 см, способ подсочки – восходящий ребристый, ширина карры 20 см.

В результате исследований было установлено, что нормальные вертикальные смоляные ходы у лиственницы сибирской в основном (86,5 % от общего их числа) формируются в поздней части древесины годичного слоя и на 10 см его длины в среднем приходится $44,2 \pm 1,68$ смолохода (табл. 1).

Причем, число смолоходов на 10 см длины годичного слоя у различных деревьев варьируется в больших пределах ($V = 26,9$ %): встречаются деревья, которые имеют всего 15 смоляных ходов, в то же время у некоторых деревьев их насчитывается до 100 шт. В различных годичных слоях смоляные ходы также распространены неравномерно.

В процессе подсочки хвойных смолоносных пород большое значение имеет общая площадь полостей, вскрываемых каналов смоляных ходов, через которые происходит выделение живицы. Поэтому необходимо учитывать условия, определяющие, так называемую густоту смоляных ходов, т. е. их число на единицу площади поперечного сечения ствола. Нами установ-

Таблица 1

Статистическая характеристика смоляного аппарата лиственницы сибирской в доподсочный период

Показатели	$x \pm m$	σ	$V, \%$	$P, \%$	t
Число смоляных ходов, шт: вертикальных на 10 см длины годового слоя	$43,3 \pm 1,68$	11,9	26,9	3,8	26,3
на 1 см ² поперечного среза древесины	$103,2 \pm 1,29$	9,16	8,8	1,24	80,9
Диаметр вертикальных смоляных ходов, мкм	$82,8 \pm 2,01$	14,3	17,3	2,42	41,2
Ширина годового слоя, мм	$0,42 \pm 0,01$	0,1	23,8	2,4	42,0

Примечание. m – основная ошибка среднего x значения; σ – среднее квадратичное отклонение; V – коэффициент вариации; P – точность опыта; t – достоверность среднего значения.

Таблица 2

Число и размеры вертикальных смолоходов у лиственницы сибирской в зависимости от типа леса и класса бонитета

Тип лиственничника, класс бонитета	Число смолоходов на 10 см длины го- дового слоя, шт.	Диаметр смолоходов, мкм
Разнотравный, II	44,2	82,8
Бруснично-разнотравный, III	35,7	65,4
Бруснично-зеленомошный, IV	22,3	60,2
Зеленомошный, III	21,4	58,6

лено, что у лиственницы сибирской число смоляных ходов на 1 см² поперечного сечения ствола в среднем составляет ($103,2 \pm 1,29$) шт.

Важнейшим показателем в оценке смолообразующего аппарата хвойных смолоносных пород являются также и диаметры смолоходов. По нашим наблюдениям у лиственницы сибирской диаметры вертикальных смоляных ходов в годовых слоях как одного и того же дерева, так и различных деревьев имеют существенные колебания. Коэффициент вариации $V = 17,3 \%$ свидетельствует о значительной изменчивости диаметра ходов у модельных деревьев этого ряда: от 45 до 118 мкм. В среднем этот показатель составляет ($82,8 \pm 2,01$) мкм.

Число и размеры нормальных вертикальных смоляных ходов у лиственницы сибирской зависят от условий произрастания и производительности древостоя (табл. 2).

Так, на 10 см длины годового слоя у лиственницы сибирской II класса бонитета, произрастающей в лиственничнике разнотравном, число нормальных вертикальных смоляных ходов с диаметром 82,8 мкм составляет 44,2 шт. В лиственничнике зеленомошном III класса бонитета у листвен-

ницы на такой же длине годичного слоя формируется 21,4 смолохода диаметром 58,6 мкм. Причем у лиственницы сибирской наибольшим изменениям, в зависимости от типа леса и класса бонитета, подвержено число смолоходов. Диаметры смоляных ходов изменяются в меньшей степени, в основном на их размеры влияет тип леса (табл. 2).

Под действием подсочных ранений камбий хвойных смолоносных деревьев реагирует образованием годичного кольца с большим количеством патологических смоляных ходов. Образование таких смолоходов, по мнению Л.А. Иванова [3], является специфической реакцией камбиальных клеток на повреждающее воздействие и служит для защиты дерева.

Результаты наших исследований показывают, что под действием различных видов подсочки в годичных слоях заболонной части лиственницы сибирской образуется значительное количество патологических смоляных ходов (табл. 3).

Так, при обычной подсочке число травматических смоляных ходов непосредственно над каррой превышает число нормальных в 4,0 раза, при подсочке с кормовыми дрожжами – в 5,2 раза, при подсочке с 2М-4Х – в 5,8 раза, при подсочке с комплексным стимулятором – в 7,8 раза. Приведенные в табл. 3 данные свидетельствуют о различной реакции камбия на подсочное ранение как при обычной подсочке, так и со стимуляторами выхода живицы. Следует отметить, что наибольшее число патологических смоляных ходов (независимо от вида подсочки) образуется после первого года подсочки. Причем на участке, примыкающем к карре (на 10 см выше ее), в одном и том же годичном слое наблюдается образование двух, а иногда и трех сплошных цепочек из травматических смоляных ходов. Первая цепочка смолоходов откладывается в начале слоя ранней древесины, вторая – на границе ранней и поздней части годичного кольца, когда нет третьей цепочки. На второй год подсочки, т. е. в последующих годичных слоях, патологические смоляные ходы, как правило, откладываются в виде одной цепочки.

Таблица 3

Соотношение нормальных и патологических смоляных ходов у лиственницы сибирской при различных видах подсочки

Подсочка	Число смоляных ходов			Кратность увеличения
	на 10 см длины годичного слоя, шт. до подсочки	после подсочки	патологических, % от доподсочного	
Обычная	52,5/53,0	208,0/66,5	396,0/125,4	4,0/1,2
С применением стимулятора:				
кормовых дрожжей	44,5/45,0	231,5/64,5	520,2/143,3	5,2/1,4
соли 2М-4Х	52,0/55,0	302,5/102,5	581,7/186,4	5,8/1,9
комплексного	47,0/46,0	366,6/110,4	780,0/240,0	7,8/2,4

Примечание: В числителе приведены данные для образцов древесины, взятых на 10 см выше коры, в знаменателе – на межкарровом ремне.

При этом их число продолжает увеличиваться по сравнению с нормальными смолоходами, но постоянно остается ниже уровня первого года. На третий год число патологических смолоходов снижается и доходит до численности нормальных.

Влияние различных видов подсочки на образование патологических смоляных ходов распространяется и по периметру дерева. При этом камбий на межкарровом ремне реагирует на подсочку со стимуляторами выхода живицы в большей степени, чем при обычной подсочке. Так, у деревьев, заподсоченных без химического воздействия, число патологических смоляных ходов превышает число нормальных ходов в доподсочный период в 1,2 раза, при действии кормовых дрожжей – в 1,4 раза, при подсочке с 2М-4Х – в 1,9 раза, при подсочке с комплексным стимулятором – в 2,4 раза. Последний показатель оказался в два раза выше, чем при обычной подсочке. Полученное различие свидетельствует о том, что соль 2М-4Х и, особенно, комплексный стимулятор воздействуют не локально, а на весь древесный организм. Это в какой-то мере указывает на то, что физиологически активные вещества типа натриевой соли 2М-4Х в комплексе с биологическим стимулятором (кормовые дрожжи) являются стимуляторами смолообразования.

Таким образом, смоляной аппарат деревьев лиственницы сибирской, заподсоченных со стимуляторами выхода живицы, значительно отличается от незаподсоченных и заподсоченных обычным методом деревьев количеством смоляных ходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адамович Э.И.* Смоляные ходы лиственницы сибирской // Тр. ПермСХИ. – 1954. – Т. 13.
2. *Васильев А.В.* Явление старения смоляных ходов и его значение для подсочки // Лесн. журн. – 1964. – № 6. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Иванов Л.И.* Биологические основы добывания терпентина в СССР. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1961.
4. *Кадочников Н.А.* О смолоаппарате лиственницы сибирской // Сб. тр. СибТИ. – Красноярск, 1964.
5. *Казанский А.С., Понамарев А.Н.* К анатомии смоляных ходов уральской сосны, ели и лиственницы // Тр. Уральского научно-лесопромышленного ин-та. – Свердловск: Гослестехиздат, 1932.
6. *Манаков В.А.* Подсочка лиственницы даурской с химическим воздействием: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Свердловск, 1975.
7. *Шатерникова А.Н.* Анатомическое исследование строения смолообразующей системы лиственницы // Исследования по лесному делу: Тр. ЦНИЛХИ. – Л., 1949.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 30.01.03

D.F. Kirillov

**Investigation of Stimulating Agents' Influence of Gum Yield
on Resin Apparatus of Siberian Larch**

Influence of gum yield stimulators (feed yeast, natrium salt 2M-4X, complex stimulator) on the quantity of pathological gum steps in the annual rings of Siberian larch has been studied both over streak and on inter-streak belt; various reaction of cambium on wounds at tapping Siberian larch with stimulators of gum yield has been set.

УДК 676.1.023.1

А.М. Кряжев

Кряжев Анатолий Максимович родился в 1949 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат химических наук, начальник отдела дирекции производственных инвестиций и совершенствования технологии ЗАО «Илим Палп Энтерпрайз». Имеет около 60 печатных трудов в области технологии получения целлюлозных полуфабрикатов различного назначения.



МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ ЦЕЛЛЮЛОЗУ ДЛЯ ИНТЕН- СИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

На основе теоретических представлений обоснована возможность интенсификации массообменных процессов за счет механического воздействия на целлюлозное волокно методами протирания или продавливания через отверстия как при отбелке целлюлозы, например пероксидом водорода, так и при подготовке макулатурного волокна.

Ключевые слова: целлюлозное волокно, вторичное волокно, волокнистая суспензия, механическое воздействие, отбелка, пероксид водорода, кинетика.

В 80-х годах прошлого столетия процессы отбелки целлюлозы и подготовки макулатурного волокна были интенсифицированы за счет разработки и внедрения насосов и смесителей, что позволило повысить концентрацию обрабатываемой целлюлозы с 3 ... 5 до 10 ... 15 %. В настоящее время технической основой для дальнейшего совершенствования производства целлюлозных полуфабрикатов может стать внедрение высокоэффективного промывного оборудования, в котором целлюлоза для дальнейшей переработки обезвоживается до концентрации 30 % и более.

Волокнистый полуфабрикат, получаемый при сульфитной или сульфатной варке растительного сырья, называется технической целлюлозой. В зависимости от способа варки техническая целлюлоза различается своими свойствами, в частности величиной удельной поверхности, которая включает как внешнюю, так и внутреннюю поверхность волокна. Под внутренней поверхностью понимают суммарную поверхность всех пор и капилляров в волокне.

Техническая целлюлоза поступает на обработку в виде волокнистой суспензии, которая представляет собой непрерывную сетку волокон, обладающую структурой и прочностью. Распределение волокон в сетке суспензии никогда не является однородным, локальные их скопления образуют так называемые флоккулы, которые в движущейся суспензии ведут себя как самостоятельные объекты. Чем выше концентрация суспензии, тем больше прочность и неоднородность сетки волокон. В диапазоне высокой концентрации (25 ... 40 %) меняется характер массовой суспензии, которая из волокон в жидкой фазе становится сеткой влажных волокон в газовой фазе. Та-

кую трехфазную систему обычно рассматривают как пористую среду, проницаемую для газа. При этом фильтрация газа через сетку волокон осуществляется значительно легче, чем через флокулы. Это видно по различной величине «аэродинамической» удельной поверхности, определенной методом фильтрации воздуха. Так, для флокул суспензии это порядка $50 \text{ м}^2/\text{кг}$, тогда как для индивидуальных волокон в 20 раз выше – примерно $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ [16]. Пористость слоя массовой суспензии высокой концентрации не одинакова по его высоте. По мере удаления от свободной поверхности в глубь слоя пористость его уменьшается и на определенной глубине становится равной нулю.

С точки зрения диффузионной кинетики процесс обработки целлюлозы химическими реагентами может протекать [12, 18] во внешне- и внутривнутридиффузионной или кинетической областях. Во внешнедиффузионной области наиболее медленной стадией процесса является движение реагента или продуктов реакции в объеме жидкости, окружающей волокно, во внутривнутридиффузионной области – движение реагента и продуктов реакции в порах и капиллярах внутри волокна, в кинетической области – химическое взаимодействие реагента с фрагментами остаточного лигнина на внешней и внутренней поверхностях целлюлозных волокон. Отбелка целлюлозы может протекать в любой из перечисленных областей, и это зависит от условий проведения процесса: концентрации суспензии, вида химического реагента и гидродинамического режима в реакционной зоне.

Известно, что преодоление внешнедиффузионных сопротивлений осуществляется при помощи перемешивания, целью которого является устранение неоднородности распределения химических реагентов в реакционной системе.

Для описания неоднородностей распределения реагента используют три масштаба [14]: макронеоднородности с размерами, сопоставимыми с размерами аппарата; неоднородности в масштабе волокна с размерами порядка размеров волокон и флокул; микронеоднородности, размеры которых сопоставимы с размерами пор и капилляров внутри волокна.

Макронеоднородности практически не возникают при правильном выборе точки ввода реагентов в поток массовой суспензии. Неоднородности в масштабе волокна устраняются при помощи достаточно интенсивного перемешивания суспензии. Полное устранение неоднородностей в масштабе волокна означает, что концентрация реагентов и продуктов реакции одинакова во всем объеме жидкости, окружающей волокно, включая его поверхность. Затраты энергии существенно зависят от концентрации суспензии, поскольку чем выше концентрация, тем прочнее сетка волокон, которая должна быть разрушена при перемешивании.

Для перемешивания целлюлозной суспензии средней концентрации, в частности с кислородом, созданы специальные смесители, обеспечивающие полное разрушение сетки волокон и приведение суспензии в псевдооживленное состояние, в котором она обладает свойствами ньютоновской жидкости. Создается турбулентный режим течения, величина турбулентных

пульсаций которого имеет одинаковый порядок с величиной волокон и флокул. Благодаря этому достигается тонкое диспергирование газообразного кислорода и его однородное распределение в жидкости, окружающей волокно.

При протекании процесса во внутридиффузионной области перенос реагентов и продуктов реакции происходит за счет молекулярной диффузии, обусловленной градиентом концентрации в порах и капиллярах волокна, размер которых и является мерой неоднородности распределения реагентов в микромасштабе. Из жидкости весь диффузионный поток проходит через внешнюю поверхность волокна. Поэтому величина внешней поверхности также является фактором, влияющим на конечную скорость процесса.

В работе [11] использовали для отбелики целлюлозу с различной степенью помола. Степень помола увеличивали до тех пор, пока интенсивность поглощения отбеливающего реагента не переставала изменяться. Это состояние считали показателем преодоления внутридиффузионных сопротивлений и перехода процесса отбелики в кинетическую область. Эксперимент [11], показал, что в этом случае скорость процесса отбелики целлюлозы выше на 15 ... 30 %, а удельный расход реагентов ниже на 15 ... 50 %. Полученные данные можно объяснить тем, что в результате размола значительная доля внутренней поверхности волокон стала внешней и места дислокации остаточного лигнина, ранее находящиеся в порах и капиллярах, оказались на внешней поверхности более доступными для реагентов. При этом отсутствует диффузия реагентов в объеме пор и капилляров волокна, и, следовательно, сокращается их расход на побочные реакции с уже растворенными фрагментами остаточного лигнина, диффундирующими в противоположном направлении.

Известно, что при отсутствии внешнедиффузионных сопротивлений процесс осуществляется во внутридиффузионной области только тогда, когда диффузия в порах и капиллярах внутри волокна протекает медленнее химической реакции на их поверхности. В противном случае скорость процесса будет определяться скоростью химической реакции.

В работе [13] проведена оценка диффузии ионов во внутреннем объеме волокна по электропроводности. Экспериментально найденное значение электропроводности волокна составило около 50 % от соответствующего значения в объеме жидкости. Данные показывают, что концентрация аниона пероксида и рН во внутреннем объеме волокна существенно ниже показателей вне волокна. Поскольку равновесная концентрация ионов, как было установлено [13], достигается в течение нескольких минут, то это нельзя объяснить диффузионными сопротивлениями. Объяснение этому явлению предложили на основе адсорбционной кинетики, по которой наблюдаемая разность концентраций обусловлена адсорбцией аниона пероксида на внешней и внутренней поверхностях волокна. Образовавшийся адсорбционный слой препятствует проникновению одноименного иона к внутренней поверхности и является причиной торможения процесса отбелики. Кроме того, авторы [13] предположили, что скорость отбелики также снижается из-за

прогрессирующего удаления с поверхности волокна адсорбированного аниона гидропероксида вследствие роста содержания кислых групп, образующихся в результате реакций.

Перемешивание целлюлозных суспензий низкой и средней концентрации с раствором отбеливающих реагентов позволяет устранить неоднородности в масштабе волокна, но не может воздействовать непосредственно на процессы массопереноса в порах и капиллярах внутри волокна [3]. Возможность воздействия на массоперенос внутри волокна появляется при обработке целлюлозных суспензий высокой концентрации.

Заметное улучшение качества целлюлозы, отбеленной при высокой концентрации массы, и экономия химикатов отмечены еще в начале прошлого века. Так, в 1921 г. был сконструирован горизонтальный отбеливающий аппарат Вольфа периодического действия, в котором с помощью шнек-пресса повышалась концентрация массы от 15 до 25 % [10]. Принцип перемешивания в данном аппарате был основан на периодическом сдавливании массы, которое приводило к отжиму реагента, а с прекращением действия давления жидкий реагент вновь поглощался массой. На протяжении всего отбельного процесса в условиях непрерывного перемешивания происходила постоянная циркуляция реагента. Кроме того, отмечалось положительное воздействие трения волокон в массе высокой концентрации на качество беленой целлюлозы. По разным оценкам экономия химикатов может составить около 20 % [15, 17]. При одинаковом расходе пероксида водорода его средняя концентрация в волокнистой суспензии с концентрацией 25 % будет в 3 раза выше, чем в суспензии с концентрацией 10 %.

