

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

*Лесной журнал*

Издается с февраля 1958 г.

Выходит 6 раз в год

1

1994

ИЗДАТЕЛЬ — АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Проф. **Ю. Г. Бутко**, проф. **А. В. Веретенников**, проф. **Е. Д. Гельфанд**,  
 проф. **И. И. Гусев**, проф. **Р. Е. Калитеевский**, проф. **А. Н. Кириллов**,  
 проф. **Н. П. Коваленко**, акад. **В. А. Кучерявый**, проф. **Н. В. Лившиц**,  
 проф. **Е. Г. Мозолевская**, доц. **О. А. Неволлин**, акад. **А. Н. Обливин**,  
 акад. **В. И. Онегин**, акад. **А. Р. Родни**, д-р биол. наук **Л. П. Рысин**,  
 проф. **В. П. Рябчук**, проф. **Е. Д. Сабо**, проф. **В. И. Санев**, акад. **О. А. Тер-**  
**рентьев**, проф. **Н. И. Федоров**, проф. **В. Я. Харитонов**, д-р с.-х. наук  
**Г. А. Чибисов**, акад. **Г. М. Шутов**, проф. **В. В. Щелкунов**, проф.  
**А. А. Эльберт**.

Ответственный секретарь **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 вузов и техникумов, студентов старших курсов лесотехнических институтов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
 «ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 1

Редакторы **Н. П. Бойкова**, **Л. С. Окулова**. Корректор **Л. Л. Аксенова**.

Сдан в набор 02.03.94. Подписан в печать 1.08.94.  
 Форм. бум. 70 × 108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага мелованная. Гарнитура литературная. Печать высокая.  
 Усл. печ. л. 12,776. Усл. кр.-отг. 12,776. Уч.-изд. л. 15,51. Тираж 1000 экз. Заказ 784.  
 Архангельский государственный технический университет

Адрес редакции: 163007, Архангельск, 7, наб. Сев. Двины, 17, тел. 44-13-37.

Типография издательства «Правда Севера», 163002, г. Архангельск, пр. Новгородский, 32

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

А. В. Веретенников. Горизонты лесной биотехнологии . . . . .	7
Е. Д. Сабо, А. А. Турбин. Класс текущего бонитета по верхней высоте и его использование при бонитировании и анализе хода роста древостоев . . . . .	11
А. Ф. Хайретдинов, А. К. Габдельхаков, К. М. Габдрахимов. Распределение надземной фитомассы в снытьевых липняках Башкирского Предуралья . . . . .	14
Н. А. Бабич, В. П. Прохоров. Влияние осадков и температуры воздуха на прирост культур сосны в высоту . . . . .	18
Е. Г. Тюрин. Динамика таксационных показателей модальных древостоев Европейского Севера . . . . .	23
Г. С. Войнов. Оценка продуктивности сосновых лесов Архангельской области на типологической основе в статике . . . . .	27
С. Н. Орловский, Э. Г. Филимонов. Оптимальные параметры лесопожарных агрегатов . . . . .	32

### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

А. В. Жуков, С. Э. Бобровский. Исследование динамической нагруженности трансмиссии колесного лесного трактора на базе МТЗ-82 . . . . .	38
С. И. Морозов. К вопросу о решении задач удара на лесотранспорте . . . . .	40
П. М. Мазуркин. Функциональная классификация лесных машин . . . . .	47
Е. А. Шекалов, Э. Д. Втюрина. Потребление и рекуперация электроэнергии при спуске на воду пучков бревен . . . . .	50
А. М. Качнев. Методика выбора конструктивных параметров балансирных тележек колесных лесопромышленных тракторов . . . . .	53
Б. Б. Демидовский, Б. Д. Васильев-Козлов, О. Д. Орленко. Результаты испытаний гребневых тормозных колодок из чугунно-капронового прессматериала на маневровых тепловозах . . . . .	58

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Ю. М. Иванов. Влияние размеров элементов на прочность конструкций при изгибе . . . . .	62
В. Г. Турушев, А. Е. Алексеев. Технологическое и информационное обеспечение многоцелевого раскроя круглых лесоматериалов . . . . .	66
И. С. Межов. Экономико-математическая модель переработки древесины с применением брусово-сегментного способа раскроя бревен . . . . .	71
Е. Н. Серов. Особенности разрушения стандартных образцов и их связь с работой конструкций . . . . .	75

### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

О. М. Соколов, Г. Г. Кочергина, Л. В. Майер. Хроматография технических лигнинов на различных гелях . . . . .	80
А. В. Гурьев, В. И. Комаров, Г. И. Чижов. Формирование характеристик деформативности и прочности картона-лайнера в технологическом потоке КДМ . . . . .	86
И. С. Гелес, М. В. Мелех, Ю. М. Клеманский, М. А. Коржова, Г. М. Левкина. Изучение химического состава и строения целлюлозы коры ели, сосны и лиственницы . . . . .	92
В. И. Комаров. Деформативность целлюлозно-бумажных материалов при изгибе . . . . .	96
Т. Э. Скребец, А. Ю. Гурьев, Н. В. Рябева, К. Г. Боголицын. Термодинамика поведения лигнина в растворителях различной природы . . . . .	103

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Е. С. Романов. Особенности перехода к рыночным отношениям на лесосплаве . . . . .	111
---	-----

---

 КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- Э. Н. Сабуров, А. Н. Орехов. Расчет аэродинамических характеристик циклонных камер большой относительной длины . . . . . 115

## ИСТОРИЯ НАУКИ

- Г. И. Редько. Полковник корпуса лесничих В. Е. фон Графф (к 150-летию степного лесоразведения в России) . . . . . 125
- В. А. Исаев. Профессор В. Э. Ден — защитник русского леса . . . . . 131

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- Е. Г. Тюрин, О. А. Неволин. Ценная книга о лесных законах Петра I . . . . . 135
- А. В. Веретенников. Монография о структуре и функциях фотосинтетического аппарата хвои ели сибирской . . . . . 137

## ЮБИЛЕИ

- Коллектив кафедры водного транспорта леса, гидравлики и водных ресурсов Марийского политехнического института. Юбилей Юрия Яковлевича Дмитриева . . . . . 139
- Коллеги и ученики. Выдающийся ученый и педагог . . . . . 140
-

## CONTENTS

### FORESTRY

A. V. Veretennikov. Horizons of Forest Biotechnology . . . . .	7
E. D. Sabo, A. A. Turbin. Present-Day Quality Class on Upper Height and its Application at Assessing the Yield Capacity of Soil and Analysing the Stands Growth Process . . . . .	11
A. F. Khairtdinov, A. K. Gabgel'khakov, K. M. Gabdrakhimov. Distribution of Overground Phytomass in Snyt' Lime-Tree Forests in Bashkir Preduralie . . . . .	14
N. A. Babich, V. P. Prokhorov. Influence of Rainfall and Air Temperature on Pine Stands Height Increment . . . . .	18
E. G. Tyurin. Dynamics of Modal Stands Inventory Indices in the European North . . . . .	23
G. S. Voinov. Productivity Evaluation of Pine Forests in Archangelsk Region on the Typological Basis in Statics . . . . .	27
S. N. Orlovsky, E. G. Filimonov. Optimum Parameters of Booster Units . . . . .	32

### WOODEXPLOITATION

A. V. Zhukov, S. E. Bobrovsky. Investigation into Dynamic Transmission Load of Wheeled Forest Tractor . . . . .	38
S. I. Morozov. On Solving Impact Problems in Forest Transport . . . . .	40
P. M. Mazurkin. Influence of Rainfall and Air Temperature on Pine Stands Height Increment . . . . .	47
E. A. Shekalov, Z. D. Vtyurina. Consumption and Recuperation of Electric Power at Launching of Log Bundles . . . . .	50
A. M. Cochnev. Methods of Forwarder Balance Bogie Construction Parameters Selection . . . . .	53
B. B. Demidovsky, B. D. Vasiliev-Kozlov, O. D. Orlenko. The Results of Cast-Iron-Kapron Cogging Brake Shoes Tests on Shunting Diesel Locomotives . . . . .	58

### MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

Yu. M. Ivanov. The Effect of Construction Member Dimensions on their Strength When Bending . . . . .	62
V. G. Turishev, A. E. Alexeev. Technological and Information Support of Multipurpose Roundwood Cutting . . . . .	66
I. S. Mezhev. Economico-Mathematical Model of Timber Conversion Using . . . . .	71
E. N. Scrov. Features of Standardized Samples Failure and their Relation to the Performance of Structures . . . . .	75

### CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

O. M. Sokolov, G. G. Kochergina, L. V. Maier. Chromatography of Different Technical Gel Lignins . . . . .	80
A. V. Guriev, V. I. Komarov, G. I. Chizhov. Forming the Properties of Deformity and Strength of Paperboard in the Technological Process of PMM . . . . .	86
I. S. Geles, M. V. Melekh, Yu. M. Klemanskii, M. A. Korzhova, G. M. Levkina. Investigation into Chemical Composition and Structure of Spruce, Pine and Larch Bark Cellulose . . . . .	92
V. I. Komarov. Deformity of Pulp and Paper Materials When Bending . . . . .	96
T. E. Skrebets, A. Yu. Guriev, N. V. Ryabeva, K. G. Bogolitsyn. Thermodynamics of Lignin Behaviour in the Solvents of Different Nature . . . . .	103

### ECONOMICS AND MANAGEMENT

E. S. Romanov. Features of Transfer to Market Relations in Timber Floating . . . . .	111
--	-----

---

 SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE

- E. N. Saburov, A. N. Orckhov.* Calculation of Aerodynamic Properties of Cyclone Chambers of Major Relative Length . . . . . 115

## HISTORY OF SCIENCE

- G. I. Red'ko.* Colonel of Foresters' Corps, V. E. von Graff (towards the 150 th Anniversary of Steppe Afforestation in Russia) . . . . . 125
- V. A. Isacv.* Professor V. E. Den - Protector of Russian Forest . . . . . 131

## CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- E. G. Tyurin, O. A. Nevolin.* Valuable Book about Forest Laws of Peter the First 135
- A. V. Veretennikov.* Monograph on Structure and Functions of Photosynthetic Apparatus of Siberian Spruce Needles . . . . . 137

## JUBILEES

- The Staff of the Department of Water Transportation of Timber, Hydraulics and Water Resources of Mari Polytech.* Jubilee of Yury Ya. Dmitriev . . . . . 139
- Colleagues and Students.* A Distinguished Scientist and Teacher . . . . . 140
-

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*12

А. В. ВЕРЕТЕННИКОВ

Воронежский лесотехнический институт

## ГОРИЗОНТЫ ЛЕСНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрены три основных направления современной лесной биотехнологии. Отмечены достижения в области микроклонального размножения, соматической гибридизации и генетической трансформации древесных растений, утилизации древесных отходов. Намечены пути дальнейшего развития лесной биотехнологии.

Three principal trends of modern forest biotechnology are considered. The achievements in the field of microclone propagation, somatic hybridization and genetic transformation of woody plants, utilization of wood residues are pointed out. The ways of further development of forest biotechnology are outlined.

Современный достаточно высокий уровень биологических наук связан прежде всего с совершенствованием метода культуры тканей и клеток в физиологии растений, развитием биохимии, молекулярной биологии и молекулярной генетики. В настоящее время происходит интеграция физиологии растений, молекулярной генетики и селекции. Ярким примером такой интеграции является бурное развитие во всем мире биотехнологии, т. е. особой отрасли науки, основанной на использовании микроорганизмов, биокатализаторов, например ферментов и других биологических систем в целях получения различных веществ (гормоны, витамины, аминокислоты, антибиотики и другие лекарства), утилизации различных органических отходов, очистки сточных вод, микроклонального размножения элитного растительного материала, повышения устойчивости растений к болезням и вредителям, а также создания новых сортов и форм растений, в том числе путем генетического преобразования последних. Иными словами, биотехнология — использование живых организмов и биологических процессов в производстве.

Известны четыре основных направления общей биотехнологии: микробиологическое, инженерно-энзимологическое, клеточная и генетическая инженерия. Первое возникло на заре человеческой цивилизации (хлебопечение, виноделие, сыроварение, пивоварение и др.) и продолжает использоваться до настоящего времени. Инженерная энзимология берет начало в 1916 г., когда ученым удалось управлять работой ферментов вне клетки, вне организма. Клеточная инженерия возникла позже культивирования клеток животных и первых успехов достигла в 30-е гг., а бурно стала развиваться в 60—70-е гг. Годом зарождения генетической инженерии растений и животных считают 1972 г., когда была получена первая искусственная или рекомбинантная ДНК.

Основными и наиболее перспективными направлениями лесной биотехнологии являются клеточная и генетическая инженерия, а также биотехнологическая утилизация древесных отходов (см. схему).

Клеточная инженерия древесных растений возникла на базе культуры клеток и тканей и впервые использовалась для клонального выращивания и микроразмножения лесных деревьев в 1940 г. Р. Готре и в 1949 г. К. Жакью во Франции [2, 3]. Объектами их исследований были представители семейств ильмовых, березовых, ивовых и др. Лесная ге-



нетическая инженерия датируется 1984 г., когда была успешно осуществлена генетическая трансформация сосны ладанной [13].

Микроклональное размножение ценных и элитных форм древесных растений *ин vitro* основано на свойстве тотипотентности — способности любой растительной (но не животной) клетки при обеспечении питанием и наличии других оптимальных внешних факторов давать начало целому растению. В данном случае проявляется скрытая потенциальная экспрессия генов, в частности отвечающих за переход к репродуктивной фазе развития. Указанное свойство ярко проявляется у отдельно взятых вне организма соматических клеток. Этот вид размножения является не только наиболее эффективным способом получения массового высококачественного посадочного материала из исходного элитного, но и существенно ускоряющим сроки размножения, что особенно важно для многолетних древесных растений. Наиболее удобными для микроклонального размножения в культуре клеток и тканей оказались меристемы почек, семядоли, ткани молодых побегов, а также диски листьев ([7] и др.). В качестве питательных служат среды Мурасиге — Скуга, Миллера, ДКВ и др. Все операции производятся в асептических условиях, а первые фазы органогенеза — в темноте при температуре 25 °С. Этим методом удобно получать безвирусные растения.

В клеточной инженерии древесных растений весьма перспективен соматический эмбриогенез — процесс образования биологических структур, сходных с зародышем, как из гаплоидных, так и из диплоидных клеток без оплодотворения гамет. Наилучшими объектами соматического эмбриогенеза являются ткани незрелых зародышей семян древесных пород, а также ткани семядолей и даже зеленых листьев. В 1 л питательной смеси получают несколько тысяч эмбрионидов древесных растений, которые можно обернуть в капсулу — искусственную оболочку и хранить в таком виде в течение 6 мес до посева (искусственные семена) или использовать без оболочки для различного рода манипуляций в культуре *ин vitro*, в том числе для генетического улучшения исходных форм. К настоящему времени положительные результаты получены для более чем 60 видов древесных растений ([1, 8, 10] и др.).

Культура зародыша *ин vitro* особенно важна для получения межвидовых и межродовых гибридов древесных растений, когда скрещивание произошло, но эндосперм семени формируется недоразвитым. В процессе соматического эмбриогенеза происходит омоложение растительных тканей, органов и организма в целом, что очень важно как при клеточной, так и генетической инженерии древесных растений. Важно также подчеркнуть, что для получения массового посадочного материала требуется небольшая площадь.

Вместе с тем до самого последнего времени перед исследователями вставал и ряд трудностей. Одной из них являлась чрезмерная нежность растений в пробирках. Понадобились годы напряженного труда, чтобы решить эту задачу. Регенераты из пробирок пересаживали в горшки и выдерживали первое время в теплице, а затем в парниках и только после этого высаживали на лесокультурную площадь. Время пребывания таких растений в теплицах для хвойных пород в среднем равно около 2 месяцев, в парниках — около 2 недель. Пока еще высока цена посадочного материала древесных пород, выращенного в пробирках, но с использованием автоматизированных линий она будет стремительно падать.

Интенсивно развивается и метод клонирования голых (без оболочек) протопластов из различных тканей древесных растений. Из таких изолированных протопластов на указанных средах культуры *in vitro* получают целые растения, а путем слияния протопластов разных видов деревьев — цибриды и гибриды. К настоящему времени удалось успешно выделить голые протопласты из различных тканей древесных растений, получить из них микрокалусы и даже целые растения ([11] и др.). Этим методом удобно также переносить отдельные гены, а также ДНК органелл, особенно у сексуально несовместимых видов древесных растений. Интенсивные исследования в этом направлении продолжаются.

Одним из путей получения гаметоклоновых форм древесных пород является культура пыльцы, что существенно ускоряет селекционный процесс в лесном хозяйстве.

С помощью метода культуры клеток и тканей возможно сохранить генетическую плазму древесных растений, транспортировать ее на расстояние, а также, как показано ранее, получить новую. Этот метод оказался весьма полезным и при испытании потомства древесных растений.

Второе весьма перспективное направление лесной биотехнологии — генетическая инженерия, под которой понимается создание рекомбинантных (гибридных) ДНК и трансгенных древесных пород с новыми наследственно закрепленными хозяйственно ценными признаками: повышенным иммунитетом, устойчивостью к гербицидам, избытку солей в почве, повреждению насекомыми, поеданию животными, способностью к азотфиксации и др. С помощью особых ферментов рестриктаз удается получать фрагменты ДНК, содержащие интересующие исследователя гены, а с помощью электрофореза в специальном агаре их разделять, распознавать. К настоящему времени разработаны и способы введения чужеродных генов в геном растения, реципиента. Таких способов довольно много, но все они подразделяются на две большие группы: введение с помощью векторов и векторных систем и прямое.

Наиболее удобным в качестве векторов оказались мелкие кольцевые ДНК — плазмиды почвенных опухолеродных (*Agrobacterium tumefaciens*) и ризогенных агробактерий (*Agrobacterium rhizogenes*). Они оказались прекрасными природными генными инженерами — при соприкосновении с пораненной поверхностью растений вызывают серьезные раковые заболевания: корончатый галл и бородатый корень.

Интересующий ген  $x$  вводится в плазмиду, а затем с ее помощью и в геном дерева. Экспрессия чужеродного гена проверяется особыми методами (опиновый анализ, способность к росту в среде без фитогормонов и др.).

Из методов прямого введения генов в геном древесных растений следует назвать следующие: 1) микроинъекции в изолированные протопласты молекул ДНК с чужеродными генами в ядерный аппарат растений; 2) электрополирование — воздействие на клетку электрическими импульсами с последующим введением рекомбинантной ДНК; 3)

перенос ДНК с помощью высокоскоростного аппарата; 4) трансформация протопластов с помощью ряда химических веществ и введение гена [6].

В последние годы с использованием главным образом онкогенных и неонкогенных штаммов агробактерий получены трансгенные тополя, гибриды орехов, сосны, ивы, ели, лжетсуга, яблоня и другие виды древесных растений, в том числе устойчивых к гербицидам [9] и нападению насекомых [5, 12].

Третье направление лесной биотехнологии предполагает получение компостов и субстратов из древесной коры, опилок, гидролизного лигнина и других древесных отходов. Достаточно напомнить, что только на лесопильных предприятиях России в отходы вывозится в целом более 12 млн м<sup>3</sup>, коры около 8 млн м<sup>3</sup>, 30 % перерабатываемой массы древесины в гидролизном производстве приходится на гидролизный лигнин. Складирование древесной коры, опилок, лигнина или их сжигание приводят к загрязнению окружающей среды, ухудшению санитарно-гигиенических условий, значительным непроизводительным затратам и потере огромных масс органического вещества. Недаром в Декларации X Всемирного лесного конгресса указана необходимость более полного использования лесных продуктов [4].

Микробиологическая переработка древесных отходов в целях получения гидролизного этанола, дрожжей, глюкозы и других полезных продуктов является традиционной и не нуждается в особых пояснениях. Опыт использования древесной коры, опилок, гидролизного лигнина и других отходов лесопильной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности в сельском и лесном хозяйстве достаточно широкий размах получили в 60-е гг. Сравнительно недавно древесные отходы стали использоваться в качестве субстрата для выращивания шампиньонов и различных форм вешенки.

Лесная биотехнология означает революцию в селекции древесных пород и в лесном хозяйстве в целом. Она принесла в лесное хозяйство и совершенно новое качество: лесной биотехнолог работает на уровне ученого. Однако она не заменяет традиционные методы улучшения древесных пород, а становится прекрасным их дополнением. Биотехнология решает и целый ряд экологических проблем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Божков П. В., Лебедеко Л. А., Ширяева Г. А. Клональное микро-размножение ели европейской путем соматического эмбриогенеза // *Анатомия, физиология и экология лесных растений*.— Петрозаводск, 1992.— С. 19—21. [2]. Бычкова Э. А. Активность камбия и паренхимных тканей отрезков ветвей древесных растений в культуре *in vitro*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук.— Л., 1963.— 15 с. [3]. Бычкова Э. А. Органогенез в первичной культуре некоторых древесных растений и влияние на него ряда физиологически активных веществ // *Сообщения по анатомии и физиологии древесных растений*.— Л., 1967.— С. 39—42. [4]. Декларация X Всемирного лесного конгресса // *Лесн. журн.*— 1991.— № 6.— С. 124—126.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Касса б Башн Амар Зеки. Культура тканей и генетическая трансформация гибридов ореха и тополя: Автореф. дис. ... канд. биол. наук.— Воронеж, 1993.— 23 с. [6]. Колесниченко В. М. Генетическая инженерия древесных растений // *Лесоведение*.— 1989.— № 6.— С. 73—83. [7]. Ahuja M. K. Somatic cell genetics of woody plants // *Klumer Acad. publishers*.— Dordrecht, Boston, London, 1988.— 242 p. [8]. Durzan D. J., Gupta P. K. Somatic embryogenesis and polyembryogenesis in douglas-fir cell suspension cultures // *Plant Science*.— 1982.— Vol. 52.— P. 229—235. [9]. Fillatti J. J., Seilmer J., Mc Cown B. et al. Agrobacterium mediated transformation and regeneration of *Populus* // *Mol. Gen. Genet.*— 1987.— Vol. 206.— P. 192—199. [10]. Hakman J., von Arnold S. Somatic embryogenesis and plant regeneration from suspension culture of *Picea glauca* (White spruce) // *Physiol. Plant.*— 1988.— Vol. 72, N 3.— P. 579—587. [11]. Russell J. A., Mc Cown B. N. Culture and regeneration of *Populus* leaf protoplast isolated from non-seedlings tissue // *Plant Science*.— 1986.— Vol. 46.— P. 133—142. [12]. Seilmer J. C., Mc Cown B. H. Biotechnology in agriculture and Forestry.— 1989.— Vol. 9.— P. 155—172. [13]. Two observation of crown gall infection in loblolly

pine: Evidence for transfer and expression of foreign genes / R. Sederoff, A. M. Stomp, W. C. Chilton, L. W. Moore // Ann. Rep. Spec. Project Tissue Culture School for Resour. North Carolina State Univ.—1984.—P. 1—10.

Поступила 28 января 1994 г.

УДК 630\*566

Е. Д. САБО, А. А. ТУРБИН

Московский государственный университет леса

### КЛАСС ТЕКУЩЕГО БОНИТЕТА ПО ВЕРХНЕЙ ВЫСОТЕ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ БОНИТИРОВАНИИ И АНАЛИЗЕ ХОДА РОСТА ДРЕВОСТОЕВ

Предложены таблицы для определения класса текущего бонитета по верхней высоте сосновых и еловых насаждений с переломом в ходе роста, наблюдаемым при резком изменении экологических условий. Приведен пример применения этих таблиц для анализа роста естественных ельников.

The tables for determination of the present-day quality class of locality on upper height of pine and spruce stands with the change in the growth process observed at sharp change in ecological conditions are offered. An instance of applying those tables for the analysis of the natural spruce forests growth is given.

В ряде случаев приходится оценивать ход роста древостоев в сильно изменяющихся во времени условиях, когда использование традиционного подхода с учетом возраста и средней высоты не дает приемлемых результатов. К таким случаям относятся гидротехническая мелиорация заболоченных почв, химическая мелиорация (применение местных и минеральных удобрений), резкое изменение экологических условий в силу естественных причин или при рубках ухода и др.

Так, определение бонитета осушенных насаждений по средней высоте и возрасту (принятое для условий суходолов) дает хорошие результаты только при возникновении насаждений на ранее осушенной площади или осушении в молодняках. Применение этого приема ко всем насаждениям, когда осредняются данные за два периода роста (до и после осушения), приводит к совершенно неприемлемым результатам, выражающимся в значительном занижении эффекта мелиорации. Для ликвидации этого недостатка и надежной характеристики условий роста древостоев только за период после осушения эстонский лесовод А. Матисен [5] предложил пользоваться так называемым текущим (динамическим) бонитетом, определяемым по средней высоте древостоя и текущему приросту в высоту за определенный, интересующий нас, промежуток времени по отдельным этапам роста.