Отбелка целлюлозы при высокой концентрации массы, как и в случае суспензии средней концентрации, потребует разрушения сетки волокон и возбуждения движения жидкой фазы относительно поверхностей волокон. Добиться этого за счет псевдооживления массы высокой концентрации, очевидно, невозможно. Перемешивание при высокой концентрации можно осуществить путем механического диспергирования сетки на отдельные волокна или создания условий, при которых целлюлозная масса подвергается деформациям сжатия и сдвига [4]. В последнем случае происходит разрушение сетчатой структуры суспензии и ее последующее пластическое течение. При этом значение напряжения может быть достаточно большим, чтобы вызвать деформацию самих волокон [4, 9]. Основную роль будет играть сдвиговая деформация, характеризуемая градиентом относительной скорости смещения слоев суспензии. Касательные напряжения, возникающие в этих слоях, при достаточной величине напряжений будут приводить к деформации волокон, что создает условия [4] для практически мгновенной доставки реагентов к внутренней поверхности волокон и поддержания высокой концентрации реагентов у реакционной поверхности в начале процесса. Последнее обстоятельство имеет большое практическое значение, поскольку процесс отбелки на промышленной установке проводится в две стадии: сначала перемешивание в динамическом смесителе (псевдооживление целлюлозной суспензии с разрушением сетки волокон происходит в тече-

ние 0,05 с [14]), а затем выдержка в отбельной башне при медленном движении суспензии (1 ... 4 ч). Вероятно, что в отбельной башне процесс лимитируется внешней диффузией, протекающей медленно. Поэтому продолжительность пребывания в отбельной башне существенно зависит от количества реагента, которое необходимо дополнительно доставить к реакционной поверхности целлюлозы для завершения процесса.

Вышеописанные условия механического воздействия [2] для перемешивания могут создаваться при продавливании суспензии через узкие отверстия или ее протирании между твердыми поверхностями, двигающимися с различной скоростью. Первый способ за рубежом был реализован в аппарате типа «Фротапалпер», в России – в аппарате АТ (аппарат трения); второй способ был реализован нами при создании нового аппарата для механохимической обработки целлюлозы (МХО) [1].

Обработка массы в аппаратах с рабочими органами, не имеющими режущих кромок, может найти применение не только при ее смешении с химическими реагентами, но и при обессмоливании сульфитной целлюлозы [4], переработке макулатуры и т.д. В частности, при исследовании аппарата МХО в качестве устройства, перемешивающего целлюлозу с химикатами, добавляли краситель, который однородно окрашивал массу волокон концентрацией 30 %. Кроме того, нами была изучена возможность использования аппарата МХО для роспуска макулатуры [6] и термодисперсионной обработки волокна [5]. На основании полученных положительных результатов этих исследований было предложено проводить все указанные процессы (роспуск, термодиспергирование и окрашивание) одновременно в одном аппарате [8]. В грубоизмельченную воздушно-сухую смесь книжной и журнальной (50 : 50) макулатуры [6] добавляли краситель и воду из расчета получения массы с концентрацией 25 ... 30 % и загружали в предварительно нагретый аппарат [1, 7]. Усилия сжатия и сдвига, воздействующие на фрагменты макулатуры, приводили к роспуску ее на волокна, разрушению их сетки и равномерному распределению красителя по всей поверхности волокна. Помимо этого, упругие воздействия в процессе обработки смоченных фрагментов макулатуры обеспечивают мгновенное насыщение водой клеточной стенки волокна [4], что предохраняет его от механической деструкции. За счет сил трения волокон между собой происходит отделение и диспергирование плавких включений [5], находящихся на их поверхности. Таким образом, за счет усилий сжатия и сдвига одновременно [8] может происходить эффективный роспуск макулатуры, диспергирование посторонних включений и окраска волокон. Таким образом, механохимическое воздействие, например, в аппарате МХО существенно упрощает технологическую схему и снижает производственные затраты на подготовку вторичного волокна.

В целях подтверждения обсужденных выше теоретических предпосылок интенсификации процесса отбеливания целлюлозы пероксидом водорода за счет использования усилий сжатия и сдвига совместно с А.В. Аввакумовой проведены исследования кинетики процесса отбеливания. В качестве приме-

ра рассмотрим данные, полученные при отбелке сульфатной целлюлозы из хвойных пород древесины пероксидом водорода для волокнистой суспензии средней (10 %) и высокой (25 %) концентраций. Перемешивание целлюлозы с реагентами осуществляли на специально разработанном лабораторном шнек-прессе. Кинетические кривые отбелки целлюлозы при средней и высокой концентрациях целлюлозной суспензии (рис.1) невозможно полностью объяснить с позиций диффузионной кинетики и требуется их интерпретация с точки зрения адсорбционной кинетики, согласно которой скорость гетерогенного химического процесса прямо пропорциональна степени заполнения поверхности, где идет химический процесс.

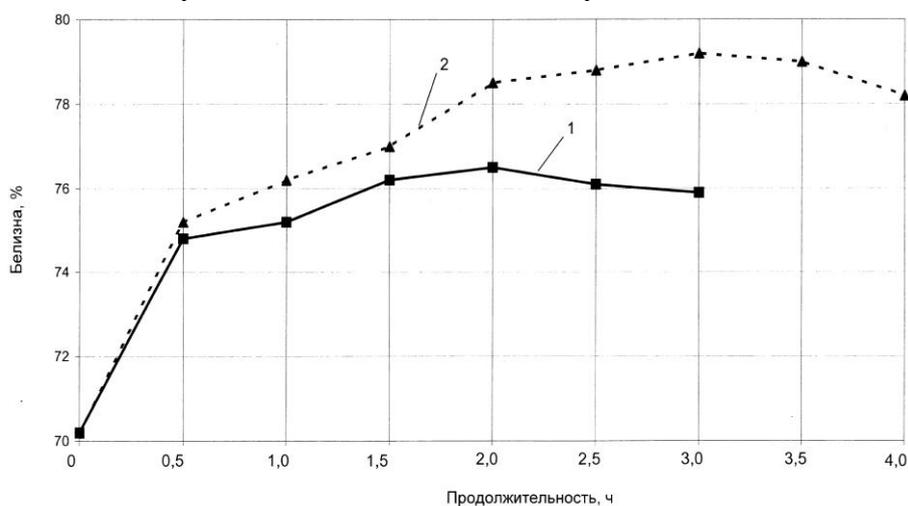


Рис. 1. Изменение показателя белизны сульфатной предгидролизованной вискозной целлюлозы из хвойных пород древесины в процессе отбелки пероксидом водорода при средней (1) и высокой (2) концентрациях суспензии (расход H_2O_2 – 15 кг/т, температура 75 °С)

Сходный характер кинетических кривых при отбелке целлюлозной суспензии средней и высокой концентрации [9] указывает на подобие механизмов реакций в обоих случаях. Однако в начальный период времени скорость прироста белизны у суспензии высокой концентрации больше скорости отбелки при средней концентрации в 1,6 раза. С точки зрения адсорбционной кинетики, в начальный период степень заполнения реакционной поверхности отбеливающим реагентом при высокой концентрации выше, чем при средней. Заметим, что механическое воздействие на массу высокой концентрации осуществляют в первые секунды процесса. Следовательно, доставка дополнительного количества реагента (по сравнению с массой средней концентрации) во внутренний объем волокна в начале процесса обеспечивалась механическим воздействием – импульсом упругой деформации волокна [4].

В точке перегиба I на кинетических кривых (рис. 1) наблюдается падение скорости прироста белизны. Это может быть связано с тем, что от-

белые химикаты в порах и капиллярах волокна расходуются, в том числе, на побочные реакции, и тогда лимитирующей стадией становится диффузия реагентов. Вышесказанное косвенно подтверждается изменением в процессе отбеливания остаточного содержания реагентов в реакционной системе (рис. 2). Другое возможное объяснение торможения прироста белизны в процессе отбеливания может быть связано как со снижением площади поверхности остаточного лигнина, так и со степенью ее заполнения молекулами пероксида водорода в конкуренции с возрастающим количеством продуктов реакции.

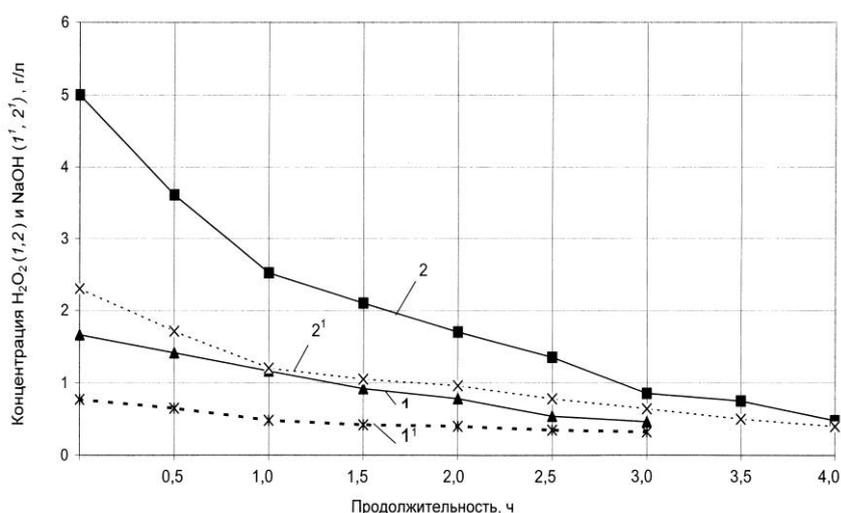


Рис. 2. Изменение концентрации пероксида водорода (1, 2) и гидроксида натрия (1', 2') при отбеливании сульфатной вискозной целлюлозы из хвойных пород древесины присредней (1, 1') и высокой (2, 2') концентрациях суспензии

7

Отбеливание целлюлозы пероксидом водорода продолжают до содержания в реакционной системе не менее 1 г остаточного H₂O₂ в литре, поскольку при более низком его содержании начинают преобладать процессы взаимодействия NaOH с целлюлозой, в том числе с хромофорными группами остаточного лигнина, что и приводит к снижению ее белизны. Поэтому падение белизны целлюлозы в точке перегиба II (см. рис. 1) объясняется низким остаточным содержанием пероксида водорода, что и подтверждают данные, представленные на рис. 2.

Результаты исследований отбеливания целлюлозы пероксидом водорода с применением механической обработки суспензии высокой концентрации в процессе перемешивания свидетельствуют о том, что как увеличение концентрации реагента в реакционной системе, так и снятие внутридиффузионных сопротивлений оказывают определенное интенсифицирующее воздействие на процесс. Влияние адсорбционного механизма на отбеливание целлюлозы требует тщательного подбора количества используемых в реакционной системе гидроксида натрия и силиката натрия.

В ходе проведенных нами исследований установлено молярное соотношение H_2O_2 и NaOH, которое для отбеливания целлюлозы при средней и высокой концентрациях суспензии составляет соответственно 1 : 1 и 4 : 1, что совпадает с литературными данными [15]. Это сокращает расход гидроксида натрия и повышает экономическую эффективность производства белимой целлюлозы.

В данной статье рассмотрены только некоторые примеры использования механохимического воздействия при обработке технической целлюлозы. Исследования в данном направлении будут продолжены, что, безусловно, откроет новые возможности для интенсификации других технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1416574 СССР. Аппарат для обработки целлюлозосодержащих материалов / А.И. Глазунов, А.Н. Беров, А.М. Кряжев и др. – Оpubл. 15.08.88. Бюл. № 30 // Открытия. Изобретения. – 1988.
2. *Барамбойм Н.К.* Механохимия высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1971. – 364 с.
3. *Калинин Н.Н.* Исследование кинетики процессов взаимодействия волокнистых материалов с жидкими реагентами // Журн. прикл. химии. – 1984. – № 11. – С. 2538–2542.
4. *Кряжев А.М.* Физические и химические аспекты механохимической обработки целлюлозы – основа интенсификации технологических процессов // Сб. пленарных докл. 5-й междунар. конф. ПАП-ФОР-98, 16-17 нояб. 1998 г. – СПб., 1998. – С. 189–198.
5. *Кряжев А.М.* и др. Исследование термодисперсионной обработки макулатурной массы в аппарате МХО / А.М. Кряжев, Ф.В. Шпаков, А.И. Глазунов и др. // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1998. – № 3-4. – С. 22–23.
6. *Кряжев А.М.* и др. Исследование возможностей переработки ламинированной макулатуры / А.М. Кряжев, Ф.В. Шпаков, К.В. Быцан и др. // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1998. – № 5-6. – С. 29–31.
7. *Кряжев А.М.* и др. Возможности переработки влагопрочного макулатурного сырья с использованием отечественного оборудования / А.М. Кряжев, Е.И. Васильева, Ф.В. Шпаков и др. // Сб. информ. сообщений 5-ой междунар. конф. ПАП-ФОР-98, 16-17 нояб. 1998 г. – СПб., 1998. – С. 74–75.
8. *Кряжев А.М.* и др. Исследования и технические решения в области отбеливания сульфитной целлюлозы для бумаги // А.М. Кряжев, Ф.В. Шпаков, Л.К. Звездина и др. // Лесн. журн. – 2000. – № 4. – С. 52–65. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Кряжев А.М., Шпаков Ф.В., Глазунов А.И.* Роспуск макулатуры и дисперсионная обработка макулатурного волокна с использованием безножевого механического воздействия // Сб. информ. сообщений 7-й междунар. конф. ПАП-ФОР-02, 18-19 нояб. 2002 г. – СПб., 2002. – С. 74–75.
10. Отбеливание целлюлозы / Пер. с англ. В.М. Сперанского. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1957. – 325 с.
11. *Пономарев И.О.* и др. Интенсификация процесса отбеливания целлюлозы во внутридиффузионной области / И.О. Пономарев, В.М. Крюков, Т.А. Лумет, Х.В.

Лойт // Совершенствование технологии производства сульфитной и сульфатной целлюлозы: Сб. науч. тр. ВНИИБ. – Л., 1988. – С. 114–121.

12. Пономарев И.О. Природа процесса массопередачи при обработке целлюлозы кислородом // Бум. пром-сть. – 1990. – № 12. – С. 23–26.

13. Been J. A novel approach to kinetic modeling of the hydrogen peroxide brightening of mechanical pulp // Tappi J. – 1995. – Vol. 78, N 8. – P. 144–151.

14. Bennington C.P.J., Kerekes R.J., Grace J.R. Mixing in pulp bleaching // Journal of Pulp and Paper Science. – 1989. – Vol. 15, N 5. – P. J186–J195.

15. Dence C.W., Reeve D.W. Pulp bleaching. Principles and Practice. – Atlanta, Georgia: TAPPI PRESS, 1996. – 868 p.

16. Garner R.G. Kerekes R.J. Aerodynamic characterization of dry wood pulp // Transactions, Tech. Sect. – CPPA. – 1978. – Vol. 4, N 3. – P. TR82–TR89.

17. Kappel J., Grengy M., Kittel F.P. TCF bleaching for sulphite pulps // Pulp and Paper Canada. – 1997. – Vol. 98, N 7. – P.48–51.

18. Karter E.M., Bobalek E.G. The role of physical-chemical rate phenomena in wood pulp chlorination // TAPPI. – 1971. – Vol. 54, N 11. – P.1880–1882.

ЗАО «Илим Палп Энтерпрайз»

Поступила 2.03.04

A.M. Kryazhev

Mechanical-chemical Effect on Pulp for Technological Processes Enhancement

Enhancement of mass-exchange processes through mechanical effect on fiber by methods of rubbing and forcing through holes both in pulp bleaching by, for example, hydrogen peroxide, and in the processes of preparing waste paper has been substantiated based on theoretical concepts.

УДК 630*425

П.Н. Балакишин

Балакишин Павел Николаевич родился в 1936 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт и в 1993 г. школу менеджеров США, Лауреат Государственной премии СССР в области науки и техники, заслуженный работник лесной промышленности РФ, академик Инженерной академии РФ, почетный доктор АГТУ, директор Института повышения квалификации и переподготовки кадров АГТУ. Имеет более 30 печатных работ в области технологии производства целлюлозы и охраны окружающей среды.



**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ РФ**

Рассмотрены направления повышения экологической безопасности в целлюлозно-бумажной отрасли России.

Ключевые слова: сточные воды, газовые выбросы, примеси в растворенном и взвешенном состоянии, выбросы вспомогательных производств, атмосфера, окружающая среда, хлорорганические соединения, адсорбируемые органические галогены, экологическая опасность.

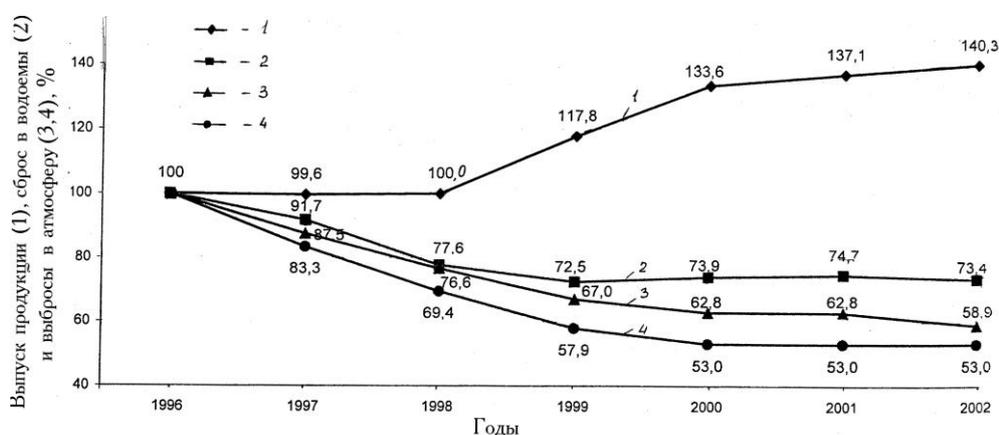
Целлюлозно-бумажная промышленность относится к числу отраслей народного хозяйства, сточные воды и газовые выбросы которой составляют значительную долю в загрязнениях водного и воздушного бассейнов.

Вода используется в значительных количествах на всех стадиях технологического процесса целлюлозно-бумажного производства. Во многих случаях количество и качество используемой воды определяют вид продукции, ее качество, объемы производства.

Более 90 % сточных вод ЦБП требуют очистки от примесей, содержащихся в них в растворенном и взвешенном состояниях. Газовые выбросы основного и вспомогательных производств загрязняют воздушное пространство рядом с комбинатами. Кроме того, сжигание топлива для выработки технологического пара и электроэнергии связано с выбросами в атмосферу золы и сернистого газа.

Изменение выпуска промышленной продукции и количества сбросов и выбросов, а также удельный вес сбросов в водные объекты в 2002 г. по отраслям промышленности (данные Госкомстата РФ) приведены на рисунке и в таблице.

В настоящее время экологической проблемой номер один целлюлозно-бумажной промышленности России являются хлорорганические соединения, образующиеся, прежде всего, при отбелке целлюлозы с применением хлора и его соединений. В общественном мнении сформировалось убеждение об исключительно высокой экологической опасности хлорорганических соединений. Этому способствует то обстоятельство, что в России до



Динамика выпуска промышленной продукции (1), сбросов в водные объекты (2) и выбросов в атмосферу (3, 4) в лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной отраслях промышленности по отношению к 1996 г.: 3 – общее количество загрязняющих веществ; 4 – количество условно-загрязняющих веществ

Удельный вес сбросов в водные объекты по отраслям промышленности (2002 г.)

Отрасль промышленности	Сброс	
	млн т	%
Лесная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная	1417	24
Химическая, нефтехимическая	1303	21
Электроэнергетическая	768	12
Металлургическая:		
черная	686	11
цветная	421	7
Машиностроительная	473	8
Угольная	395	6
Нефтеперерабатывающая	149	2
Стройматериалов	126	2
Пищевая	90	1
Легкая	70	1
Прочие	278	5

настоящего времени не установлена научно-обоснованная норма сброса хлорорганических соединений со сточными водами. В 1998 г. Архангельским государственным техническим университетом, Институтом экологических проблем Севера УрО РАН и ВНИИБом начаты исследования в целях получения экспериментальных данных для научного обоснования норматива на показатель АОХ (адсорбируемый органический хлор).

На государственном уровне предусмотрено разработать нормативные акты, регулирующие безопасное воздействие на окружающую среду. Проблемы повышения экологической безопасности лесопромышленного комплекса будут решаться в 2002 – 2005 гг. по следующим основным направлениям:

широкое внедрение экологически чистых и ресурсосберегающих технологий, современных машин и оборудования, эффективных химикатов и материалов;

повышение эффективности очистки сточных вод и пылегазовых выбросов с применением методов анаэробного окисления, мембранной технологии, озонирования, каталитического окисления парогазовых выбросов и др.

Охране окружающей среды и решению экологических проблем в целлюлозно-бумажной промышленности придается огромное значение. Ни одно предприятие ЦБП не работает без биологической очистки сточных вод. Крупные предприятия отрасли, вложив значительные средства в передовые технологии и охрану окружающей среды в 2002 – 2005 гг., завершат начатое техническое и технологическое обновление, что повысит экологическую эффективность производства.

Разработана комплексная программа перепрофилирования Байкальского ЦБК. Государственная экологическая экспертиза одобрила эту программу и рекомендовала к реализации ее первый этап – внедрение замкнутой системы водопотребления в 2002 – 2005 гг. После реализации этого этапа практически прекратится сброс сточных вод в озеро Байкал.

В 2010 – 2015 гг. на крупных целлюлозно-бумажных предприятиях (на Архангельском и Котласском ЦБК это уже делается сейчас) предусмотрено перейти на бесхлорную отбелку целлюлозы; осуществить замкнутую систему водопотребления; уменьшить объемы сточных вод за счет переработки сульфитных щелоков, снижения сульфидности варочного щелока; снизить вредные газовые выбросы от энерготехнологических котлов путем перевода их на природный газ, бессернистый мазут, древесные отходы. Инвестиции в охрану окружающей среды будут увеличены за рассматриваемый период в 3,5 раза.

При благоприятном развитии финансово-экономической ситуации и применении государственных нормативных актов по охране окружающей среды появится возможность значительного повышения экологической безопасности предприятий целлюлозно-бумажной отрасли.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 2.03.04

P.N. Balakshin

Environmental Problems in Pulp-and-paper Industry of RF

Directions of enhancing environmental safety in pulp-and-paper industrial branch of Russia are considered.



УДК 630*36.004:518.5

А.В. Воронин

Воронин Анатолий Викторович родился в 1959 г., окончил в 1983 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и кибернетики, первый проректор ПетрГУ. Имеет более 80 печатных работ в области математического моделирования систем управления в лесопромышленном комплексе.



ПРИКЛАДНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛПК

Предложена экономико-математическая модель верхнего уровня для решения задачи планирования работы группы основных производств ВИС ЛПК. Рассмотрены прикладные задачи, связанные с выбором технологий лесозаготовок, транспортировки, переработки древесины, развития производственной базы и инфраструктуры.

Ключевые слова: лесопромышленный комплекс, ВИС, транспортно-производственные задачи, планирование и управление материальными потоками, экономико-математические модели.

Рациональное использование материальных ресурсов и эффективная организация материальных потоков – важнейшие задачи в управлении и планировании деятельности вертикально-интегрированных структур (ВИС) ЛПК. Их решение позволяет использовать экономические методы при организации взаимодействия предприятий ВИС ЛПК на основе расчета оценок эффективности работы, определения размера платы за пользование ресурсами и оценок сырьевых ресурсов, контролируемых предприятиями ВИС. Необходимо организовать использование общих материальных ресурсов ВИС таким образом и в таких объемах, чтобы не только удовлетворялись потребности в настоящее время, но и обеспечивалось сохранение и воспроизводство их для использования в будущем.

Наиболее актуальными задачами, стоящими перед ВИС ЛПК, являются организация рационального размещения и функционирование системы обеспечивающих предприятий и производств, оптимизация управления межрегиональными, региональными и внутренними материально-

транспортными потоками. В процессе планирования требуется решить комплекс взаимосвязанных многоэтапных транспортно-производственных задач (МТПЗ), основу которых составляют задачи двух типов:

баланса и распределения ресурсов (производственные компоненты);
оптимизации транспортных потоков (транспортные, потоковые компоненты).

Математические модели и методы решения задач, обсуждаемых в статье, представлены в работах [1, 3, 4].

Настоящая статья служит продолжением работы [2], в ней рассмотрены прикладные задачи планирования и управления предприятиями ВИС, связанные с выбором технологий лесозаготовок, транспортировки, переработки древесины, развития производственной базы и инфраструктуры ВИС ЛПК. Первоначально рассматривается общая задача планирования работы группы основных производств ВИС ЛПК и формулируется математическая модель верхнего уровня. Далее приводятся варианты МТПЗ, связанные с планированием деятельности лесозаготовительных (ЛЗП) и лесоперерабатывающих (ЛПП) предприятий ВИС ЛПК.

Общая схема формирования МТПЗ ВИС ЛПК

Рассмотрим общую схему формирования МТПЗ для задачи планирования работы группы основных производств ВИС ЛПК, включая все фазы производства от заготовки древесины до изготовления конечной продукции (гофротара, бумажные мешки, тетради, обои, фанера, мебель и др.) и доставки потребителю.

Модели транспортной задачи и планирования производств чередуются. Считая транспортные потоки однородными, рассмотрим комплекс задач планирования для ВИС ЛПК, включающий совокупность предприятий:

m_1 – заготовителей древесины;

m_2 – по рубке технологической щепы;

m_3 – по варке целлюлозы;

m_4 – по производству картона;

m_5 – по изготовлению гофротары в объемах y^1, y^2, y^3, y^4 и y^5 ;

m_6 – заказчиков, связанных пятью транспортными задачами:

вывозки древесины (переменные x_{ij}^1);

доставки технологической щепы (переменные x_{ij}^2);

транспортировки целлюлозы (переменные x_{ij}^3);

перевозки картона (переменные x_{ij}^4);

доставки готовой продукции потребителям (переменные x_{ij}^5).

Если объемы выпуска продукции предприятий задаются значениями $y_i^1 (i = 1, \dots, m_1)$, $y_i^2 (i = 1, \dots, m_2)$, ..., многоэтапная транспортно-

производственная задача может быть записана как задача максимизации дохода комплекса производств с учетом транспортных расходов:

$$\sum_{q=1}^5 (\sum_{i=1}^{m_q} c_i^q y_i^q - \sum_{i=1}^{m_q} \sum_{j=1}^{m_{q+1}} \sigma_{ij}^q x_{ij}^q) \rightarrow \max;$$

$$\sum_{j=1}^{m_q} x_{ij}^q = \alpha_i^q y_i^q, \quad i = 1, \dots, m_q; \quad q = 1, \dots, 5$$

(уравнения баланса доставки и переработки продукции каждого производственного этапа);

$$\sum_{i=1}^{m_{q+1}} x_{ij}^q = y_j^{q+1}, \quad j = 1, \dots, m_{q+1}; \quad q = 1, \dots, 4$$

(уравнения баланса отгрузки и получения продукции производственных этапов);

$$\sum_{i=1}^{m_5} x_{ij}^5 \geq b_j^6, \quad j = 1, \dots, m_6$$

(требование обеспечения потребителей готовой продукцией);

$$d_i^q \leq y_i^q \leq D_i^q, \quad i = 1, \dots, m_q; \quad q = 1, \dots, 5$$

(учет границ производственной мощности предприятий всех уровней переработки);

$$x_{ij}^q \geq 0; \quad i = 1, \dots, m_q; \quad j = 1, \dots, m_{q+1}; \quad q = 1, \dots, 5.$$

Здесь c_i^q – доход от производства единицы продукции предприятия $i = 1, \dots, m_q$ фазы переработки $q = 1, \dots, 5$;

σ_{ij}^q – затраты транспортировки единицы передела $q = 1, \dots, 5$;

b_j^6 – требуемые объемы готовой продукции;

d_i^q, D_i^q – нижняя и верхняя границы;

α_i^q – коэффициент объема выработки продукции предприятиями.

Представленная модель является моделью верхнего уровня планирования и управления ВИС ЛПК. Положение данной модели в классе МТПЗ для ВИС ЛПК характеризуется наибольшей степенью агрегации ее параметров и неизвестных переменных. Структура класса МТПЗ позволяет наращивать и усложнять данную модель или ее части, дополняя их более детализированными транспортными и/или производственными модулями, соответствующими реальным производственным процессам. Рассмотрим ряд примеров прикладных задач для планирования работы предприятий ВИС ЛПК.

Базовая линейная транспортно-производственная задача

Базовой транспортно-производственной моделью размещения лесозаготовительных (ЛЗП) и лесоперерабатывающих (ЛПП) предприятий применительно к ВИС ЛПК с учетом затрат перевозки сырья является хорошо знакомая транспортная задача в сетевой или матричной постановке [5]. В этой задаче учитываются имеющиеся (без возможного расширения) мощности ЛЗП, в предположении однородности технологии лесозаготовок или лесопереработки и структурных свойств сырья. Не учитываются также транс-

портные средства, используемые для перевозки сырья. В результате получается транспортная задача, для решения которой можно использовать весьма эффективные методы [5].

Решая задачу, можно получить:

рекомендуемые объемы рубок по каждому ЛЗП в пределах производственных мощностей;

рекомендуемые маршруты и объемы перевозки лесоматериалов – потоки по дугам графа, не превосходящие пропускную способность маршрута;

транспортные оценки пунктов заготовки ЛЗП и пунктов потребления – лесоперерабатывающих предприятий региона, которые отражают затраты на перевозку лесопродукции потребителям региона и являются объективными оценками размещения производств в регионе;

транспортные оценки маршрутов перевозки, которые можно использовать для расчета экономической эффективности ремонта и строительства лесовозных дорог, приобретения дополнительных транспортных средств или других способов повышения пропускной способности дорог;

эффективность строительства новых транспортных маршрутов.

Полученные двойственные оценки служат содержательным и обоснованным средством расчета дифференциальных показателей, необходимых для выравнивания условий хозяйствования и выработки стратегии развития лесозаготовительных предприятий ВИС ЛПК.

Однако данная модель не может адекватно описать сложные производственные процессы в ЛПК, поэтому практический интерес представляют варианты обобщения этой задачи, исследованные автором.

1. Многопродуктовая транспортно-производственная задача отличается от базовой отказом от предположения об однородности потоков лесосырья. Поскольку технологии лесозаготовок и комплексной переработки древесины исключают заготовку одного вида сырья, возникает модель, в которой транспортные потоки разделяются по его видам.

2. Вариантная транспортно-производственная задача основана на предположении о возможности выбора лесозаготовительными и лесоперерабатывающими предприятиями нормативов выработки и потребления лесосырья. Действительно, ЛЗП располагают возможностью варьировать участки лесозаготовок, различающиеся структурой лесосеки по сортам и породам древесины, и выбирать виды рубки, которые влияют на выход лесопродукции. В модели используется понятие технологии, определяемой рядом параметров, среди которых производительность машин, оборудования и персонала, затраты на заготовку 1 м³ древесины и структура получаемого сырья (доля древесины различных пород и определенного качества в единице заготовленных круглых лесоматериалов). Цель этой задачи – поиск оптимального сочетания технологий предприятий ЛПК в целом.

3. Актуальность задачи реконструкции и строительства предприятий связана с тем, что ВИС как единая экономическая система имеет возмож-

ность распределять капиталовложения в инфраструктуру производственных мощностей. Таким образом, в целевой функции появляются нелинейные компоненты, а задача приобретает свойства задачи размещения предприятий.

4. Используя лесовозные дороги, построенные 20 ... 30 лет назад, ВИС ЛПК должна строить и новые дороги. Транспортная задача при этом становится нелинейной.

5. ВИС ЛПК располагает финансовыми средствами для технического перевооружения парка транспортных средств (ТС). В результате появляется принципиально новая возможность выбора и специализации ТС для выполнения тех или иных хозяйственных операций. Задача усложняется по целому ряду причин. К ним относятся:

необходимость сопоставления эксплуатационных затрат по использованию новой техники и расходов на ее приобретение;

ограничения на объемы перевозки с использованием наиболее эффективных ТС;

требования учета затрат, связанных с возможной перевалкой грузов.

Рассмотрим некоторые из перечисленных вариантов задачи.

Многопродуктовая транспортно-производственная задача

В данной задаче потоки лесосырья неоднородны: лесопильное предприятие интересуется исключительно пиловочником, фанерное – кряжи, целлюлозно-бумажное – балансы.

Транспортные потоки разделяются по видам перевозимого сырья, поэтому данная МТПЗ характеризуется группой транспортных модулей, объединенных объемами лесозаготовок. Другая группа ограничений, связывающих транспортные задачи, определяется пропускными способностями маршрутов перевозки сырья.

Основная цель решения этой задачи – найти оптимальное соответствие поставщиков древесины и ее потребителей с учетом требуемой структуры древесного сырья, транспортных затрат на перевозки различных видов древесины, а также экономических оценок технологий заготовки (включая использование специализированной техники, видов рубок) и структуры лесных ресурсов.

В результате решения данной задачи будут получены:

рекомендуемые интенсивность использования технологий и общие объемы лесозаготовок по каждому предприятию;

закрепление поставщиков сырья за потребителями;

маршруты и объемы перевозок древесины каждого вида;

оценки отдельных технологий предприятия и пунктов производства в целом;

транспортные оценки маршрутов перевозок отдельно по каждому виду сырья.

Вариантная транспортно-производственная задача

В данном варианте ЛЗП и ЛПП имеют возможность выбора в определенных пределах продуктивного вектора. Действительно, ЛЗП могут варьировать участки рубки, различающиеся породно-сортовой структурой лесосечного фонда, а также выбирать виды рубок леса (сплошная, проходная, санитарно-выборочная и пр.), чтобы влиять на выход сортиментов.

В зависимости от породного состава, возраста и прочих характеристик древостоев, видов рубок, состояния техники, почвенно-грунтовых условий и инфраструктуры каждое лесозаготовительное предприятие использует свои технологии. С точки зрения математической модели, технология характеризуется рядом наиболее значимых параметров, среди них производительность машин, оборудования и персонала, затраты на заготовку 1 м^3 , сортиментная структура и др.

Введем важное для дальнейшего изложения понятие технологии лесозаготовок. Ему соответствует конкретный вид рубки, набор используемых технических средств и т. д. (например, скандинавская, отечественная технология). «Наполнение» понятия технологии и затраты на заготовку определяют специалисты лесной отрасли.

В рассматриваемой задаче для каждого ЛЗП необходимо установить наиболее подходящие множества технологий и их интенсивности, обеспечивающие запросы потребителей, а транспортные потоки рассчитывать раздельно по видам заготавливаемого сырья. Сходная ситуация характерна и для ЛПП. К примеру, выбор продуктивного вектора предприятия ЦБП может быть обусловлен соотношением объемов балансов и пиловочника. Все это свидетельствует о возможности выбора технологий работы предприятий ЛПК, которые должны быть учтены в математических моделях.

В этой задаче не учитываются затраты, связанные с начальным обеспечением технологии, например с закупкой оборудования. Эти затраты отличаются от эксплуатационных тем, что осуществляются единовременно и не зависят от объема производства.

Задача реконструкции действующих и строительства новых предприятий (производств)

В рассматриваемом варианте учитываются имеющиеся мощности ЛЗП, а также возможности модернизации или реконструкции части предприятий и даже строительства новых объектов. Задача возникает в условиях, когда проведено обследование лесного фонда и инфраструктуры региона, подготовлены проекты развития производства. Обычно при этом известны возможное приращение проектной мощности предприятия, капиталовложения, необходимые для реализации проекта и ожидаемые эксплуатационные затраты.

Транспортная часть этой задачи аналогична предшествующей, при этом целевая функция должна отражать как затраты на заготовку и транспортировку сырья (пропорционально объемам), так и капиталовложения,

связанные с расширением или модернизацией производства. Капитальные (разовые) и текущие (пропорциональные объемам производства) затраты дисконтируются.

Решение этой задачи позволяет дополнительно получить:
перечень ЛЗП, рекомендуемых для реконструкции;
план распределения капиталовложений в предприятия ВИС ЛПК;
оценки перспективности разработки участков лесного фонда и соответствующие рекомендации по планированию стратегии развития лесозаготовок в ВИС ЛПК или лесопромышленном регионе.