В общем случае можно выделить три основных этапа роста насаждений: до осушения; от начала осушения до установления характерного для данных условий класса бонитета (переходный период); после достижения стабильного изменения класса бонитета. Аналогичные периоды можно выделить и при других видах сильных воздействий. В соответствии с этой схемой составлены таблицы для определения класса текущего бонитета (по текущему приросту и средней высоте) различных пород [2].

Анализируя причины отдельных резких отклонений приростов в высоту (и соответственно по объему) осушенных насаждений от нормальных, мы приходим к выводу, что здесь значительная роль принадлежит переформированию структуры древостоев в переходный период



по верхней высоте и определении возраста древостоев по числу годовичных слоев на высоте 1,3 м. Такие таблицы уже применяют в ряде стран, а в Латвии разработаны для ели Я. Матузанисом [6]. В условиях европейской части России бонитировочные таблицы по верхней высоте для сосны и ели составлены Н. Н. Сваловым [3, 4]; на их основе нами разработаны таблицы определения класса текущего бонитета для указанных случаев. Данные по сосне нами опубликованы ранее [2], по ели, полученные на основе таблиц Н. Н. Свалова [4], приведены в табл. 1.

К. К. Буш успешно применял такие таблицы, основанные на построениях по данным для 10 % наиболее высоких деревьев в осушенных еловых древостоях. Эти таблицы позволяют значительно расширить зону используемых высот древостоев, дающих надежные результаты бонитирования, и одновременно снизить зону неиспользуемых с 13... 17 в среднем до 6 м.

По указанным таблицам можно бонитировать еловые насаждения различной продуктивности, незаболоченные или заболоченные, но не подвергавшиеся осушению, т. е. без явных антропогенных вмешательств.

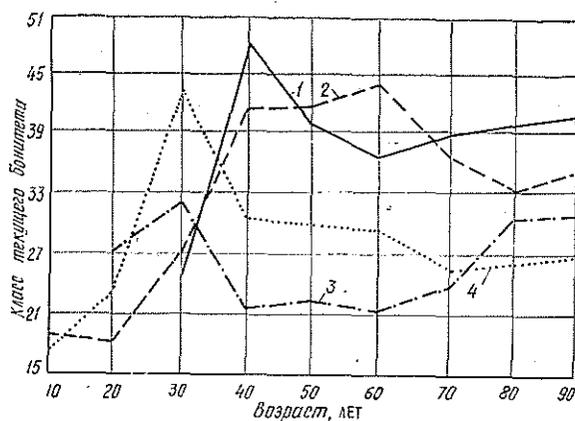
Такая работа была проведена нами для ельников на южных склонах Клинско-Дмитровской гряды (Московская область, Щелковский лесхоз, Огудневское лесничество), различающихся почвенно-грунтовыми условиями и продуктивностью. На четырех постоянных пробных площадях были отобраны модельные деревья со средним значением верхней высоты и изучен ход их роста. Краткая таксационная характеристика древостоев приведена в табл. 2.

По приростам в высоту за десятилетие на протяжении всего роста дерева определяли классы текущего бонитета (см. рисунок). Из графиков видно изменение этих классов с возрастом для естественно произрастающих еловых насаждений, не испытывающих заметных антропогенных воздействий. Характерно возрастание класса текущего бонитета в первые периоды роста насаждений. Наблюдаемое в ряде случаев его снижение отражает момент «сидения» ели под пологом. Сдвиг вершины максимального класса текущего бонитета в сторону меньшего возраста происходит с уменьшением продуктивности древостоев. Некоторое снижение класса текущего бонитета в спелом возрасте наблюдается у древостоев III класса бонитета (по М. М. Орлову). Остальные древостои к 80-летнему возрасту (Ia класса — к 60-летнему) приобрели устойчивые показатели с незначительным увеличением класса текущего бонитета (при стабилизации прироста в высоту). Выраженная динамика классов текущего бонитета на протяжении жизни древостоев свидетельствует о высокой «чувствительности» этого показателя.

Таблица 2

№ пробной площадки	Площадь, га	Состав древостоя	Возраст преобладающей породы, лет	Полнота	Средний диаметр ели, см	Средняя высота, м	Класс бонитета	Почва*	Среднее значение верхней высоты, м
1	0,5	8Е2Ос + Б	80	0,7	26,7	24,6	I	П1Д лс ог М	33,5
2	0,4	9Е1Б, ед. С, Ос	80	0,5	23,9	17,5	III	Торфяник	27,0
3	0,5	8Е2Б + С, Ос	80	0,6	21,5	21,6	II	П2Д сс ПС/М	26,5
4	0,5	7Е1Б2Ос + С	80	0,7	27,4	28,1	Ia	П2Д тс ПС	36,0

\* П1Д лс ог М — дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на морене; П2Д сс ПС/М — дерново-среднеподзолистая на покровном суглинке, подстилаемом мореной; П2Д тс ПС — дерново-среднеподзолистая тяжелосуглинистая на покровном суглинке.



Зависимость класса текущего бонитета от возраста древостоя: 1 — Ia класс бонитета (пробная площадь № 4); 2 — I (№ 1); 3 — II (№ 3); 4 — III (№ 2)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Буш К. К. Текущий бонитет и хозяйственный возраст при таксации осушенных лесов // Лесн. хоз-во.— 1974.— № 6.— С. 42—47. [2]. Сабо Е. Д., Иванов Ю. Н., Шатило Д. А. Справочник гидрлесомелиоратора.— М.: Лесн. пром-сть, 1981.— 200 с. [3]. Свалов Н. Н. Статистический метод составления динамической бонитетной шкалы // Тр. МЛТИ.— 1975.— Вып. 68.— С. 89—95. [4]. Свалов Н. Н. Шкала классов бонитета для ели // Тр. МЛТИ.— 1978.— Вып. 3.— С. 35—39. [5]. Mathiesen A. Bonitierung auf trockengelegten Moorböden.— Tartu, 1928. [6]. Matuzānis J. Eglu audzu augsanas gaita.— Rīgā, 1975.— 64 p.

Поступила 14 июля 1993 г.

УДК 630\*17(470.52)

А. Ф. ХАЙРЕТДИНОВ, А. К. ГАБДЕЛЬХАКОВ, К. М. ГАБДРАХИМОВ

Башкирский государственный аграрный университет

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ В СНЫТЬЕВЫХ ЛИПНЯКАХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Приведены данные о фракционном составе и запасе надземной части снытьевых липняков разных возрастов, полученные на основе корреляционно-регрессионного анализа. Материалы дополнены сведениями о запасах фитомассы подлесочного яруса, травяного покрова, лесной подстилки.

The correlation-regression analysis data on fractional composition and stock of the overground part of snyt' lime-tree forests of different ages have been given. They are supplemented by the information on the phytomass stocks of undergrowth layer, grass cover, ground litter.

Липнякам Республики Башкортостан, занимающим территорию свыше 900 тыс. га, принадлежит исключительно важная средообразующая роль, которая в условиях возрастания антропогенного воздействия должна быть сохранена и усилена благодаря комплексу лесохозяйственных мероприятий. Для обоснования эффективности этих мероприятий необходимо углубленное изучение первичной продуктивности фито-

ценозов на регионально-типологической основе. Фитопродуктивность липняков изучена недостаточно [2]. Целью нашей работы является некоторое восполнение этого пробела.

Объектом исследований служили снытьевые липняки зеленой зоны г. Уфы, относящиеся к зоне смешанных лесов. Их краткая таксационная характеристика приведена в табл. 1.

Таблица 1

Возраст, лет	Состав	Средние		Число стволов на 1 га	Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	Плотность	Запас, м <sup>3</sup> /га
		высота, м	диаметр, см				
13	10Лп	6	4	8220	10,5	0,6	49
42	9Лп1В+Д	18	18	1335	37,1	1,0	336
57	9Лп1В+Д	20	21	910	32,0	0,8	313
65	9Лп1Д	22	26	539	36,3	0,8	322

Запас и структура фитомассы древостоев определены по данным модельных деревьев [1, 3], фитомасса надземной части модельных деревьев — по фракциям: древесина и кора ствола, ветви, сучья (отмершие ветви в кроне), листья, генеративные органы. Сырая масса каждой фракции получена непосредственным взвешиванием с точностью  $\pm 25$  г.

Биомасса подроста и подлеска определена на учетных площадках размером 4 м<sup>2</sup>, травяно-кустарничкового покрова — 1 м<sup>2</sup>, пять раз в течение вегетационного периода. Лесную подстилку учитывали перед опадением листвы. Фитомасса насаждения по компонентам приведена к абс. сухому весу.

Значения массы разных фракций модельных деревьев каждого фитоценоза подвергнуты регрессионному анализу, который проведен по методу наименьших квадратов с использованием функций

$$Y = a + bX; \quad (1)$$

$$Y = aX^b; \quad (2)$$

$$Y = e^{a+bx}, \quad (3)$$

где  $Y$  — масса фракции;  
 $X$  — произведение квадрата диаметра дерева на его высоту, м<sup>2</sup>;  
 $a, b$  — константы, определяемые для 2-го и 3-го уравнений после предварительного логарифмирования обеих частей функций.

В табл. 2 приведены результаты этого анализа. Как правило, точность коэффициентов  $a$  и  $b$  в уравнениях (2) и (3) находится на 0,1 %-м уровне значимости. Лишь для первого выражения коэффициент  $a$  менее значим по сравнению с  $b$ , и это наблюдается в основном при определении массы отмерших ветвей и генеративных органов. Тем не менее выбранные уравнения значимы на 5 %-м уровне и выше, за исключением уравнения для фракции листьев 65-летнего насаждения.

Принятые нами объемы выборок нижних ярусов, при достаточно большом варьировании признаков, обеспечивают точность опыта 5... 17 % (табл. 3).

Используя частотные распределения деревьев по пробным площадкам и уравнения регрессии, мы получили итоговые параметры фитомассы древостоев на 1 га для разных фракций (табл. 4). Наиболее про-

Таблица 2

Показатели	Ствол		Ветви	Сучья	Листья	Генеративные органы
	Древесина	Кора				
13-летнее насаждение ( $n = 10$ )						
Вид функции	1	2	1	Нет	1	Нет
$a$	-0,1309	59,6682	0,0306	—	-0,0353	—
$b$	89,9985	0,1194	183,558	—	13,1395	—
$T_a$	1,82	7,48	0,22	—	0,98	—
$T_b$	18,51	8,77	19,42	—	5,38	—
$r$	0,9885	0,9517	0,9895	—	0,8853	—
$S_e$	0,1128	0,2286	0,2193	—	0,0566	—
$F$	342,62	76,91	377,13	—	28,99	—
42-летнее насаждение ( $n = 10$ )						
Вид функции	2	2	2	1	2	1
$a$	123,8696	33,3934	19,0186	-2,3039	2,4632	-115,866
$b$	0,9681	0,7656	1,2391	4,5304	1,2438	389,407
$T_a$	120,68	107,77	17,06	1,24	7,27	0,62
$T_b$	17,17	15,57	5,08	2,48	7,11	2,06
$r$	0,9867	0,9839	0,8739	0,6485	0,9292	0,5893
$S_e$	0,1129	0,0920	0,4879	2,8026	0,3502	281,371
$F$	294,88	242,48	25,85	5,81	50,58	4,26
57-летнее насаждение ( $n = 10$ )						
Вид функции	1	2	3	1	2	1
$a$	-6,6961	36,9158	0,9430	-0,4963	1,8213	9,2022
$b$	136,903	0,7277	1,3146	1,7895	1,0526	102,41
$T_a$	1,42	52,73	3,96	0,58	5,84	0,16
$T_b$	34,81	7,94	6,60	2,49	7,66	2,21
$r$	0,9967	0,9421	0,9192	0,6602	0,9381	0,6150
$S_e$	8,3152	0,2052	0,4209	1,5218	0,3077	98,1501
$F$	1211,93	63,12	43,61	6,18	58,71	4,87
65-летнее насаждение ( $n = 9$ )						
Вид функции	2	2	3	1	1	1
$a$	128,6866	35,9889	1,9582	-3,0558	0,3453	1,3031
$b$	1,0223	0,6910	0,8641	3,3781	0,4074	43,8845
$T_a$	272,49	49,92	7,49	2,14	0,72	0,07
$T_b$	44,15	7,41	5,47	3,91	1,42	3,84
$r$	0,9982	0,9418	0,9001	0,8280	0,4725	0,8235
$S_e$	0,0524	0,2111	0,3788	2,0716	0,6881	27,3806
$F$	1949,58	54,94	29,87	15,27	2,01	14,75

Примечание.  $T_a$ ,  $T_b$  — значимость коэффициентов  $a$ ,  $b$  по критерию Стьюдента;  $r$  — коэффициент корреляции, определяемый для нелинейных функций после их логарифмирования;  $S_e$  — стандартная ошибка уравнения регрессии в абсолютных единицах;  $F$  — значимость уравнения по критерию Фишера;  $n$  — число модельных деревьев.

изводительным оказался 42-летний древостой со среднегодовой производительностью фитомассы 3,87 т/га в год.

Общей закономерностью для изучаемых насаждений является постоянное соотношение массы древесины в составе фитомассы надземной части древесного яруса (66...68%), за исключением 13-летнего липняка (24%), где преобладает фракция ветвей (58%). Распределение остальных компонентов соответствует возрасту древостоя и полноте: доля коры в общей фитомассе древостоя уменьшается с возрастом от 19,1 до 15,3%; масса листьев от 3,1 до 0,5%.

Наибольшая масса отмерших ветвей и сухостойных стволов (6,8 т/га) отмечена в 57-летнем древостое.

Таблица 3

Возраст, лет	n	$\bar{X}$	m	$C_s$	S	CV
Подрост и подросток						
13	53	1992	283,79	14,3	2066,022	103,7
42	51	581	62,65	10,8	447,413	77,1
57	50	1755	295,16	16,8	2087,116	118,9
65	52	2477	288,37	11,7	2079,494	84,0
Травяной покров						
13	20	189	15,52	8,2	63,43	36,8
42	20	508	47,56	9,4	212,67	41,9
57	20	781	78,19	10,0	349,66	44,8
65	20	708	46,04	6,5	205,90	29,1
Лесная подстилка						
13	10	7972	478,00	6,0	1511,580	19,0
42	10	5744	572,26	10,0	1809,630	31,5
57	10	4546	343,03	7,6	1084,752	23,9
65	10	7697	350,25	4,6	1107,590	14,4

Примечание: n — численность выборки;  $\bar{X}$  — среднее значение, кг/га; m — стандартная ошибка среднего значения;  $C_s$  — показатель точности определения средней, %; S — стандартное отклонение; CV — коэффициент вариации, %.

Таблица 4

Возраст, лет	Ствол			Крона				Всего
	Древесина	Кора	Сухостой	Ветви	Сучья	Листья	Генеративные органы	
13	7,02	4,38	—	16,77	—	0,91	—	29,08
	24,14	15,06	—	57,67	—	3,13	—	100
42	107,92	31,03	3,93	15,83	1,58	2,04	0,19	162,52
	66,40	19,09	2,42	9,74	0,97	1,26	0,12	100
57	103,38	29,05	5,74	11,92	1,10	1,59	0,08	152,83
	67,64	19,01	3,74	7,80	0,72	1,04	0,05	100
65	111,66	25,06	1,48	23,54	1,54	0,76	0,03	164,07
	68,06	15,27	0,90	14,35	0,94	0,46	0,02	100

Примечание. В числителе — т/га, в знаменателе — %.

Подрост и подросток составляют незначительную долю в общей массе надземной части насаждений. Наименьшая их масса отмечена в 42-летнем древостое с максимальной полнотой (0,34 % от общей надземной фитомассы насаждения), наибольшая (1,42 %) в 65-летнем. Относительное (5,07 %) увеличение фитомассы подросточного яруса в 13-летнем древостое связано с его полнотой 0,6. На всех пробных площадях фитомасса подростка больше, чем у подростка, что связано со слабым семенным возобновлением липы и разрастанием лещины. В фитомассе подростка преобладает биомасса клена остролистного, что может служить возможной причиной формирования кленово-снытьевых насаждений вместо чистых снытьевых [4]. В целом же фитомасса подростка и подростка с возрастом древостоя увеличивается.