Задача легко обобщается на большой период, что позволяет отнести ее к числу моделей перспективного развития ВИС.

Характеризуя рассматриваемую задачу как МТПЗ, необходимо отметить несколько более сложную структуру ее производственной части, которая определяется несколькими управляемыми факторами. В однопродуктовом варианте в состав этой задачи входит единственная транспортная компонента, в многопродуктовом – по числу видов древесного сырья.

Не составляет проблемы обобщение этой модели в случаях:
модернизации, реконструкции и строительства не только лесозаготовительных, но и лесоперерабатывающих предприятий;
выбора одного или нескольких вариантов из множества проектов строительства, реконструкции или модернизации предприятия ВИС ЛПК;
внедрения одной или группы новых технологий работы ЛЗП, которые потребуют строительства, реконструкции сооружений или приобретения новых технических средств и оборудования.

*Задача выбора транспортных средств перевозки продукции
с учетом ее перевалки*

В этой задаче учитываются только имеющиеся мощности ЛЗП. Среди управляемых факторов, кроме объемов и маршрутов, рассматриваются способ организации перевозок и используемый транспорт. Вывозка может осуществляться одним или несколькими транспортными средствами, поэтому целевая функция отражает затраты, связанные с погрузкой и перевозкой, а также перевалкой и разгрузкой древесины.

Решение этой задачи позволяет получить, кроме базовой, следующую информацию:

выбор транспортных средств для вывозки древесины по имеющимся маршрутам и определение объемов погрузки – выгрузки;
определение объемов и выбор пунктов перевалки древесины в ВИС ЛПК.

Решение задачи дает рекомендации по использованию определенных видов транспортных средств, выбору пунктов перевалки древесины, а также оценки экономических показателей эффективности транспортных средств. Несколько модифицируя условия задачи, можно получить весьма полезную информацию о целесообразности реконструкции или строительства новых транспортных магистралей.

Другой вариант этой задачи связан с оптимизацией заготовки и транспортировки древесины с учетом сезонности. Действительно, многие ЛЗП Севера вывозят древесину по зимним дорогам. При этом стоимость сезонной заготовки и доставки древесины может колебаться в широких пределах, что дает основание рассчитывать на значительный экономический эффект от внедрения задачи.

Рассмотренные задачи, как правило, характеризуют один-два этапа производства и один – транспортировки. Используя эти компоненты, можно формулировать более сложные задачи, добиваясь необходимого уровня адекватности реальным производственным процессам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов А.Ф. и др. Оптимизация в планировании и управлении предприятиями регионального лесопромышленного комплекса / А.Ф. Булатов, А.В. Воронин, В.А. Кузнецов и др. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 228 с.
2. Воронин А.В. Многоэтапные задачи планирования и управления материальными потоками в вертикально-интегрированных структурах лесопромышленного комплекса // Лесн. журн. – 2003. – № 2-3. – С. 123–133. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Воронин А.В., Кузнецов В.А. Математические модели и методы в планировании и управлении предприятием ЦБП. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 256 с.
4. Воронин А.В., Шегельман И.Р. Интегрированные структуры в лесной промышленности. – СПб.: Изд-во СПбЛТА, 2003. – 160 с.
5. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1977. – 352 с.

Петрозаводский государственный университет

Поступила 10.02.04

A.V. Voronin

Applied Transport-production Tasks of Planning Work of Forest-industrial Companies

Economic-mathematical model of upper level has been suggested for solving a task of work planning for main productions of vertical-integration structure of forest industry. Applied tasks related to selection of forest-harvesting technologies, transporting, wood processing, production basis and infrastructure development are considered.

УДК 630*36.004:518.5

В.А.Кузнецов

Кузнецов Владимир Алексеевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Ленинградский государственный университет, кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной математики и кибернетики Петрозаводского государственного университета, заслуженный деятель науки Республики Карелия. Имеет свыше 100 печатных трудов в области математического моделирования систем управления в лесопромышленном комплексе.



ЗАДАЧИ РАСКРОЯ И КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены основные особенности задач раскроя и комплектования материалов, наиболее часто используемые в производственных процессах в ЦБП.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажный комбинат, задачи раскроя материалов, задачи комплектования материалов, математические модели.

Прикладные задачи поиска оптимального плана раскроя и комплектования материалов чрезвычайно разнообразны, поскольку эти технологические операции используются в различных производствах лесного комплекса, особенно часто в ЦБП.

Следуя работам [3, 4], определим задачу раскроя как поиск наиболее выгодного способа размещения определенного набора деталей (предметов раскроя) на объектах материала (объектах раскроя). Но поскольку любой ресурс, включая финансовые средства или промежуток времени, можно считать своеобразным материалом, подлежащим раскрою – делению на части, задачу следует конкретизировать. Исследование объектов и предметов раскроя, способов их размещения, критериев эффективности позволяет точнее сформулировать содержание данных задач и классифицировать по определенным признакам.

Известный способ классификации моделей раскроя и упаковки [7], используемый многими авторами, недостаточно полно отражает специфические особенности ЦБП, в частности связи между объектами и предметами раскроя и многочисленные дополнительные ограничения, обусловленные технологией.

Несмотря на то, что задача раскроя не всегда предполагает физическое деление на части, ее логично связать с определенными геометрическими объектами. Независимо от их реальной формы и физических характеристик, следуя технологии производственного процесса, в математической модели могут рассматриваться один, два или три размера объектов и предметов раскроя (длина, ширина и высота). Сложность и метод решения задачи во многом определяются размерностью объекта: это может быть отрезок (одномерный предмет), плоская (конечная или бесконечная) фигура или

объемное тело. Полезно также уточнить формы объектов и предметов раскроя. Для задач, связанных с планированием раскроев в ЦБП, характерны симметричные фигуры: прямоугольники, круги, параллелепипеды, цилиндры.

Конкретизация задачи означает уточнение размеров фигур, они могут быть фиксированными или переменными, конечными или бесконечными. К примеру, прямоугольник имеет два размера: длину и ширину, хотя при расчете диаметра съема тамбура БДМ длина намотанного на него бумажного полотна – величина переменная. При производстве изделий из гофрокартона или листовой целлюлозы предметы раскроя – прямоугольники заданных размеров, а объект (полотно гофрокартона) – полоса, длину которой удобно считать бесконечной. Размеры плоской или пространственной фигуры соответствуют ее осям. Технология раскроя обычно связана с ориентацией этих осей в некоторой системе координат.

Перечень параметров предмета раскроя не ограничивается описанием его геометрических свойств. В математической модели могут быть использованы и другие числовые характеристики: физические свойства (плотность, масса), экономические показатели (рентабельность продукции, доход от ее продажи и др.).

Можно говорить о раскрое:
единственного объекта;
заданного количества объектов одного типоразмера;
неизвестного количества объектов одного типоразмера;
объектов некоторого множества типоразмеров, причем количество экземпляров объектов каждого вида может быть известным, произвольным или определяться границами.

Математические модели и методы решения задач раскроя существенно зависят от выбранного варианта, каждый из которых сложнее предшествующих, поскольку является их обобщением. При таком подходе расширяется возможность выбора целевой функции.

В первом варианте раскрой единственного объекта можно представить как последовательный процесс поочередного выкраивания предметов или деления этого объекта на части, из которых в дальнейшем будут получены заготовки. Назовем эту задачу построением оптимального плана раскроя. В остальных вариантах планирование раскроя каждого объекта неотделимо от раскроев оставшихся объектов.

В наиболее простом случае для описания способов размещения предметов раскроя достаточно перечислить их допустимые перемещения: сдвиги, повороты, симметрии. В задачах управления ЦБП важна ориентация предметов относительно объектов раскроя, поэтому перемещение заготовок чаще всего означает параллельный перенос, иногда дополненный поворотом на 90°. Определим раскрой множества (одинаковых или разных) объектов как совокупность раскроев каждого из них.

В зависимости от условий задачи, критерий эффективности можно связать с расходом материала в натуральном или стоимостном выражении,

количеством выкроенных предметов (заготовок деталей) или суммарным доходом от их реализации, потерями материала и т. п. Независимо от выбора показателей это обычно линейная функция по отношению к количеству израсходованных объектов и полученных предметов раскроя.

Основное содержание задачи – размещение предметов на объектах раскроя – может быть дополнено условиями:

комплектности предметов и объектов раскроя;

массовости производства, которое представляет собой альтернативу: не выкраивать предметы данного вида или выкраивать их в количестве не меньше установленной нижней границы;

соблюдения установленных границ потерь материала;

ограничений, связанных с массой или другими показателями выкраиваемых предметов;

усложнения технологии раскроя по сравнению с указанием группы движений.

При соблюдении дополнительных условий в некоторых случаях количество вариантов сокращается и задача упрощается; иногда, не меняя существенно алгоритм, удается «приспособить» его для решения модифицированной задачи. Однако чаще они усложняют задачу раскроя.

Задачу комплектования можно определить как поиск наиболее выгодного способа составления объекта из заготовок определенного набора (предметов). По физическому содержанию эта операция обратна раскрою. Модели и методы решения обеих задач в многом сходны. Условия же прикладных задач весьма разнообразны.

Примером является классическая задача раскроя тамбура БДМ на форматы в предположении линейной зависимости дохода от количества заготовок каждого вида или длины используемой части тамбура. Предполагается, что потери материала пренебрежимо малы, а доход не зависит от очередности кроя, что не всегда верно. Задача эффективно решается средствами динамического программирования.

Иногда постановка и содержание задачи меняются по причинам технологического характера. Например,

необходимо учитывать толщину среза при крое;

количество предметов каждого вида в плане раскроя ограничено сверху;

план раскроя может содержать ограниченное количество предметов различного вида (обычно 2-3 или по числу ножей продольной резки);

длина остатка раскроя не должна превышать заданного значения;

материал, из которого состоит объект раскроя, неоднородный, существует шкала оценок качества предметов, выкроенных из его частей. Именно так происходит в случае снижения качества части полотна бумаги из-за технологических неполадок.

Задачи раскроя, связанные с планированием и управлением производственными процессами, включают все перечисленные модификации и их

произвольные комбинации. Изменение условий, как правило, усложняет алгоритмы их решения.

Более сложным является поиск комбинации планов раскроя, сочетание которых обеспечивает все необходимые предметы в количествах, заданных точно или границами. Такие модели часто возникают при разработке систем планирования и управления предприятиями ЦБП и других отраслей промышленности, о чем свидетельствуют следующие примеры.

1. В задаче планирования раскроев и распределения заявок между БДМ объектами являются съемы тамбуров продукции, а предметами – ее форматы. Производительность каждой БДМ, а следовательно, выработка в течение периода планирования, считаются ограниченными, так же как и потребность в разных форматах. Необходимо составить планы раскроя, которые обеспечат выпуск продукции заданного ассортимента и объема с минимальными отходами. Могут рассматриваться БДМ, однотипные или неодинаковые по длине тамбура и другим производственным характеристикам. Наиболее сложный вариант задачи предусматривает учет скорости работы БДМ, плотности и качества продукции.

2. Задача усложняется, если учитывается формат и диаметр рулона бумаги или картона. В этом случае объектом раскроя является прямоугольник, ширина которого равна длине тамбура, а длина ограничена снизу и сверху, пропорциональна объему продукции и определяется скоростью и продолжительностью намотки тамбура. Предметами служат прямоугольники, ширина каждого из них определяется форматом продукции, а длина – диаметром рулона. Содержание задачи можно сформулировать как поиск длины прямоугольника, который кроится на полосы, составляющие приблизительно размер тамбура (но не больше его), а длина по возможности кратна длинам присутствующих в раскрое форматов.

3. В задаче планирования выпуска продукции цеха гофротары предметы раскроя – прямоугольные заготовки деталей тарных ящиков или листы гофрокартона, вырабатываемые гофроагрегатом. В построении планов раскроя существуют некоторые проблемы:

предметами раскроя могут служить не только исходные заготовки, но и их комбинации, подлежащие дальнейшему раскрою;

в состав гофроагрегата входит несколько столов (минимум два), гильотинные ножи которых с собственной фиксированной частотой рассекают направленные на эти столы полосы продольно разрезанного гофрополотна.

4. Трехмерная задача размещения грузов возникает при составлении планов погрузки продукции бумажного производства в транспортные средства (контейнеры, вагоны, трюмы теплоходов). Объектом раскроя является пространство внутри транспортного средства. Для контейнера это параллелепипед, вагона – закругленная сверху фигура, трюма теплохода – многогранная невыпуклая область. Единицей продукции бумажного производства обычно является параллелепипед (кипа бумаги, картона или листовой целлюлозы, упаковка сложенных ящиков или мешков) или круговой цилиндр

(рулон бумаги или картона). Задачу усложняют многочисленные ограничения технологического характера, включая жесткость конструкции, условия погрузки и крепления последних единиц, балансировку груза, обеспечение удобства разгрузки.

5. К числу трехмерных можно отнести также задачу формирования поддонов, на которые слоями укладывают пачки листов или сложенных ящиков. Прочность конструкции обеспечивается чередованием слоев, подобных кирпичной кладке. Слои могут несколько выходить за пределы площади поддона, иметь внутренние пустоты и неодинаковые размеры. Размеры кипы определяются наибольшими размерами слоев. Цель задачи – поиск способа укладки наибольшей объемной плотности. Структура слоя необязательно соответствует гильотинному раскрою. Важный показатель плана размещения – плотность заполнения пространства, занятого поддоном на площади склада. Рассматриваемая задача существенно усложняется требованием устойчивости кипы изделий на поддоне, что возможно только при наличии связей между ними. На практике это достигается чередованием двух взаимно перекрывающихся планов раскроя.

6. В задаче компоновки ячеек на складе готовой продукции требуется не только плотно разместить единицы продукции запланированной номенклатуры, но и обеспечить очередность доступа к каждой из них.

7. Современные системы управления качеством обеспечивают непрерывный контроль продольных и поперечных параметров полотна БДМ, что позволяет рассматривать более сложную задачу распределения форматов вдоль ширины тамбура, а «накатов» – рулонов конечной продукции повышенного качества – по длине полотна. Вследствие неоднородности объекта раскроя эта задача оказывается несколько в стороне от рассматриваемого класса задач, однако ввиду очевидного экономического эффекта она заслуживает внимания. Решение этой задачи не является проблемой в отличие от внедрения программной системы на ее основе, что обусловлено сложностями реализации управлений: перенастройки продольно-резательных машин, организации упаковки, маркировки, складирования и учета продукции.

8. Несмотря на большое количество имеющихся программных систем, остается актуальной проблема выбора поставов и планов раскоя круглых лесоматериалов, обеспечивающих требуемые ассортимент и объем пиловочника. Выработка продукции ведется параллельно сортировке древесины в условиях неопределенности имеющегося количества пиловочника. В отличие от задач, характерных для ЦБП, в основе этой модели находятся планы плоского раскроя.

9. Во всех перечисленных задачах рассматривались однородные объекты раскроя: полотно бумаги, картона или свободное пространство. К задачам раскроя близки некоторые проблемы распределения «неоднородных ресурсов» – комплектования оборудования предприятия, которое может выполнять одну или несколько последовательных операций. Цель подобной

задачи – обеспечить необходимые ресурсы с наименьшими затратами на приобретение или эксплуатацию оборудования.

10. Другая задача характеризует процесс комплектования фанеры из листов шпона. Физическое содержание операции раскроя при этом инвертируется, поскольку объект – лист фанеры – не режется, а составляется из листов шпона различной толщины в соответствии с планами комплектования, строго регламентированными технологией процесса. Цель задачи заключается в определении планов комплектования, обеспечивающих требуемые ассортимент и количество продукции из имеющихся листов шпона.

Для решения перечисленных задач автором разработаны достаточно эффективные алгоритмы [1, 2, 5, 6] и программные комплексы, которые внедрены на Архангельском, Котласском, Кондопожском ЦБК и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов А.Ф. и др. Оптимизация в планировании и управлении предприятиями регионального лесопромышленного комплекса / А.Ф. Булатов, А.В. Воронин, В.А. Кузнецов и др. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 228 с.
2. Воронин А.В., Кузнецов В.А. Математические модели и методы в планировании и управлении предприятием ЦБП. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 256 с.
3. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. – Новосибирск: Наука, 1972. – 300 с.
4. Канторович Л.В., Романовский И.В. Математические методы в управлении экономикой. – М.: Знание, 1977. – 337 с.
5. Кузнецов В.А. Задачи раскроя в целлюлозно-бумажной промышленности. – СПб.: Изд-во СПбЛТА, 2000. – 132 с.
6. Кузнецов В.А. Планирование погрузки готовой продукции целлюлозно-бумажного комбината в транспортные средства // Лесн. журн. – 2003. – № 2-3. – С. 133–140. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Dickhoff H. A Typology of Cutting and Parcking Problems // European Journal of Operations Research. – 1995. – Vol. 44. – P. 145–159.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 10.02.04

V.A. Kuznetsov

Tasks of Cutting and Gathering Materials in Production Processes Simulation

Main features of tasks of cutting and gathering materials most often used in the production processes in pulp-and -paper industry are considered.

УДК 658.32.03

Я.Ф. Молнар, Е.Н. Пономарева

Молнар Янош Ференцович родился в 1937 г., окончил в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат экономических наук, профессор кафедры менеджмента, директор Института экономики, финансов и бизнеса Архангельского государственного технического университета. Имеет около 60 печатных работ в области менеджмента, экономики и организации лесной промышленности.



Пономарева Елена Николаевна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры менеджмента ИЭФБ АГТУ. Имеет 11 печатных работ в области экономики и управления промышленными предприятиями.



АКТУАЛЬНОСТЬ И МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ЕДИНОЙ ТАРИФНОЙ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ТРУДА РАБОТНИКОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Обоснована актуальность применения единой тарифной системы на ЦБП. Предложена методика ее разработки отдельно для двух категорий персонала. Расчет тарифной ставки предусматривает использование формулы сложных процентов.

Ключевые слова: единая тарифная система, тарифные ставки, тарифная сетка, должностные оклады, разряд работы.