Максимальное количество травяного покрова наблюдается в период цветения *Aegopodium podagraria* L., когда абс. сухая масса составила 189, 508, 781 и 708 кг/га соответственно в 13-, 42-, 57- и 65-летних древостоях. Несмотря на увеличение массы травяного покрова, его отно-

сительная доля в общей биомассе надземной части с возрастом древостоя уменьшается с 0,51 до 0,41 %. Во всех рассматриваемых насаждениях преобладает масса *Aegopodium podagraria* L., затем следуют *Galium odoratum* (L.) Scop. в 13- и 65-летних древостоях и *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott. в 42- и 57-летних. Запасы лесной подстилки варьируют незначительно (4,5...7,9 т/га), что обуславливается, по-видимому, гидротермическим режимом почв.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н. И. Базилович, А. А. Титлянова, В. В. Смирнов и др.— М.: Мысль, 1978.— 184 с. [2]. Соколов П. А. Состояние и теоретические основы формирования липняков.— Йошкар-Ола: Мар. кн. изд-во, 1978.— 206 с. [3]. Уткин А. И. Методика исследований первичной продуктивности лесов // Биологическая продуктивность лесов Поволжья.— М.: Наука, 1982.— 284 с. [4]. Хайретдинов А. Ф., Хисамов Р. Р., Янбаев Ю. А. Рекреационные леса Башкирии.— Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990.— 176 с.

Поступила 1 июня 1993 г.

УДК 630\*561.1

Н. А. БАБИЧ, В. П. ПРОХОРОВ

Архангельский государственный технический университет

### ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ПРИРОСТ КУЛЬТУР СОСНЫ В ВЫСОТУ

Показана значительная криволинейная зависимость прироста культур в высоту от осадков и температуры летних месяцев предыдущего года. Установлено, что чем беднее лесорастительные условия, тем теснее связь с температурой воздуха.

The substantial curvilinear dependence of stands increment on summer months rainfall and temperature of the previous year is revealed. It is stated that the poorer forest site is, the closer connection with air temperature is.

Рассматриваемый нами на примере лесных культур в условиях северной подзоны тайги Европейского Севера вопрос в специальной литературе освещен недостаточно. В 1913 г. А. П. Тольский [12] для Бузулукского бора доказал, что на длину ежегодных побегов сосны оказывают влияние условия погоды предыдущего лета — июля и августа, когда закладываются почки. В южной подзоне тайги Вологодской области связь годичного прироста культур сосны в высоту со средними температурами и количеством осадков для ряда периодов не была выявлена. Наблюдалась незначительная прямая зависимость от температуры за период III декада мая — II декада июня в зеленомошной группе типов леса и от количества осадков в лишайниковой [4].

Для сосновых насаждений естественного происхождения средней подзоны тайги Республики Коми обнаружена тесная связь прироста в высоту с температурой вегетационного периода предыдущего года. Зависимость прироста от суммы осадков предыдущего года выражается одновершинной кривой с корреляционным отношением  $\eta = 0,50 \pm 0,26$ . При этом максимум наблюдается после года с осадками, соответствующими среднему многолетнему значению [2].

А. А. Молчанов и И. Ф. Преображенский [7], изучавшие сезонный рост сосны естественного происхождения на границе северной и средней подзон тайги (ст. Обозерская Архангельской области), пришли к выводу, что осадки в период роста не оказывают существенного влия-

ния на прирост в высоту. В одной из предыдущих наших работ [10] было установлено, что в посевах сосны на суглинистых почвах в черничном типе леса (средняя подзона тайги Архангельской области) прирост в высоту прямо зависит от среднемесячной температуры предыдущего лета, особенно июля ( $r \pm m_r = 0,91 \pm 0,04$ ). Однако он практически не связан с суммой осадков ни за отдельные, ни за несколько месяцев вегетационного периода как предыдущего, так и текущего года.

В данной статье объектом исследований послужили посевы сосны обыкновенной в Емецком лесхозе Архангельской области (северная подзона тайги Европейского Севера). Культуры созданы на вырубке 1938—1939 гг., пройденной устойчивым лесным пожаром. В первой половине июня 1941 г. был произведен посев в площадки размером  $0,3 \times 0,5$  м, по 20...30 семян местного сбора в каждую. Площадь культур 58 га [6]. Направление рядов север—юг. Первоначальная густота в целом на участке колебалась от 4200 до 6500 посевных мест на 1 га. Агротехнических и лесоводственных уходов не было. В настоящее время культуры представляют собой не затронутые рубками ухода высокополнотные насаждения с относительной полнотой от 1,02 до 1,22.

В основу методики исследования положены принципы, рекомендованные методическими указаниями В. В. Огиевского и А. А. Хирова [8], Е. Л. Маслакова и его соавторов [5], А. Р. Родина и М. Д. Мерзленко [11]. Пробные площади заложены по неполному профилю борového экологического ряда с учетом требований ОСТ 56—60—83 [9] в однородных по живому напочвенному покрову и микрорельефу условиях, в наиболее характерных по составу и густоте участках культур (табл. 1).

Таблица 1

Краткая лесоводственно-таксационная характеристика 45-летних посевов сосны

Тип леса	Место закладки пробной площадки	Средние		Класс бонитета	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	Состав
		диаметр, см	высота, м			
Сосняк:						
черничный	Глубокое понижение	11,1	13,3	II—III	26,74	8С2Б, ед. Е
брусничный	Нижняя часть южного склона	8,1	9,8	IV	30,40	10С
мохово-лишайниковый	Верхняя часть южного склона	5,4	8,0	IV—V	23,44	10С
вересково-лишайниковый	Верхняя часть северного склона	3,6	5,2	V—Va	16,44	10С, ед. Б

Рельеф сильно пересеченный. Холм и гряды, чередующиеся с глубокими понижениями, дренируются озерами Плоским и Долгим и ручьем Плоскозерским.

Для изучения почвы заложены четыре почвенных шурфа глубиной 175 см. В целом на участке культур почвы подзолистые средней мощности, песчаные, иллювиально-железистые, развивающиеся на хорошо отсортированном песке. На глубинах 75 и 95 см залегают супесчаные прослойки мощностью 3 см, содержание физической глины (частицы менее 0,01 мм) в которых составляет 15,4%. В минеральных горизонтах доля физической глины колеблется от 1,5 до 4,9% и лишь в горизонте В<sub>1</sub> в сосняке вересково-лишайниковом повышается до 7,5%.

Для изучения текущего годичного прироста в высоту  $Z_H^I$  за последние 30 лет (с 1956 г. по 1985 г.) в каждом типе леса отбирали по 10 средних по высоте, толщине и другим биометрическим показателям.

деревьев. Прирост в высоту определяли по мутовкам, всего выполнено 1424 измерения. Такой объем исследований и абсолютная одновозрастность культур позволяют сделать выводы с высокой степенью достоверности. Материалы о температурном режиме и осадках взяты по данным метеостанции Емецк, расположенной на территории лесхоза.

Полевой материал обработан методами вариационной статистики. Вычислены коэффициент корреляции и его ошибка  $r \pm m_r$ , корреляционное отношение и его ошибка  $\eta \pm m_\eta$ , проведен регрессионный анализ связи прироста с метеофакторами, получены уравнения прямой, параболы второго и третьего порядков, логарифмической кривой и гиперболы.

Между изученными насаждениями существуют большие различия в абсолютных значениях текущих годовичных приростов в высоту, особенно между черничным и вересково-лишайниковым типами леса (рис. 1). В периоды максимального прироста эти различия достигали 3,3 раза; в последние годы они сократились до 1,5 раза.

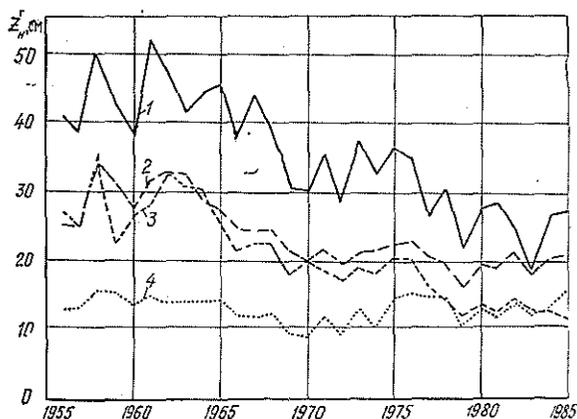


Рис. 1. Динамика текущего годовичного прироста посевов сосны в высоту в различных типах леса: 1 — черничный; 2 — брусничный; 3 — мохово-лишайниковый; 4 — вересково-лишайниковый

Анализ кривых прироста в высоту указывает наличие неадекватной реакции древостоев рассматриваемых типов леса на изменение метеофакторов, что подтверждают показатели сходства кривых по Т. Т. Битвинскому [1]. Наиболее высокая синхронность кривых  $Z_H^r$  выявлена между сосновыми насаждениями брусничного и вересково-лишайникового, брусничного и мохово-лишайникового типов леса (показатели сходства 80 и 76 %), наименьшая между черничным и мохово-лишайниковым (55 %). Здесь практически каждый второй год наблюдались тенденции асинхронности в приростах. Если в насаждениях одного типа леса значение  $Z_H^r$  в текущем году по сравнению с прошлым годом возросло, то в другом уменьшилось.