Целлюлозно-бумажные предприятия относятся к числу самых крупных, имеют многотысячные трудовые коллективы и сложную структуру производства. Для таких предприятий характерно наличие большого количества (свыше 10) тарифных ставок и сеток, схем должностных окладов, которые по разным видам производств (основное, ремонтное, транспорт, связь, энергетика и т.д.) различаются несущественно. Работникам трудно объяснить, чем вызваны эти различия. Кроме того, часовые тарифные ставки имеют неоправданно высокую точность выражения – до десятых долей копейки. Может быть раньше, когда их величина колебалась от 30 ... 40 к. до 1 р. в 1 ч, такая точность была обоснована. В настоящее время, когда часовая тарифная ставка в десятки раз выше ее прежнего значения, принятая точность стала излишней. Переход на единую тарифную систему оплаты труда позволил бы устранить это несоответствие.

Актуальность применения единой тарифной системы на предприятиях ЦБП очевидна и по другой причине. Сейчас руководство предприятия вправе назначать по своему усмотрению должностные оклады руководителям, специалистам, служащим и менять их без перевода работников с одной должности на другую. В результате у одних работников должностные оклады растут, а у других остаются без изменений. Нередки случаи, когда руководители, занимающие должности разного уровня в одном и том же производственном подразделении, отделе, имеют почти равные должностные оклады. Этот процесс практически

вышел из под контроля и не может не вызывать озабоченности. Нужен четкий механизм присвоения категории (разряда) руководителям всех уровней, специалистам и служащим без изменения должностного оклада до очередного повышения разряда.

Такая аргументация перехода на единую тарифную систему оплаты труда всех работников в рамках крупного предприятия выглядит весьма внушительной. Заманчиво иметь единую тарифную систему для всех без исключения работников на предприятии. Однако на практике эту задачу решить нельзя, не противореча элементарной логике. Если бы был исполнен социальный заказ на разработку единой тарифной системы для всего персонала, то для рабочих отводилось бы вместо привычных шести всего несколько разрядов, что недопустимо и неэтично. Поэтому речь может идти лишь о единой тарифной системе отдельно для служащих и для рабочих.

Далее требуется обосновать оптимальное число разрядов для каждой из этих двух групп персонала предприятия. Для руководителей, специалистов и служащих рекомендуется 18-разрядная тарифная система по аналогии с бюджетной в целях их сопоставимости. Для рабочих, в силу достаточно больших различий в тарифных ставках в разных отраслях и видах производств, предлагается 12-разрядная система, при которой межразрядная величина тарифных ставок находится на привычном уровне и не может вызвать недоразумение.

Недостаточно просто предложить 12-разрядную тарифную сетку для оплаты труда рабочих, ее следует четко аргументировать. В пользу этой сетки служат следующие аргументы:

- 1) сохраняется привычная для рабочих межразрядная разница, равная примерно 11 %;
- 2) она кратна прежней 6-разрядной и сопоставима с 18-разрядной сеткой для руководителей, специалистов, служащих, составляя 2/3 от последней;
- 3) сохраняется 6-разрядная тарификация каждого вида работ;
- 4) не нарушается дифференциация часовых тарифных ставок в зависимости от условий труда, т. е. рабочий одного и того же разряда имеет часовую тарифную ставку, отличающуюся на 4, 8, 12, 16, 20 и 24 % от ставки при нормальных условиях труда.

Работники предприятий практически всегда внимательно следят и чутко реагируют на любое изменение в организации оплаты труда. Чтобы предупредить возможные недоразумения, рекомендуется строго соблюдать основополагающие принципы разработки и внедрения единой тарифной системы оплаты труда, а именно:

- 1) должна быть сохранена действующая система присвоения разрядов рабочим. При этом обеспечивается применение единого тарифно-квалификационного справочника и функционирование тарифно-квалификационных комиссий в прежнем режиме;
- 2) присвоенный рабочему новый разряд не может быть меньше старого ни при каких условиях во избежание нанесения морального ущерба;
- 3) каждому новому разряду должен соответствовать один (не два, три и т. д.) старый разряд с тем, чтобы не нарушить действующий порядок их присвоения;

4) количество разрядов в новой тарифной сетке должно быть равно шести, т. е. каждому старому разряду должен соответствовать один единственный новый разряд;

5) ни один работник в результате внедрения единой тарифной ставки не должен потерять в заработной плате. Новые тарифные ставки могут быть равны или больше прежних;

6) внедрение единой тарифной системы следует приурочить к очередной индексации заработной платы;

7) необходимо обеспечить гласность и прозрачность при принятии решения о внедрении тарифной системы.

Единая тарифная система оплаты труда работников предприятий разработана по специальной методике с применением математического аппарата.

Расчет часовой тарифной ставки (должностного оклада) производится по формуле сложных процентов

$$Q_n = Q_0 \left(1 + \frac{P}{100} \right)^n,$$

где Q_0 – минимальная часовая тарифная ставка (должностной оклад);

P – межразрядная разница, %;

n – число разрядов, определяемое методом логического анализа исходя из привычной для конкретного предприятия ситуации.

Чтобы не делать сложных вычислений для всех значений часовых тарифных ставок (должностных окладов) произведем следующие преобразования:

$$\begin{aligned} \frac{Q_n}{Q_0} &= \left(1 + \frac{P}{100} \right)^n; & \ln \left(\frac{Q_n}{Q_0} \right) &= n \ln \left(1 + \frac{P}{100} \right); \\ \ln \left(1 + \frac{P}{100} \right) &= \frac{1}{n} \ln \frac{Q_n}{Q_0}; & 1 + \frac{P}{100} &= \exp \left(\frac{1}{n} \ln \frac{Q_n}{Q_0} \right); \\ P &= 100 \left(\exp \left(\frac{1}{n} \ln \frac{Q_n}{Q_0} \right) - 1 \right); & P &= 100 \left(e^{\frac{1}{n} \ln \frac{Q_n}{Q_0}} - 1 \right). \end{aligned}$$

По значению межразрядной разницы P в процентах и часовой тарифной ставки (должностного оклада) предшествующего разряда находят значение часовой тарифной ставки (должностного оклада) следующего разряда.

Выполненные по изложенной методике расчеты величины тарифных ставок и должностных окладов проверяются на предмет соответствия закону нормального распределения.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 15.03.04

Ya.F. Molnar, E.N. Ponomareva

Relevance and Technique of Development and Introduction of Standard Wage System for Labor Remuneration of Pulp-and-Paper Mill Employees

Relevance of applying standard wage system at PPM is substantiated. Technique of its development is offered separately for two categories of employees. Use of compound interest formula is foreseen for wage rate calculation.



КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 519.23:621.029

А.А. Рогов

Рогов Александр Александрович родился в 1959 г., окончил в 1985 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического моделирования систем управления ПетрГУ. Имеет 75 печатных работ в области математического моделирования, статистического анализа, методов оптимизации.



ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕМА ПОСТАВОК ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

Разработана программа, позволяющая с вводом фактических данных о функционировании станции технического обслуживания лесозаготовительного предприятия рассчитывать средние значения эксплуатационной эффективности и получать рекомендации об объеме поставляемой партии запасных частей.

Ключевые слова: математическое моделирование, функция восстановления, статистические оценки, оптимизация объема поставок, запасные части.

Обоснование задачи

Для решения задачи оптимизации объема поставок на станцию технического обслуживания (СТО) лесозаготовительного предприятия предложена математическая модель ее функционирования между поставками. При построении модели использовали следующие предположения: СТО обслуживает фиксированное количество машин разных типов; поставки запасных частей осуществляют партиями через заранее определенный период, длительность которого T ; объем поставки определяют непосредственно перед поставкой. Стратегия работы СТО: ремонт начинается сразу после возникновения аварийной ситуации на какой-либо машине, если на складе есть необходимая запасная часть, при отсутствии – заказывают ее у поставщика и ремонт начинают после получения.

В качестве целевого функционала при решении задачи оптимизации объема поставок запасных частей, требуемых для работы станции между двумя поставками, применяют математическое ожидание суммарного дохода от использования машин за вычетом потерь из-за аварийных простоев и затрат на их ликвидацию при наличии и отсутствии запасных частей с учетом стоимости их хранения на складе или дополнительных поставок. Математическая модель строится в зависимости от того, больше или нет количество запасных частей количества аварийных отказов. Во втором случае для описания дохода используют дополнительную переменную, выражающую количество аварийных отказов, удовлетворенных со склада СТО. Анализ оптимизационной модели проводят при естественных допущениях о независимости и одинаковой распределен-

ности случайных величин, выражающих продолжительность промежутков между отказами и восстановлений по каждой причине на конкретной машине. Модель не предполагает, что поток отказов является пуассоновским. Как показывают статистические исследования, предположение о пуассоновости потока в данном случае является сомнительным [1, 2].

Для данной оптимизационной задачи удалось найти аналитическое решение. При практическом использовании модели требуется ввести информацию о работе СТО. Для определения некоторых средних характеристик, таких как среднее число отказов или восстановлений, предлагается использовать статистические оценки функции восстановления, так как данные имеют, как правило, цензурированный характер.

Разработана программа, позволяющая при вводе фактических данных о функционировании СТО рассчитывать средние значения и получать рекомендации об объеме поставляемой партии запасных частей.

Описание математической модели

Введем следующие величины:

P^i , $i = 1, 2, \dots, n$ – стоимость произведенной продукции в единицу времени (ч) i -й машины;

l – число типономиналов наименований запасных деталей, применяемых для восстановления работоспособности машин;

m^j , $j = 1, 2, \dots, l$ – число запасных деталей j -го наименования, находящихся на хранении в начальный период функционирования СТО;

$A(T)^{ij}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, l$ – число аварийных отказов j -й детали i -й машины за период времени T ;

x_k^{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, l$, $k = 1, 2, \dots$, $A(T)^{ij}$ – продолжительность времени между $k-1$ восстановлением и k -м аварийным отказом j -й детали i -й машины, ч;

t_k^{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, l$, $k = 1, 2, \dots$ – продолжительность восстановления после k -го аварийного отказа j -й детали i -й машины (ч) при наличии запасной части;

τ_k^{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, l$, $k = 1, 2, \dots$ – продолжительность восстановления после k -го аварийного отказа j -й детали i -й машины (ч) при отсутствии запасной части;

C_k^{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, l$, $k = 1, 2, \dots$ – стоимость восстановления после k -го аварийного отказа j -й детали i -й машины (ч) при наличии запасной части;

Ca_k^{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, l$, $k = 1, 2, \dots$ – стоимость восстановления после k -го аварийного отказа j -й детали i -й машины (ч) при отсутствии запасной части;

Cxp^j , $j = 1, 2, \dots, l$ – стоимость хранения j -й детали в единицу времени (ч);

Cp^j , $j = 1, 2, \dots, l$ – стоимость j -й детали при покупке партией, р.;

Cr^j , $j = 1, 2, \dots, l$ – стоимость j -й детали при экстренной покупке, р.

Затраты на ремонт при аварийной замене детали j -го наименования R^j от всех машин за период T составят:

если $m^j \geq \sum_{i=1}^n A(T)^{i,j}$, то

$$R^j = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{A(T)^{i,j}} \left(C_k^{i,j} + P^i t_k^{i,j} + Cp^j + Cxp^j \left(\sum_{s=1}^{k-1} (x_s^{i,j} + t_s^{i,j}) + x_k^{i,j} \right) \right) + (m^j - \sum A(T)^{i,j}) (Cp^j + TCxp^j); \quad (1)$$

если $m^j < \sum_{i=1}^n A(T)^{i,j}$, то для описания дохода понадобится переменная $\mu(T)^{i,j}$, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, l$ – количество аварийных отказов j -й детали i -й машины за период T , удовлетворенных со склада СТО, тогда

$$R^j = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^{\mu(T)^{i,j}} \left(C_k^{i,j} + P^i t_k^{i,j} + Cp^j + Cxp^j \left(\sum_{s=1}^{k-1} (x_s^{i,j} + t_s^{i,j}) + x_k^{i,j} \right) \right) + \sum_{k=1}^{A(T)^{i,j} - \mu(T)^{i,j}} (Ca_k^{i,j} + P^i \tau_k^{i,j} + Cr^j) \right). \quad (2)$$

Суммарный доход от всех машин за период T составит

$$F(T, m) = \sum_{i=1}^n TP^i + \sum_{j=1}^l R^j,$$

где $m = (m^1, m^2, \dots, m^l)$.

Средний суммарный доход (математическое ожидание) от использования n машин при учете всей номенклатуры запасных частей за период T :

$$\bar{F}(m) = M[F(T, m)] = \sum_{i=1}^n TP^i + \sum_{j=1}^l M[R^j]. \quad (3)$$

Задача оптимизации числа запасных частей на СТО ставится следующим образом: выбрать такое число запасных частей m , чтобы средний суммарный доход от функционирования СТО $\bar{F}(m)$ за период T был максимальным.

Анализ целевого функционала

Анализ целевого функционала (3) будем проводить при следующем допущении: случайные величины, выражающие число отказов и их продолжительность $A(T)^{i,j}$, $x_k^{i,j}$, $t_k^{i,j}$, $\tau_k^{i,j}$, являются независимыми. При этом допущении значения величин $M[R^j]$, $j = 1, 2, \dots, l$ не влияют друг на друга. Это означает, что максимальное значение $\bar{F}(m)$ достигается тогда и только тогда, когда $M[R^j]$, $j = 1, 2, \dots, l$ принимают минимальное значение. При анализе оптимизационной задачи сделаем предположение, что среднее число аварий по j -й причине не зависит от m^j – числа запасных частей. Это предположение имеет место, если промежутки времени между авариями значительно больше продолжительности их устранения. Зафиксируем j и найдем, когда $M[R^j]$ принимает минимальное значение. Для этого введем обозначения: $M[A(T)^{i,j}] = B(T)^{i,j}$; $M[x_k^{i,j}] = \bar{x}^{i,j}$; $M[t_k^{i,j}] = \bar{t}^{i,j}$; $M[\tau_k^{i,j}] = \bar{\tau}^{i,j}$; $M[C_k^{i,j}] = \bar{C}^{i,j}$; $M[Ca_k^{i,j}] = \bar{Ca}^{i,j}$.

Если число запасных частей больше средней потребности, то это означает, что $m^j \geq \sum_{i=1}^n B(T)^{i,j}$. Следовательно,

$$M[R^j] = \sum_{i=1}^n M[W^{i,j}] + \left(m^j - \sum_{i=1}^n B(T)^{i,j} \right) (Cp^j + TCxp^j).$$

Можно доказать, что минимум $M[R^j]$ достигается при

$$m^j = \begin{cases} \sum_{i=1}^n B(T)^{i,j}, & \text{если } \sum_{i=1}^n B(T)^{i,j} - \text{целое}; \\ \left[\sum_{i=1}^n B(T)^{i,j} \right] + 1, & \text{если } \sum_{i=1}^n B(T)^{i,j} - \text{дробное}, \end{cases}$$

где квадратные скобки выделяют целую часть числа.

Если число запасных частей меньше средней потребности, то это означает, что $m^j = \sum_{i=1}^n \mu(T)^{i,j}$. Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} A_{i,j} &= \frac{Cxp^j}{2} (\bar{x}^{i,j} + \bar{t}^{i,j}); \\ D_{i,j} &= \left(\bar{C}^{i,j} + P^i \bar{t}^{i,j} + Cp^j + \frac{Cxp^j}{2} (\bar{x}^{i,j} - \bar{t}^{i,j}) - \bar{C}a^{i,j} - P^i \bar{\tau}^{i,j} - Cr^j \right); \\ S &= \sum_{i=1}^n B(T)^{i,j} (\bar{C}a^{i,j} + P^i \bar{\tau}^{i,j} + Cr^j). \end{aligned}$$

Тогда из формулы (2) определим

$$M[R^j] = \sum_{i=1}^n A_{i,j} (\mu(T)^{i,j})^2 + \sum_{i=1}^n D_{i,j} \mu(T)^{i,j} + S. \quad (4)$$

Здесь минимизируем (4) при условии $m^j = \sum_{i=1}^n \mu(T)^{i,j}$. Обозначим через

$m^{j*} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{D_{i,j}}{A_{i,j}}$. Анализ (4) при $0 \leq m^j \leq \sum_{i=1}^n B(T)^{i,j}$ показал, что минимум

$M[R^j]$ достигается при условии

$$m^j = \begin{cases} 0, & \text{если } m^{j*} < 0; \\ \left[m^{j*} + \frac{1}{2} \right], & \text{если } 0 \leq \left[m^{j*} + \frac{1}{2} \right] \leq \left[\sum_{i=1}^n B(T)^{i,j} \right]; \\ \left[\sum_{i=1}^n B(T)^{i,j} \right], & \text{если } \left[m^{j*} + \frac{1}{2} \right] > \left[\sum_{i=1}^n B(T)^{i,j} \right]. \end{cases}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рогов А.А.* Моделирование эксплуатационной эффективности технического объекта. Статистический анализ и проверка адекватности: Учеб. пособие. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. – 215 с.

2. *Рогов А.А., Шиловский В.Н., Зубов Д.В.* Определение оптимального объема поставок запасных частей // Прикладная математика и информатика: Тр. ПетрГУ. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. – Вып.10. – С. 35–47.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 02.03.04

A.A. Rogov

Optimization of Spare Parts Supply

Software has been developed allowing to calculate mean values of operational efficiency and produce recommendations on the volume of the supplied spare parts by entering actual data on service station operation of a forest-harvesting enterprise.

УДК 630*36

В.С. Сюнев

Сюнев Владимир Сергеевич родился в 1957 г., окончил в 1980 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тяговых машин Петрозаводского государственного университета. Имеет около 80 печатных работ в области технологии лесозаготовок и лесных машин.



НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА МАШИН ДЛЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК*

Рассмотрен подход к обоснованию выбора машин для рубок леса на основе создания и применения компьютеризированной системы принятия решений, позволяющей сбалансированно учитывать как производственные, так и экологические показатели функционирования машин. Основное внимание уделено рассмотрению несплошных рубок промежуточного пользования.

Ключевые слова: промежуточное пользование, лесозаготовительные машины, принятие решения, экологический фактор.

Развитие несплошных рубок леса, в том числе рубок промежуточного пользования (ухода), является одним из перспективных направлений лесной политики. После спада, постигшего лесозаготовительные производства в 1993–1997 гг., вопрос увеличения рубок вновь становится актуальным в связи с тем, что, во-первых, в ряде регионов (особенно приближенных к внешним рынкам) растет процент освоения расчетной лесосеки по главному пользованию и в перспективе встает вопрос о необходимости получения древесины от несплошных рубок, во-вторых, значительная часть лесного фонда находится в недоступных и труднодоступных районах.

Как и прежде, развитие несплошных форм рубок сдерживается техническими возможностями. Решение данной проблемы предполагает как экстенсивный, так и интенсивный путь.

Экстенсивный путь – наращивание номенклатуры и числа машин и оборудования – предполагает оживление деятельности лесного машиностроения, в том числе конверсионного, увеличение импорта, создание новых машин, подобных лучшим зарубежным аналогам. На первом этапе работ в этом направлении целесообразно использовать положительный опыт разработки конструкций специальных лесных машин по модульному принципу на базе колесных сельскохозяйственных тракторов. Создание таких машин требует научного обоснования их основных параметров в соответствии с будущими условиями эксплуатации.

Накопленный в России и за рубежом опыт показывает, что решение вопроса механизации за счет простого увеличения числа машин и оборудования является недостаточным шагом.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобразования РФ, грант Т02-11.1-279.

Интенсивный путь предполагает более эффективное использование машин. При этом требуется удовлетворение комплекса требований по производительности, металлоемкости, выполнению намеченной программы рубок. Особое значение должно уделяться экологическому аспекту проведения рубок ухода.

На современном научном уровне решение проблемы механизации рубок ухода как экстенсивным, так и интенсивным путем предполагает разработку нового концептуального подхода, неразрывно связанного с вопросами информатизации и компьютеризации лесной отрасли. Суть данного подхода заключается в создании компьютерной системы поддержки принятия решений по выбору и обоснованию машин для проведения рубок в конкретных условиях. Такая система позволяет при учете многообразия природно-производственных факторов и альтернативном наборе машин осуществлять оптимальный подбор машин из числа существующих. При отсутствии необходимого варианта выбора система позволяет проводить обоснование основных параметров вновь проектируемых машин и оборудования.

Исходя из описанной проблемы, были сформулированы следующие задачи исследований, которые необходимо было выполнить в рамках программы по созданию компьютеризированной системы выбора машин для несплошных рубок леса.

1. Разработать компьютерные базы данных по имеющимся машинам для рассматриваемых видов рубок и установить зависимости между их основными параметрами. Решение этой задачи усложнялось тем обстоятельством, что большинство подобных машин производилось на западе, в основном в Финляндии и Швеции. Это предполагало организацию контактов с зарубежными партнерами по сбору и анализу информации, генерацию новых научных проектов, охватывающих и эту проблематику.

2. Создать базы данных по природно-производственным условиям на основе использования ГИС-технологий и провести компьютерное генерирование типовых модельных лесосек. Эта задача осложнялась выбором конкретного объекта исследований. Поскольку отработка методики создания баз данных даже в рамках отдельной республики и района оказалась бы весьма трудоемкой, исследования были ограничены конкретной территорией лесничества Петрозаводского государственного университета (Пряжинский район Республики Карелия).

3. Разработать компьютерные модели для исследования воздействия ходовых систем на лесные почвы, отражающие их специфику (наличие корней и камней).

4. Провести комплекс экспериментальных исследований по воздействию машин на лесную среду (почва, оставляемый древостой), оценить адекватность разработанных компьютерных моделей.

5. Разработать имитационную компьютерную модель технологического процесса несплошных рубок с применением машинного комплекса (харвестер и форвардер).

6. Оценить достоверность результатов имитационного моделирования натурным экспериментом, что требует создания методики эксперимента, организации и проведения реальных рубок на нескольких пробных площадях.

7. Обосновать показатели для оценки эффективности функционирования машин на несплошных рубках и разработать методику их расчета. В качестве одного из основных показателей изначально предлагалось принять экологическую совместимость машин с природной средой. Здесь в первую очередь следовало учитывать повреждаемость оставляемого древостоя и лесных почв.

Структура запланированных исследований в соответствии с описанными задачами представлена на рис. 1.

Основу исследовательского коллектива составили сотрудники кафедры тяговых машин ПетрГУ при научном консультировании д-ра техн. наук, проф. Ю.Ю. Герасимова. Успешному решению поставленных задач способствовало их включение в программы ряда научно-исследовательских проектов. Создание баз данных по лесозаготовительной технике проводилось нами на основе анкетирования фирм-производителей, поддержанного финляндской исследовательской группой FEG (г. Йёнсуу) и Государственным научным центром ЛПК при Минэкономике РФ. Сбор данных по природно-производственным условиям исследуемой территории и организация экспериментальных рубок леса оказались наиболее трудоемкими задачами исследований. Эти работы выполнялись в рамках международных проектов «Taiga-Model Forest» (Россия–Финляндия, 1997 – 2000 г.г.) и «Tempus Tacis T_JEP 10347–97 Development of the Environmental and Economics Studies» (Россия–Финляндия–Швеция, 1997 – 2000 г.г.) и российского гранта «Разработка научных основ обоснования оптимального технологического процесса освоения лесных массивов при несплошных рубках».

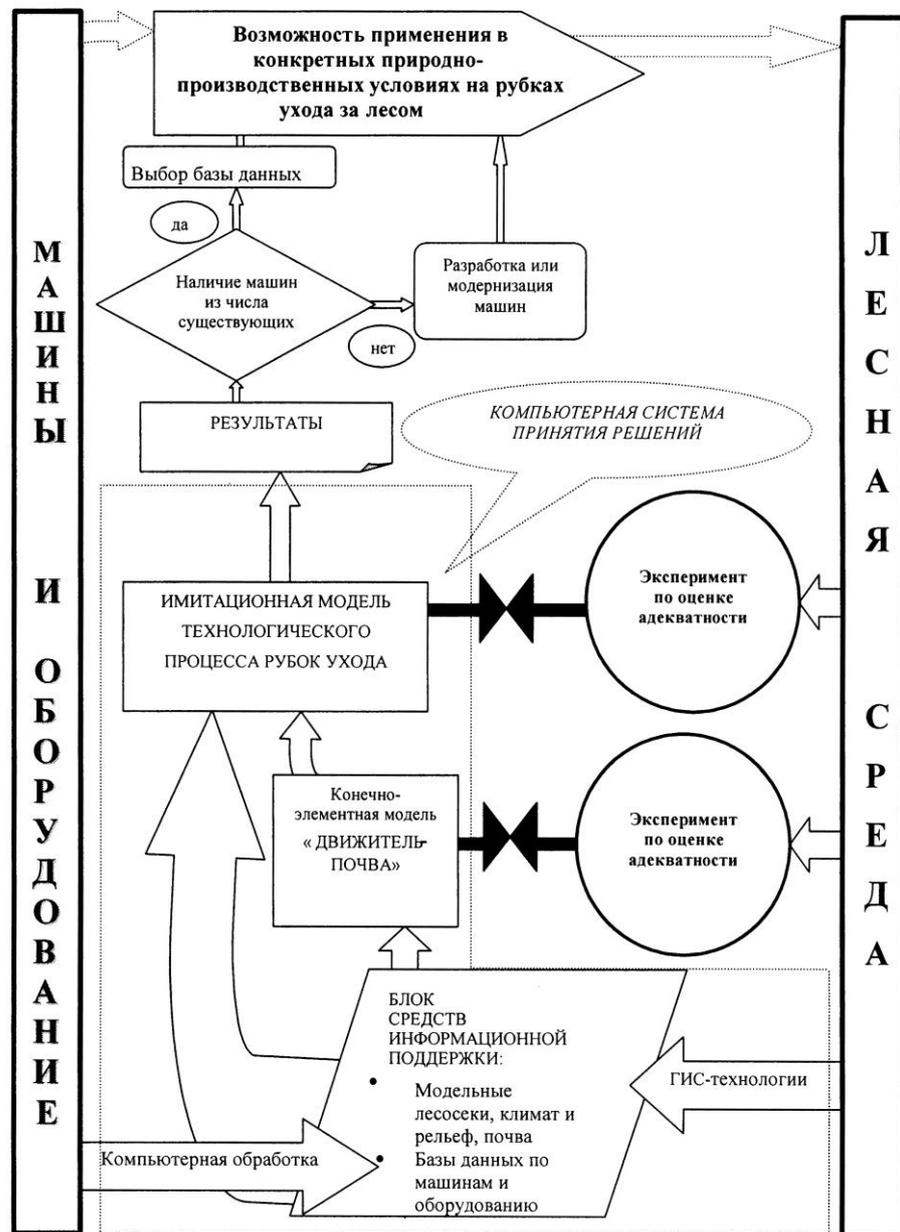


Рис. 1. Структура исследований по разработке компьютеризированной системы принятия решений

Подход к решению поставленной проблемы. Подход к решению поставленной проблемы основывался на построении блочно-иерархической трехуровневой человеко-машинной (компьютеризированной) системы принятия решений.

Нижний уровень – оперативное планирование – представляет собой систему принятия решений по оценке эффективности работы машин в условиях конкретного хозяйства (лесхоз, лесопромышленное предприятие). Средний уровень – стратегическое планирование – позволяет проводить оптимальный выбор машин, имеющихся на рынке лесозаготовительной техники, для конкретных условий лесной среды в масштабах задач, которые решаются региональными государственными лесохозяйственными органами и крупными лесопромышленными объединениями. Верхний уровень – проектный – позволяет конструктору-разработчику новой техники научно обосновывать основные параметры проектируемых машин в соответствии с будущими условиями эксплуатации.

На каждом уровне система состоит из определенного набора блоков, детальность разработки которых определяется масштабом решаемых задач:

блоки средств информационной поддержки (компьютерные базы данных по имеющейся лесной технике и модельные лесосеки, увязанные с географическими информационными системами лесных территорий);

блок моделирования воздействия ходовых систем машин на лесные почвы;

блок имитационных моделей, описывающих технологический процесс рубок ухода с расчетом частных показателей качества эффективности функционирования и полипоказателей.

Система производит расчет показателей, характеризующих работу машин, на основе анализа которых пользователем принимается решение соответствующего поставленным задачам уровня.

Для оценки эффективности функционирования машин предложено использовать следующие показатели:

$W_{\text{повр}}^c$ – повреждаемость кроны и стволовой части деревьев;

$W_{\text{повр}}^k$ – повреждаемость корневых систем и почвы;

$W_{\text{дост}}$ – пространственная доступность деревьев в рубку;

$W_{\text{произв}}^x$ – производительность харвестера;

$W_{\text{произв}}^f$ – производительность форвардера;

$W_{\text{кач}}$ – выполнение намеченного плана рубок (показатель качества рубки);

$W_{\text{мет}}^x, W_{\text{мет}}^f$ – металлоемкость харвестера и форвардера;

$W_{\text{сист}}$ – степень согласованности харвестера и форвардера в системе.

Определяющим критерием в принятии решения является полипоказатель качества $W_{ij}(u, v)$. Для повышения достоверности информации результирующий полипоказатель определяют тремя различными методами: метод равномерной оптимальности – критерий 1, метод свертывания (Гермейера) – критерий 2, метод справедливого компромисса – критерий 3.

Решение (для соответствующего иерархического уровня) принимают на основе анализа полипоказателей качества и частных показателей с использованием теории игр и статистических решений. Наилучшая альтернатива характеризуется наиболее удачным сочетанием всех показателей.

Уровень решаемых задач определяет характер связей между блоками и степень их задействованности в процессе принятия решения. На уровне оперативного планирования в лесхозе или леспромхозе в блоке информационной

поддержки на основе использования ГИС данной территории создаются модельные лесосеки. Поскольку состав используемых машин ограничен и определен заранее, то электронные базы данных по машинам и оборудованию включены в работу частично. Минуя блок моделирования воздействия ходовых систем машин на лесные почвы, информация поступает в блок имитационного моделирования, описывающего технологический процесс рубок ухода. Здесь в конце моделирования рассчитываются показатели эффективности работы машин. На основе анализа величины показателей делается заключение о целесообразности применения имеющихся машин в конкретных условиях, уточняются и корректируются планы проведения работ для обеспечения наибольшей эффективности имеющейся техники.

На уровне стратегического планирования компьютеризированная система принятия решений дополнительно к предыдущим предполагает включение в работу электронных баз данных по рынку техники для механизации рубок. В результате выполнения описанной процедуры принятия решений делается заключение об оптимальном подборе машин для конкретных природно-производственных условий или даются рекомендации по распределению приобретенных машин по конкретным предприятиям в целях обеспечения максимальной эффективности их использования.

На верхнем уровне предлагается использование всех имеющихся блоков, в том числе блока моделирования воздействия ходовых систем машин на лесные почвы. Использование данного блока позволяет вводить в блок имитационного моделирования более точную информацию, сравнивать различные машины по степени отрицательного воздействия на лесную почву и вычислять показатели оценки воздействия машин на почвы. Оценку воздействия ходовых систем машин на лесные почвы производят по удельному давлению на почву в контакте с движителем q , напряжению в почвенном слое σ_h , глубине колеи h . Возможно применение и производных от них показателей. Наличие дополнительных показателей способствует принятию более точного проектного решения. Таким решением может быть выбор машин и оборудования из имеющейся номенклатуры, проектирование новых машин с обоснованием их основных параметров.

Разработка средств информационного обеспечения компьютеризированной системы принятия решений. Система информационного обеспечения включает два независимых блока:

компьютерная база данных по существующим лесным машинам и оборудованию (манипуляторы, рабочие органы);

компьютерная база данных по модельным лесосекам.

В компьютерную базу по машинам и оборудованию вошли данные о более чем четырехстах единицах зарубежных и отечественных машин и оборудования, полученные при анкетировании более 100 предприятий-изготовителей. Программный продукт, взятый за основу при создании базы данных – Microsoft Exel 5.0 для Microsoft Windows. Методический подход к построению баз данных и их структура описаны нами в работах [3–5].

В качестве исходных данных для построения модели лесосеки служат характеристики деревьев, почвенно-грунтовых условий, климата и рельефа, со-

держатся в банках данных, полученных с использованием ГИС-технологий (лесоустройство, климат, топография и почвы и т. д.).

База данных по модельным лесосекам должна содержать сведения о природно-производственных условиях. Модельные лесосеки получены путем генерирования на компьютере характеристик древостоя и местности. Ввод исходных характеристик, полученных в ходе экспедиционных работ в учебно-производственном лесничестве университета, и вывод результатов моделирования проводится в среде пакета программ MapInfo для Microsoft Windows [2].

Моделирование воздействия ходовых систем машин на лесные почвы. Исследование процессов взаимодействия ходовых систем с почвой было предложено проводить на основе метода конечных элементов (МКЭ). Применение данного метода позволяет наиболее точно описать процесс взаимодействия движителей и почвы, определить деформации и напряжения в любой точке любого почвенного слоя, использовать для описания почвы модель упруго-пластической среды, оценить уплотняемость почвы, исследовать последствия многократных проходов машин по одному следу [7]. При этом в отличие от аналитических методов форма линии контакта ходового элемента (например, эластичной пневматической шины) с почвой не оговаривается предварительно, а получается в результате моделирования в соответствии с рассматриваемыми характеристиками почвы и ходового элемента. Метод позволяет проводить сравнительную оценку последствий движения разных типов машин (колесные и гусеничные) на одну и ту же почву в одинаковых условиях и давать заключение о предпочтительности их применения. Важным преимуществом метода, особенно при рассмотрении экологически ориентированных задач, является его наглядность, обеспечиваемая визуализацией исследуемых процессов на экране монитора компьютера.

На основе использования ГИС-технологий рассмотрена возможность создания электронной почвенной карты местности с координатно-привязанными базами данных по характеристикам почв.

Определение входных параметров модели прочности почвы осуществляют по результатам прочностных испытаний почвенных образцов (строится линия поверхности предельных напряжений в меридиональном плане, по которой определяются инварианты напряжений для модели Друккера–Прагера).

В предлагаемом подходе к моделированию почвы возможен учет армирующего влияния корневых систем растений и наличие камней.

Пневматическое колесо моделируется в виде трех концентрических окружностей с разными упругими свойствами: протекторная часть, каркас, стальной обод. Гусеничный движитель моделируется в виде упругой многозвенной балки с жесткими катками на ней.

Предлагаемая конечно-элементная модель была формализована в пакете прикладных программ ANSYS, что позволило рассчитывать не только значение исследуемых параметров, характеризующих воздействие машин на почву, но и визуализировать исследуемые процессы на экране монитора.

Имитационная модель технологического процесса сплошных рубок. Основным звеном компьютеризированной системы принятия решений является имитационная модель функционирования машинного комплекса на заготовке

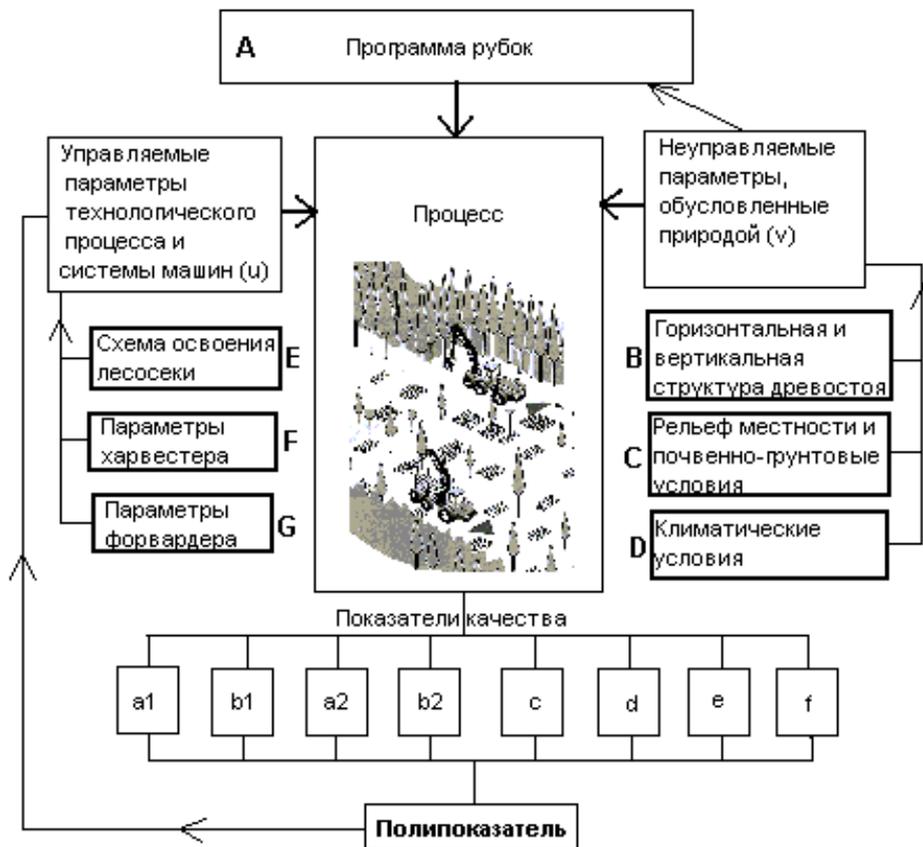


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели

леса. Структура обеспечения функционирования имитационной модели показана на рис. 2.