Характер изменения приростов исследуемого сосняка черничного и изученных нами ранее аналогичных сосновых культур на суглинистых почвах [10], расположенных примерно в 120 км друг от друга, практически одинаков. Показатель сходства кривых за 23 года составляет 96 %.

Рассмотрим зависимость текущего годовичного прироста в высоту от суммы осадков и средней температуры воздуха. В отличие от посевов сосны на суглинистых почвах [10] во всех изученных нами типах леса на песчаных почвах трудно отдать предпочтение влиянию какого-либо одного из рассматриваемых метеофакторов (рис. 2). В целом большее влияние оказывают средняя температура воздуха за июнь — июль и сумма осадков за май — июль предыдущего года (связь от значительной до высокой).

Обращает внимание наличие тесной криволинейной связи прироста вересково-лишайникового сосняка со средними температурами воздуха некоторых месяцев, особенно мая — июня текущего года и июня — июля предыдущего года ( $\eta$  равны соответственно 0,79 и 0,72). В более производительных типах леса эта связь значительно слабее, особенно в сосняке черничном за май — июнь текущего года ( $\eta = 0,30$ ). В данном случае подтверждается вывод Е. В. Дмитриевой о том, что «один и тот же климатический фактор не только часто, но и в большинстве случаев вызывает разную, а нередко и противоположную реакцию прироста деревьев различных местообитаний» [3, с. 172].

В целом сосняки вересково-лишайниковые четче других типов реагируют на температуру первой половины вегетационного периода как текущего, так и предыдущего года (рис. 2, а). Такая реакция связана, по-видимому, с меньшим исчерпанием потенциала роста деревьями сосны в этих насаждениях.

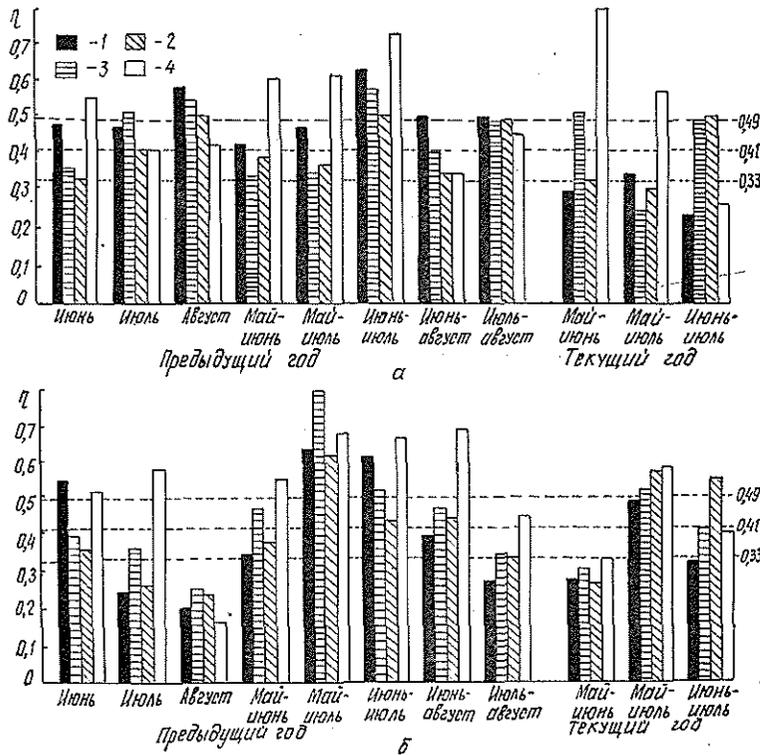


Рис. 2. Связь текущего годичного прироста посевов сосны в высоту с температурой воздуха (а) и осадками (б): 1 — сосняк черничный; 2 — мохово-лишайниковый; 3 — брусничный; 4 — вересково-лишайниковый; при  $\eta \geq 0,35$  вероятность правильности вывода о связи  $p = 0,95$ ; при  $\eta \geq 0,41$   $p = 0,99$ ; при  $\eta \geq 0,49$   $p = 0,997$

Отмечена значительная криволинейная связь  $Z_H^c$  с осадками не только текущего и предыдущего года (рис. 2, б), но и двухлетней давности, причем в более производительных типах леса — черничном и брусничном — влияние осадков двухлетней давности заметнее, чем за аналогичные периоды текущего года. В подтверждение данного вывода в табл. 2 приведен типичный пример.

Таблица 2

Связь текущего годовичного прироста в высоту  
с суммой осадков за май—июль

Год	Сосняк чер- ничный		Сосняк бру- сничный		Сосняк мо- хово-лишай- никовый		Сосняк вереско- во-лишайни- ковый	
	r	$\eta$	r	$\eta$	r	$\eta$	r	$\eta$
Текущий	+0,20	0,48	+0,09	0,51	+0,26	0,56	-0,03	0,57
Предыдущий	+0,13	0,62	+0,24	0,77	+0,10	0,60	+0,48	0,66
2 года назад	-0,20	0,53	-0,13	0,67	-0,02	0,50	-0,15	0,35

Нами получены, как правило, очень низкие и недостоверные коэффициенты корреляции текущего прироста в высоту с метеофакторами текущего и предыдущего годов, что свидетельствует об отсутствии прямолинейных связей между этими показателями.

Для выявления характера зависимости прироста в высоту от метеофакторов тех периодов времени, когда  $\eta \geq 0,49$ , т. е. вероятность правильности вывода о криволинейности превышала 0,997, мы провели регрессионный анализ. Оказалось, что связь прироста в высоту с суммой осадков за май—июль и июнь—июль предыдущего года во всех изученных типах леса аппроксимируется параболой третьего порядка; с температурой воздуха в половине случаев — также уравнениями параболы третьего, в остальных — второго порядка.

Проведенные нами исследования показали, что в посевах сосны, произрастающей на глубоких песчаных почвах северной подзоны тайги Архангельской области, на текущий годовичный прирост в высоту наибольшее влияние оказывают осадки с мая по июль и средняя температура воздуха за июнь—июль предыдущего года. Теснота связей — от значительной до высокой; вероятность правильности выводов о наличии криволинейных зависимостей прироста от метеофакторов очень высокая и достигает 0,999.

Теснота связей прироста с температурой в определенной степени зависит от лесорастительных условий: чем они беднее, тем связи значительнее. Связи прироста с осадками практически не зависят от лесорастительных условий. Выявленные зависимости хорошо аппроксимируются уравнениями параболы третьего и второго порядков.

Подтверждается вывод [10], что в условиях Европейского Севера с продвижением к северу все большее влияние на текущий годовичный прирост сосновых культур в высоту оказывает температура вегетационного периода предыдущего года.

С помощью выявленных зависимостей можно с высокой долей вероятности прогнозировать на год вперед значение  $Z_H$  по сумме осадков за май—июль или по средней температуре июня—июля предыдущего года.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Битвинскас Т. Т. Дендроклиматические исследования.—Л.: Гидрометеоздат, 1974.—172 с. [2]. Богданова Т. Л. Влияние температуры воздуха и осадков на рост сосны и березы // Изв. Коми филиала ВГО.—1965.—Вып. 10.—С. 119—122. [3]. Дмитриева Е. В. Опыт анализа влияния климата на прирост деревьев различных местообитаний на Карельском перешейке // Ботан. журн.—1959.—Т. 44, № 2.—С. 162—176. [4]. Ипатов Л. Ф. Строение и рост культур сосны на Европейском Севере.—Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1974.—107 с. [5]. Исследование роста лесных культур / Е. Л. Маслаков, М. Ф. Мойко, И. А. Маркова, М. С. Ковалев.—Л.: ЛенНИИЛХ, 1978.—70 с. [6]. Львов П. Н., Суржко М. Г. Рост сосны при посеве в площадки на Севере // Лесн. хоз-во.—1959.—№ 6.—С. 26—29. [7]. Молчанов А. А., Преображенский И. Ф. Леса и лесное хозяйство Архан-

гельской области.—М.: АН СССР, 1957.—238 с. [8]. Огневский В. В., Хиров А. А. Обследование и исследование лесных культур.—Л.: РИО ЛТА, 1967.—50 с. [9]. ОСТ 56—60—83. Площади пробные лесоустроительные: Метод закладки.—Введ. 01.01.84.—М., 1984.—20 с. [10]. Прохоров В. П., Бабич Н. А., Феклистов П. А. Влияние температуры воздуха и осадков на прирост культур сосны по высоте в условиях средней подзоны тайги Европейского Севера // Лесн. журн.—1984.—№ 2.—С. 120—122.—(Изв. высш. учеб. заведений). [11]. Родин А. Р., Мерзленко М. Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов.—М.: ВАСХНИЛ, 1983.—36 с. [12]. Тольский А. П. К вопросу о влиянии метеорологических условий на развитие сосны в Бузулукском бору // Тр. по лесн. опыт. делу в России.—СПб, 1913.—Вып. 17.—107 с.