Входные элементы природного вектора v формируются в блоке информационной поддержки и представлены следующими модулями:

A – число и степень изреживания древостоя при рубках ухода;

B – распределение деревьев по площади

и их размеры;

C – параметры, характеризующие рельеф и почвенно-грунтовые условия;

D – параметры, характеризующие климатические условия эксплуатации.

Элементы вектора субъекта принятия решения u представлены следующими модулями:

E – размер делянки, планировка и размеры волоков, процент выборки;

F – конструктивные параметры валочно-пакетирующей машины или харвестера, включая характеристики манипулятора, ЗСУ или головки харвестера;

G – конструктивные параметры скиддера или форвардера и применяемого технологического оборудования.

Модули F и G также формируются в блоке системы поддержки.

Центральный модуль «Процесс» объединяет и связывает всю поступающую информацию и описывает технологический процесс рубки.

Показатели качества рассчитываются в следующих модулях: a1 – производительность лесозаготовительной машины; b1 – металлоемкость лесозаготовительной машины; a2 – производительность трелевочной машины; b2 – ме-

таллоемкость трелевочной машины; с – доступность деревьев в рубку; d – качество рубки; e – повреждаемость крон деревьев, стволов, корней и почв; f – согласованность машин в системе.

Имитационная модель формализована на алгоритмическом языке MapBasic (в среде пакетов, поддерживающих ГИС) в виде четырех взаимосвязанных программ:

1) моделирование движения лесозаготовительной машины с выбором точек стоянки, учетом рельефа и грунтовых условий, оценка доступности намеченных к валке деревьев, моделирование валки деревьев, комплексная оценка наносимых повреждений с учетом сезона работ, оценка металлоемкости, расчет производительности и времени;

2) моделирование процессов обрезки сучьев, раскряжевки и пакетирования (если они предусмотрены технологическим процессом лесозаготовок) с учетом сезона работ и характеристик обрабатываемых деревьев;

3) моделирование работы трелевочной машины;

4) расчет частных критериев эффективности и полипоказателей.

Экспериментальная проверка адекватности разработанных моделей.

Цель эксперимента – проверить адекватность разработанных имитационной модели технологического процесса рубок и конечно-элементной модели взаимодействия движителя с почвой.

В первом случае объектами исследований являлись лесные участки учебно-опытного лесничества ПетрГУ (Пряжинский район, Республика Карелия) и лесные участки в провинции Северная Карелия (Финляндия).

Рубки проводили в сосновых 60-летних древостоях, смешанных (ель-сосна) древостоях 60-летнего возраста и еловых с примесью березы древостоях 40 и 60 лет на шести опытных участках, освоенных по различным технологическим схемам.

Система машин, используемая для экспериментальной рубки, представляла колесный харвестер (4 × 4) «Timberjack-870», оснащенный харвестерной головкой TJ 746B, и колесный форвардер (8 × 8) «Timberjack-810B». Определение объема заготавливаемой древесины (в том числе отдельно по технологическим коридорам) проводили с использованием штатного микрокомпьютерного устройства «Timberjack 3000», которыми оснащаются все производимые этой фирмой харвестеры. Учет производительности работы форвардера осуществляли оператор машины и нормировщик на погрузочном пункте. Данные по реальной производительности машин сравнивали с полученными при расчете на компьютере в ходе имитационного моделирования.

Для оценки качества выполнения программы рубок, доступности деревьев, повреждаемости почвы и оставленного на доращивание древостоя проводили инвентаризацию лесного участка до и после рубки. Инвентаризация основывалась на методе исследования пробных площадей, размещаемых на сети мерных линий. Методика исследования подробно изложена нами в работе [1].

Сбор данных производили с использованием полевых карточек с последующей компьютерной обработкой результатов в электронных таблицах Excel.

По данным, полученным после обработки натурального эксперимента, проводили расчет показателей качества выполнения программы рубок, доступности и повреждаемости. После чего величины показателей сравнивали с ре-

зультатами, рассчитанными при моделировании тех же природных условий, технологии и машин в компьютерном эксперименте.

Разница в величинах показателей, полученных на основе обработки натурного и компьютерного экспериментов, составила 5,5...11,0 %, что подтверждает возможность применения разработанных имитационных моделей в предлагаемой компьютеризированной системе принятия решений.

Во втором случае в качестве объекта исследований были приняты наиболее распространенные трелевочные машины: колесный форвардер «Timberjack-1010» финского производства и отечественные трактора ТДТ-55А с серийной (440 мм) и уширенной асимметричной (550 мм) гусеницами. В ходе этого блока экспериментальных исследований на специально организованных трассах производили замер глубины оставляемой колеи, плотность почвы на поверхности и на глубине 15...20 см, ее твердость (сопротивление пенетрации) до и после трех-, шести-, девятикратных проходов машин. По результатам дальнейшей обработки взятых с колеи контроля почвенных образцов определяли пористость почв. Поскольку все исследуемые параметры существенно влияют на способность развития питающих корней деревьев в почвенном слое, то они являются важнейшими характеристиками для оценки экологической совместимости движителей машин с почвой. Для оценки адекватности конечно-элементной модели, описывающей взаимодействие движителей с почвой, нами были выбраны две величины: глубина колеи и изменение твердости почвы [6]. Сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования подтвердило адекватность предложенных конечно-элементных моделей: разница по глубине образуемой колеи не превысила 8 %, разница в увеличении твердости почвы в колее составила 6...12 %.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили адекватность предложенных моделей и возможность их использования в компьютеризированной системе принятия решений.

Возможности использования предложенной системы принятия решений были продемонстрированы на примерах решения задач регионального подразделения органов лесного хозяйства и лесопромышленной компании.

Основные результаты работы внедрены в Карельском НИИ лесной промышленности при создании системы машин для рубок ухода, АК «Кареллеспром», Государственном комитете по лесу Республики Карелия, в Государственном научном центре ЛПК при Минэкономике РФ, на ОАО «Онежский тракторный завод», в учебном процессе кафедры тяговых машин Петрозаводского государственного университета.

Основные положения и результаты работы были представлены на международных и региональных конференциях и практических семинарах, демонстрировались на Всероссийской выставке «Российский лес-99» (г. Вологда).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю.Ю., Кильпелайнен С.А., Сюнев В.С. Об экспериментальной оценке адекватности применения имитационного моделирования при исследовании рубок ухода // Тр. лесоинженерного ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 2001. – Вып. 3. – С. 19–23.

2. Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Моделирование, экологическая оптимизация и экспериментальные исследования техпроцессов и машин для рубок ухода на основе ГИС-технологий // Вестник Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе РАЕН / ВГЛТА. – Воронеж, 1999. – Вып. 2. – С. 115–118.

3. Сюнев В.С., Герасимов Ю.Ю., Костюкевич В.М. Компьютерная информационная система «ХАРВЕСТЕРЫ» // Тр. лесоинженерного ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 1996. – Вып. 1. – С. 90–96.

4. Сюнев В.С., Герасимов Ю.Ю., Костюкевич В.М. Компьютерная информационная система «ФОРВАРДЕРЫ» // Тр. лесоинженерного ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 1999. – Вып. 2. – С. 161–167.

5. Сюнев В.С., Герасимов Ю.Ю., Костюкевич В.М. Компьютерные информационные системы по лесозаготовительной технике // Региональные проблемы развития лесного комплекса: Тез. докл. республиканской научно-практ. конф. / КарНИИЛП. – Петрозаводск, 1998. – С. 15–16.

6. Сюнев В.С., Давыдков Г.А. Воздействие машин на лесные почвы // Тр. лесоинженерного ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 2001. – Вып. 3. – С. 88–91.

7. Сюнев В.С. Моделирование лесной почвы методом конечных элементов / ПетрГУ. – Петрозаводск, 2000. – 19 с. – Деп. в ВИНТИ 06.06.2000. № 1617-В00.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 25.02.04

V.S. Syunev

New Information Technologies as Instrument of Optimal Selection of Logging Machines

Approach to substantiation of logging machines' selection has been considered based on developing and applying decision-making computer system allowing to take into account both production and environmental factors of machine operation. The main attention is paid to intermediate felling.



УДК 630*62:004.4.22

А.Т. Гурьев, Л.В. Абрамова, С.В. Торхов, Д.В. Трубин

Гурьев Александр Тимофеевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, проректор по информационным технологиям Архангельского государственного технического университета, директор Института информационных технологий АГТУ. Имеет более 50 работ в области исследования процессов лесного комплекса.



Абрамова Любовь Валерьевна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры информационных технологий АГТУ. Имеет 1 научную работу в области проектирования информационных систем в лесном хозяйстве.



Трубин Дмитрий Владимирович родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, сотрудник департамента ЛПК администрации Архангельской области. Имеет около 40 научных работ в области генезиса северной тайги, учета и инвентаризации лесного фонда, анализа его структуры и динамики под воздействием антропогенных факторов.



ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

В целях ведения непрерывного, неисчерпаемого, высокоэффективного лесного хозяйства предложено использовать функциональное моделирование.

Ключевые слова: лесное хозяйство, лесные ресурсы, лесоустройство, лесовосстановление, информационные технологии, функциональное моделирование, процессный подход, CASE-технологии, методология структурного подхода SADT.

Лесное хозяйство относится к сложным системам. Поэтому управление им должно быть связано с применением информационных технологий, которые помогают облегчить понимание процессов и обеспечивают взаимодействие всех подразделений.

Основным источником информации о лесах является лесоустройство. В лесном фонде Российской Федерации лесоустройство проводится специализированными государственными организациями. Наиболее распространена технология повторного лесоустройства, проводимая с интервалом 10–15 лет. В межучетный период изменения в лесном фонде отслеживают и фиксируют лесхозы.

Однако они не располагают ни специалистами, ни техническими средствами, ни материалами дистанционного зондирования земли (аэро- и космическая съемка), ни технологией обработки информации. Поэтому такая система не обеспечивает лесопользователей достоверной, актуальной и полной информацией о лесном фонде и эффективности ведения лесного хозяйства.

Лесоустройство – это не просто предоставление информации о лесном фонде. Лесоустроительные проекты являются обязательными нормативно-техническими документами для ведения лесного хозяйства и пользования лесным фондом. Эта очень важная функция трудно осуществима при периодическом лесоустройстве. Изменение экономических условий, нормативно-правовой базы, необходимость уточнения информации о лесном фонде, стихийные бедствия, сложность природных процессов роста и развития насаждений требуют постоянной корректировки проектных решений.

Одно из направлений развития отрасли – переход от периодического к непрерывному лесоустройству [3], проводящемуся каждый год в том объеме и в том месте, где оно нужно для поддержания информации о лесном фонде в актуальном состоянии и соответствующей корректировки проекта. Ежегодное обновление информации о лесном фонде и корректировка проектных решений называются текущими инвентаризациями непрерывного лесоустройства. По современным представлениям текущие инвентаризации должны чередоваться с базовым лесоустройством, которое должно проводиться с периодичностью 20 лет на всей территории устраиваемого объекта.

В настоящее время информационные технологии приобретают все большее значение. Большое преимущество дает функциональное моделирование. Для сбора информации и моделирования процессов используют инструментальные средства, одним из представителей которых являются CASE-технологии [1]. Они обладают следующими основными достоинствами:

- улучшают качество создаваемой информационной системы за счет средств автоматического контроля (прежде всего контроля проекта);
- позволяют за короткое время создать прототип будущей системы;
- ускоряют процесс проектирования и разработки;
- освобождают разработчика от рутинной работы, позволяя ему целиком сосредоточиться на творческой части разработки;
- поддерживают развитие и сопровождение разработки;
- поддерживают технологии повторного использования компонентов разработки.

CASE-технологии используют процессный подход. Этот подход применяется в качестве базового в международных стандартах ISO семейства 9000 и реализуется через существующую методологию структурного анализа и проектирования сложных систем SADT (Structured Analysis and Design Technique). Причем модель, получаемая в процессе разработки, легко воспринимается, поскольку она является графическим представлением действительности.

В методологии SADT каждая функция (работа) представляется прямоугольником с именем этой функции. Функции между собой соединены стрелками (дугами), которые показывают направление связей между функциями и имеют соответствующие имена. В конкретной системе связи между функциями осуществляются передачей материальных и нематериальных объектов, что об-

разует по отношению к ним входные и выходные потоки. Функции воздействуют на объекты при помощи ресурсов, преобразуя их и добавляя им ценность. Таким образом, объект попадает в некий элемент системы, который его улучшает и передает следующему элементу в рамках существующих между ними связей, и т.д. Совокупность функций вместе со связями образует процесс.

Стрелки, входящие в блок функции слева, – входы; выходящие справа – результат процесса, происходящего внутри функции; входящие сверху – управляющие (документы, нормативы, законы); входящие снизу – механизмы и персонал, участвующие в процессе. Построение диаграмм идет сверху вниз, т. е. сначала рассматривают макропроцессы, затем более низкие уровни процессов и отдельные действия.

В результате применения методологии SADT строится модель с четко сформулированной целью и единой точкой зрения, которая состоит из диаграмм, фрагментов текстов и глоссария, имеющих ссылки друг на друга. Диаграммы – главные компоненты модели, все функции и интерфейсы на них представлены как блоки и дуги. Между разработчиками существует правило написания диаграмм: все функции должны именоваться глаголом или отглагольным существительным, стрелки – существительным.

Все наиболее распространенные методологии структурного подхода базируются на ряде общих принципов: «разделяй и властвуй» – решение сложных проблем путем их разбиения на множество меньших независимых задач, легких для понимания и решения; иерархическое упорядочивание – организация составных частей проблемы в иерархические древовидные структуры с добавлением новых деталей на каждом уровне; абстрагирование – выделение существенных аспектов системы и отвлечение от несущественных; формализация – строгий методический подход к решению проблемы; непротиворечивость – обоснованность и согласованность элементов; структурирование данных, которые должны быть структурированы и иерархически организованы.

Для лучшего понимания и осмысления идей формализации бизнес-процессов рассмотрим функциональную модель организации деятельности лесного хозяйства.

Основные цели разработки функциональной модели процессов лесного хозяйства [2]:

1. Представление процессов и принятых в них технологий в виде иерархии диаграмм, обеспечивающих наглядность и полноту их отображения.
2. Определение порядка и последовательности осуществления деятельности.
3. Отслеживание взаимосвязей между различными процессами.
4. Упорядочивание информационных потоков внутри предприятия лесного хозяйства.

Как сказано выше, формализация процессов начинается сверху и представляет обобщенный взгляд на необходимые для деятельности ресурсы и конечный результат (рис. 1). Такая диаграмма называется контекстной.

Объектом ведения лесного хозяйства является лесной фонд. Трудно однозначно определить место лесоустройства в функциональной модели. С одной

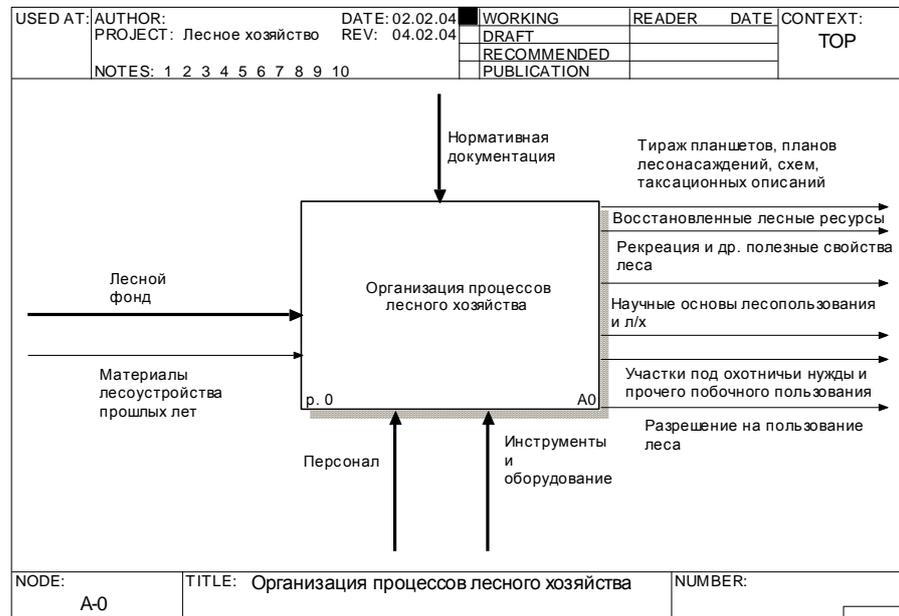


Рис. 1. Контекстная диаграмма организации процессов лесного хозяйства

стороны, это часть лесного хозяйства, но в то же время оно первично и все лесохозяйственные мероприятия могут быть осуществлены только на основе лесоустроительного проекта. Поэтому на диаграмме лесоустройству отведена роль «пусковой кнопки». Такая модель соответствует периодическому лесоустройству. Материалы прошлого (точнее последнего) лесоустройства являются входящим информационным потоком.

При непрерывном лесоустройстве в роли прошлого лесоустройства выступает базовое с внесенными в результате текущих инвентаризаций изменениями. Текущим инвентаризациям на диаграмме отводится место управляющих элементов.

Для более точного понимания имен потоков существует возможность их описания, а в дальнейшем формирования из этого описания отчетов – глоссария надписей к стрелкам по всей модели или ее части (табл. 1). Основные результаты лесохозяйственной деятельности: разрешение на пользование лесом, восстановленные лесные ресурсы, тираж планшетов, планов лесонасаждений, схем, таксационных описаний, лесной фонд, обустроенный под человеческие нужды (рекреационные, водоохранные, ресурсозащитные и т.д., участки под охотничьи нужды и для прочего побочного пользования, а также участки, отведенные под научные исследования). Вся работа должна проводиться квалифицированными специалистами на основании специализированных нормативных документов при помощи специальных инструментов.

Одной из наиболее важных особенностей методологии SADT является постепенное введение все больших уровней детализации по мере создания диаграмм, отображающих модель. Так, следующей за контекстной диаграммой

Таблица 1

**Потоки данных в функциональной модели
«Организация процессов лесного хозяйства»**

Поток	Определение
Восстановленные лесные ресурсы	Лесные ресурсы, которые были восстановлены.
Корректировка плана	Внесенные изменения в план лесопользования и лесохозяйственной деятельности.
Лесной фонд	Земли, занятые лесом или предназначенные для выращивания леса, а также для ведения лесного хозяйства.
Материалы лесоустройства	Пояснительная записка к проекту организации и ведения лесного хозяйства; ведомости проектируемых мероприятий; таксационные описания; планшеты; планы лесничества и т.д.
Научные основы лесопользования и лесного хозяйства	Достижения лесной науки, позволяющие научно обосновано вести лесное хозяйство.
Обустроенный лесной фонд	Лесной фонд, в котором произведено лесоустройство.
Нормативная документация	Для организации лесоустроительных работ – обязательные технические инструкции и правила производства лесоустроительных работ, которые определяют организацию и технику лесоустройства и составляются федеральными органами лесного хозяйства, а также материалы результатов лесохозяйственной деятельности за прошедшие годы; для лесовосстановления – нормативы лесного и природоохранного законодательства, лесной кодекс; для регулирования пользования лесом – правила заготовки древесины, правила подсочки в лесах, правила проведения прочего лесопользования; для охраны лесов – правила охраны и защиты леса.
Персонал	Инженеры и рабочие, участвующие в подготовке и выполнении работ по ведению лесного хозяйства.
План лесопользования и лесохозяйственной деятельности	План ведения лесного хозяйства на период до следующего лесоустройства (ревизионный период).
Подготовленные к работе снимки	Снимки, проверенные на качество и соответствие заданию, распределенные по таксационным участкам, с нанесенными ходовыми линиями, с контурным дешифрованием, с распознанными и закрепленными на снимке границами выделов.
Разрешение на пользование леса (лицензия)	В зависимости от вида пользования леса выдается соответствующее разрешение.
Результаты изучения материалов	Результат анализа материалов лесоустройства прошлых лет.
Список наличного состава экспедиции	Список наличного состава экспедиции.
Список состава сформированной партии	Состав партий для проведения полевых работ.
Снимки	Снимки со сроком давности в объектах интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопользования – 3 года, в объектах с экстенсивным ведением лесного хозяйства – не более 5 лет.

Продолжение табл. 1

Поток	Определение
Тираж планшетов, планов лесонасаждений, схем, таксационных описаний	Основные документы, которые раскрывают подробную подробную выделенную таксационную и хозяйственную характеристику лесного фонда.
Условия, при которых будут выполняться работы	Условия, при которых будут выполняться работы для расчета сметы и договора на производство работ.
Участки после рубок главного пользования	Вырубки – не покрытые лесом земли; места, на которых лес сведен в результате проведения рубок леса, а молодое поколение еще не сомкнулось кронами.
Рекреация и другие полезные свойства леса	Водоохранный лес – лес, растущий у истоков рек и ручьев, по берегам водоемов и водотоков, а также занимающий те места на водосборах, которые определяют водность бассейна. Водоохранные леса регулируют водный сток, защищают водоем от заиления, подмыва берегов и т.д. Защитный лес – естественная или посаженная древесно-кустарниковая растительность, сохраняемая или культивируемая в целях создания благоприятной природной среды для жизни людей; регулирования водного режима; предупреждения эрозии почв; создания условий для жизни ценных животных; защиты технических и строительных объектов от заноса снегом, песком, пылью и т.д. Полезащитный лес – естественные или посаженные участки лесной растительности, предназначенные для создания благоприятных микроклиматических условий развития культурных растений и защиты полей от эрозии, пыльных бурь и т.п. Рекреационный лес – естественный или посаженный лес, используемый для отдыха и санаторно-курортного лечения. Ресурсозащитная территория – природная охраняемая территория, на которой в условиях частичной охраны природных комплексов от хозяйственных вмешательств достигается развитие или относительно полное сохранение одного или нескольких видов природных ресурсов, позволяющих их воспроизводить. Склонозащитный лес – естественная и посаженная лесная растительность, защищающая крутые склоны от размывания и других видов эрозии. Рыбоохранный лес – естественная или посаженная лесная растительность по берегам водоемов, создающая благоприятные условия для жизни и размножения ценных видов рыб.
Участки под охотничьи нужды и для прочего побочного пользования	Участки для сбора ягод, грибов, пастьбы скота, сбора меда, добытия мяса лесных зверей и птиц, пушнины, пера и т.д. Охотничьи угодья по законодательству РФ – все земельные, лесные и водопокрытые площади, которые служат местом обитания диких зверей и птиц и могут быть использованы для ведения охотничьего хозяйства.

будет диаграмма, отображающая основные направления деятельности лесного хозяйства: организация процесса лесоустройства, регулирование использованием леса, лесовосстановление и рубки ухода, охрана лесов от пожаров, вредителей и болезней (рис. 2). Все эти подсистемы взаимодействуют, передавая последова-

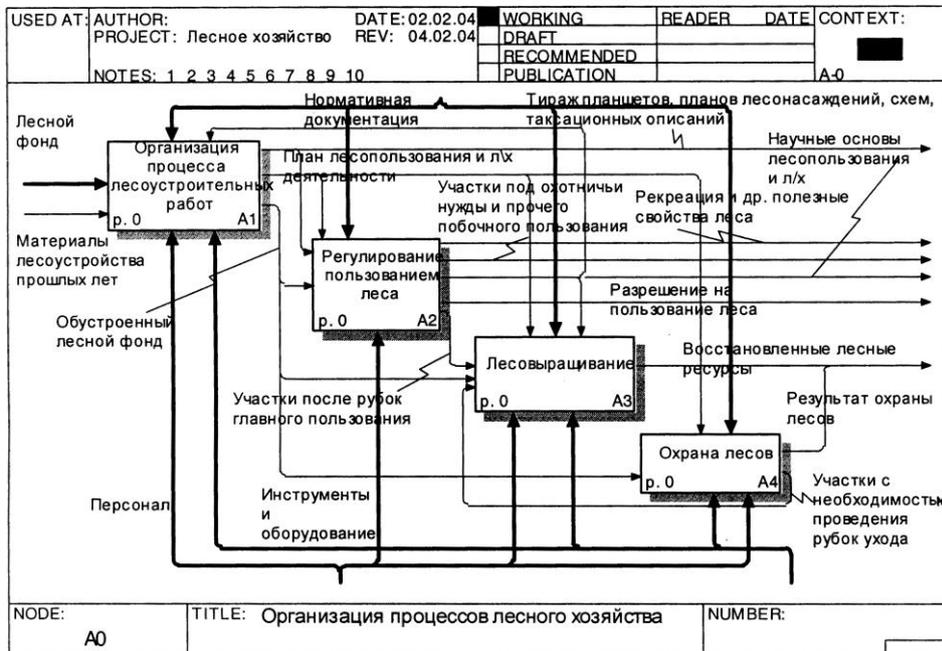


Рис. 2. Диаграмма основных направлений деятельности лесного хозяйства

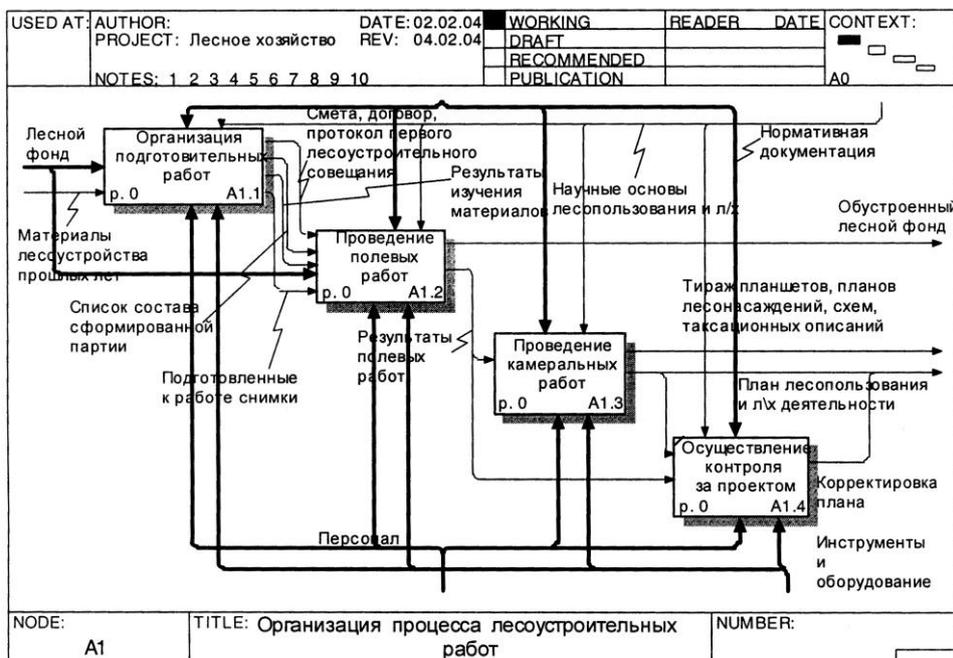


Рис. 3. Разбивка лесоустроительных работ на этапы

тельно друг другу необходимую информацию и объекты для продолжения работ по ведению лесного хозяйства. Характеристики всех проводимых работ также формируются в глоссарий (табл. 2).

Далее каждая подсистема подразделяется на основные этапы проведения работ. Так, подсистема лесоустроительных работ включает в себя подготовительные, полевые и камеральные этапы, а также работы по осуществлению контроля за выполнением проекта (рис. 3).

Регулирование пользования леса состоит из регулирования прямым, побочным, природным использованием леса. Лесовыращивание подразделяется на лесовосстановление, проведение рубок ухода и мониторинга участка, перевод в покрытую лесом площадь. Охрана леса в свою очередь подразделяется на экологическую оценку лесов, выявление и оценку ресурсов аварийной древесины, охрана лесов от пожаров, проведение лесопатологического надзора.

Таблица 2

**Перечень работ функциональной модели
«Организация процессов лесохозяйственной деятельности»**

Вид работ	Определение
Организация процессов лесного хозяйства	Лесное хозяйство – отрасль материального производства, включающая изучение, учет, воспроизводство, охрану и защиту лесов, регулирование их использования для удовлетворения потребностей населения в лесных ресурсах.
Проведение предварительной дешифровки снимков	Определение видового состава насаждения, границ участков, прокладка ходовых линий.
Организация процесса лесоустроительных работ	Комплекс работ по организации лесного фонда, описанию (таксации), учету и изучению лесов, разработке проектов ведения лесного хозяйства на перспективный период. При лесоустройстве определяются основные положения наиболее эффективного использования и воспроизводства лесных ресурсов устраиваемого объекта, возрасты рубок, расчетные лесосеки (оптимальная норма ежегодной рубки леса), методы и необходимые объемы рубок ухода, лесовосстановительных и др. работ. Базовое лесоустройство повторяется в хозяйственной единице через 10–15 лет. Непрерывное лесоустройство осуществляется на участках, где проводятся хозяйственные мероприятия; на участках, подвергшихся стихийным или иным воздействиям; на участках, которые в установленном порядке изменили юридический статус (группа лесов, категория защищенности).
Организация подготовительных работ	Подготовительные работы выполняются в год, предшествующий году основных полевых работ.
Изучение материалов по территории	Уточнение границ устраиваемого объекта путем полного сбора и тщательного анализа планово-картографических документов прежнего лесоустройства с изменениями к ним; изучение существующего деления лесов на группы и категории защищенности; определение объема новой съемки границ и инструментального восстановления заросших границ; составление проекта квартальной и визирной сетей.

Продолжение табл. 2

Вид работ	Определение
Выполнение аэро- и космической съемки	Аэросъемка проводится специализированными подразделениями департамента воздушного транспорта Министерства транспорта и другими организациями, имеющими лицензию на производство аэрофотосъемки, по договорам с государственными лесоустроительными предприятиями. Аэрофотосъемку следует проводить за 2 года до основных полевых лесоустроительных работ. Перед заключением договора на аэрофотосъемку лесоустроители выявляют возможность использования материалов аэрофотосъемки других ведомств (землеустройства, геологоразведки и пр.). Если такие материалы имеются и удовлетворяют технических условиям, то они приобретаются лесоустроителями, и новая аэрофотосъемка на этих частях территории устраиваемого объекта не производится. При необходимости проведения работ с применением материалов космических съемок государственные лесоустроительные предприятия заключают договор на их получение с организациями Федеральной службы геодезии и картографии.
Формирование полевых партий	Выявление возможностей найма рабочей силы непосредственно в районе работ и установление необходимого числа рабочих; выявление вопросов найма жилья для работников экспедиции, снабжение их продовольствием.
Проведение полевых работ	Во время полевых работ производится таксация, т.е. поучастковое описание лесов. При этом с помощью специальных лесотаксационных приборов определяется породный состав древостоев, возраст, средняя высота и диаметр деревьев, запас сырорастающего и сухостойного леса на 1 га, товарность и др. характеристики леса. Данные таксации каждого лесного участка вносятся в стандартные карточки таксации.
Проведение камеральных работ	В процессе камеральных работ производится обработка и анализ результатов полевых работ.
Осуществление контроля за проектом	Сбор и анализ сведений о выполненных за истекший ревизионный период работах.
Регулирование пользованием леса	Важной задачей как лесного, так и охотничьего хозяйства является правильное регулирование численности промысловых животных в лесу в расчете на единицу площади. Побочное пользование лесом должно проводиться на основе правильного сочетания принципов многоцелевого лесного хозяйства с требованиями разумной специализации отдельных его участков.
Лесовыращивание	Лесовосстановление применяется для образования новых лесных площадей или улучшения состава древесных пород. Важное значение придается эффективному использованию естественных возобновительных сил природы путем применения соответствующих систем рубок, сохранения при лесозаготовках молодого поколения (подроста), что обеспечивает естественное возобновление леса на значительных площадях.
Охрана лесов	Включает: а) обеспечение охраны лесов нормативной базой, определяемой лесной политикой страны, устанавливаемой лесным законодательством; б) технические мероприятия, направленные на сохранение лесов от лесных пожаров, вредителей и болезней; в) действие лесной охраны, порядок и правила применения правовых норм, направленных на сбережение лесов.

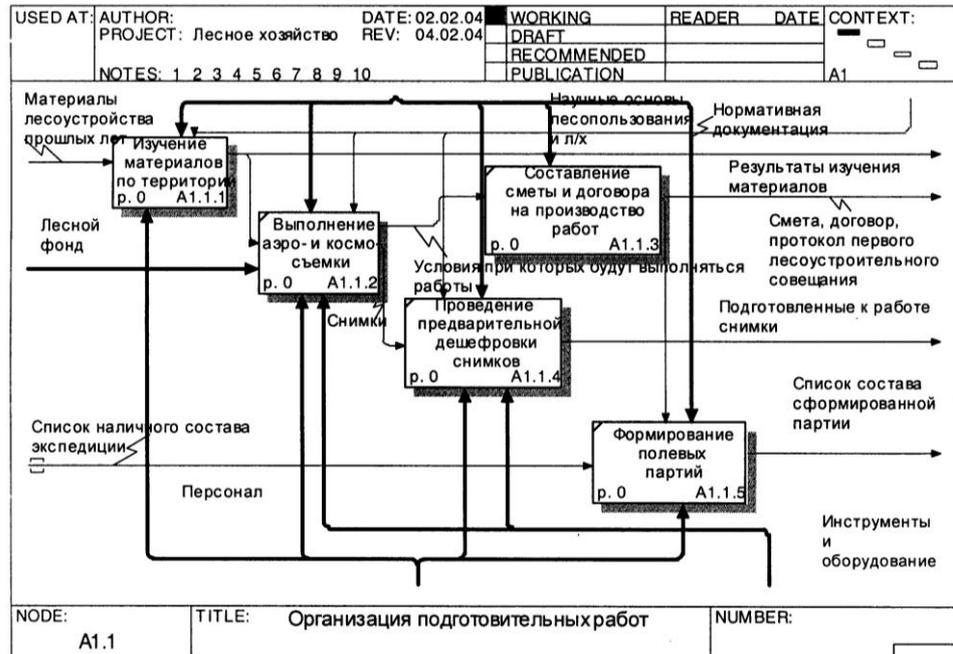


Рис. 4. Разбивка подготовительных работ лесостроительства на процессы

Следующий уровень декомпозиции – разбивка этапов на процессы, которые в свою очередь будут делиться на процедуры, и так далее до требуемого уровня вложенности. Например, организация подготовительных работ по лесостроительству включает следующие процессы: изучение материалов по территории, выполнение аэро- и космической съемки, составление сметы и договора на производство работ, проведение предварительной дешифровки снимков, формирование полевых партий (рис. 4). Предложенная модель в целом представляет собой взаимосвязанные процессы лесного хозяйства и наглядно демонстрирует информационные потоки между ними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 176 с.
2. Гурьев А.Т., Абрамова Л.В., Кузнецова Е.А. Функциональное моделирование процессов лесного комплекса: Учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. – 137 с.
3. Ердяков С.В., Трубин Д.В. Проблемы северотаежного лесостроительства и эффективного использования лесных информационных ресурсов с применением современных технологий.

АГТУ
Архангельская лесостроительная экспедиция
Департамент администрации Архангельской области

Поступила 16.02.04.

A.T. Gurjev, L.V. Abramova, S.V. Torkhov, D.V. Trubin
Functional Modelling of Forestry

Functional modeling is offered for use to realize sustainable, non-exhaustible, high-efficient forestry.