Поступила 27 июля 1993 г.

УДК 630\*566

Е. Г. ТЮРИН

Севлеспроект

## ДИНАМИКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОДАЛЬНЫХ ДРЕВОСТОЕВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

По материалам лесоустройства 1980—1990 гг. на площади 5,8 млн га из 300 тыс. выделов, обработанным на ЭВМ, составлены таблицы динамики хода роста модальных древостоев Европейского Севера по составу, высотам, диаметрам, полнотам, запасам и приростам в пределах типов леса и подзон тайги. Приведен фрагмент таблиц для ряда пород и типов леса.

Based on computer processed forest organization materials of 1980 - 1990s on the area of 5,8 m/n ha out of 300.000 allotments the tables of modal stands growth dynamics have been made on structures, heights, diameters densities, stand volumes and increments within the forest types and taiga sub-zones. A fragment of tables for a number of species and types of forest is given.

В целях экономии сил и средств лесоустроительные предприятия успешно внедряют опробованную методику непрерывного лесоустройства с актуализацией всей информации последнего лесоустройства об естественном росте древостоев разного возраста. Однако для обширного региона Европейского Севера нет лесотаксационных таблиц, отражающих динамику средних таксационных показателей модальных древостоев, тем более по типам леса и подзонам тайги.

Чтобы восполнить этот пробел, нами составлены таблицы моделей динамики роста древостоев от молодняков до перестойных по типам леса для Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми. Для этого использованы обширные фактические материалы натурной таксации на 300 тыс. выделов площадью 5,8 млн га, устроенных по II и III разрядам точности с применением цветных спектрональных аэрофотоснимков масштабов 1 : 10 000 — 1 : 15 000.

При глазомерно-измерительной таксации к хвойным хозсекциям относили молодняки с участием хвойных пород 30 % и более, древостой старших возрастов — 40 %. Насаждения производных типов леса с преобладанием березы и осины подразделяли на коренные сосновые или еловые, раздельно составляли модели таблиц хода роста.

Все средние таксационные показатели определены для преобладающей породы с использованием стандартной таблицы полнот и запасов, составленной и откорректированной по таблицам хода роста сосняков (В. И. Левин, для молодняков до высоты 14 м — Е. Г. Тюрин), ельников (И. И. Гусев), березняков (Н. П. Чупров) и осинников (Г. С. Войнов), и дополнены данными об абсолютной полноте, полученной по формуле  $M = GHF$  и соответствующим таблицам хода роста.

Динамика средних таксационных показателей модальных древостоев черничных типов леса средней подзоны тайги Республики Коми

Площадь, га	Число выделов	Возраст, лет	Состав	Высота, м	Диаметр, см	Класс обилия	Полнота	Суммарная площадь сечений, м <sup>2</sup> /га	Изменение запаса, м <sup>3</sup> /га	
									среднее	текущее
Сосняк черничный свежий										
2416	101	10	45С6Е1К1Л47Б	2,3	1,6	3,8	0,55	5,8	1,4	-
2585	145	30	54С7Е39Б	7,5	7,5	3,7	0,75	13,3	68	2,7
6227	334	50	62С5Е33Б	11,5	12,6	3,6	0,78	18,1	116	2,4
1674	115	70	67С12Е21Б	14,8	16,6	3,8	0,72	21,0	160	2,2
1289	93	90	71С6Е1Л22Б	17,0	19,4	3,7	0,70	22,0	190	1,5
1235	67	110	74С6Е1Л19Б	18,2	21,7	3,9	0,68	23,1	209	1,0
614	37	130	76С3Е1Л20Б	19,2	23,6	3,9	0,65	23,3	217	1,7
756	43	150	79С5Л16Б	19,5	25,2	4,0	0,62	23,1	218	1,4
1631	67	170	81С11ЕП1Л6Б	19,8	26,5	3,9	0,67	22,5	214	0,1
909	39	190	82С10Е2Л1К5Б	19,9	27,7	4,0	0,56	21,7	208	1,2
51	4	210	81С12Е7Л	20,0	28,8	4,0	0,59	20,6	197	0,8
60	5	230	78С15Е2Л5Б	20,2	29,7	4,0	0,51	19,0	184	0,6
25	4	250	72С22Е6Б	20,2	30,4	3,2	0,46	17,3	170	0,7
Ельник черничный										
850	48	10	47Е4С43Б6Ос	1,6	0,4	3,9	0,62	-	11	1,1
1883	111	30	46Е4П4С36Б10Ос	5,5	5,4	3,9	0,57	7,4	60	2,0
56	5	50	46Е8Л2С38Б6Ос	11,5	11,7	3,3	0,81	15,5	108	2,2
514	29	79	46Е1Ос3П1Л35Б5Ос	14,5	15,5	3,9	0,50	20,4	150	2,1
839	38	90	47Е5С1П35Б12Ос	16,6	17,8	3,9	0,68	23,4	188	1,9
1033	51	110	49Е9С5П31Б6Ос	17,9	19,8	4,0	0,71	25,4	220	1,6
18173	829	130	53Е1К2С3П28Б13Ос	18,8	21,0	3,9	0,72	26,0	242	1,1
8326	325	150	59Е2К4П6С29Б	19,3	22,0	3,9	0,70	26,1	254	1,7
2549	96	170	67Е5С5К4П19Б	19,8	22,2	4,0	0,72	25,5	252	0,6
400	12	190	77Е23Б	20,0	23,3	4,0	0,65	24,7	228	1,2

При камеральной обработке лесоустроительных материалов по каждому устройному лесхозу ЭВМ в числе многих ведомостей выдает распечатку данных о динамике средних таксационных показателей модальных древостоев по классам возраста в пределах типов леса. Эта подробная информация представляет собой своего рода банк данных, отражающих естественный процесс формирования и роста насаждений всех типов леса. Полученные результаты позволили составить модели таблиц динамики хода роста разных насаждений по типам леса в пределах подзон тайги Европейского Севера. В настоящей статье дан фрагмент этих таблиц для основных лесообразующих пород Республики Коми.

Интенсивная лесозаготовка при значительных перерубах расчетных лесосек в хвойных хозсекциях определила интерес к познанию процессов естественного возобновления на вырубках, выявлению закономерностей восстановительно-возрастной динамики насаждений и изучению региональных особенностей лесообразовательного процесса. Особенно эффективным оказалось исследование восстановительно-возраст-

Березняк черничный (еловый)										
	181	5		2,2	0,4	3,8	0,51	3,5	4	0,8
3851	181	79Б20с18Е1С	181	2,2	0,4	3,8	0,51	3,5	4	0,8
5394	256	78Б120с8Е2С	256	4,6	3,3	3,7	0,75	7,0	25	1,7
5053	171	77Б160с1С6Е	171	6,8	6,0	3,9	0,87	10,2	50	2,0
14858	512	76Б140с7Е3С	512	9,0	8,2	3,8	0,84	12,8	74	2,1
4524	437	75Б130с7С5Е	437	11,0	10,5	3,6	0,85	14,6	92	2,0
1744	62	74Б150с8Е3С	62	13,0	12,7	3,3	0,81	15,7	109	2,0
2388	84	72Б130с10Е5С	84	14,5	14,6	3,6	0,77	16,5	125	1,9
3058	121	70Б60с17Е7С	121	16,0	16,0	3,5	0,68	16,8	136	1,8
7365	331	68Б80с14Е10с	331	17,2	17,6	3,7	0,70	17,1	145	1,7
7016	243	67Б90с16Е8С	243	18,2	18,8	3,7	0,69	17,3	152	1,6
3997	144	65Б130с18Е4С	144	18,8	20,0	3,9	0,74	17,0	155	1,5
1324	60	63Б150с21Е1С	60	19,5	21,0	3,9	0,67	16,4	154	1,4
789	25	61Б110с26Е2С	25	20,0	22,0	3,9	0,70	14,8	148	1,2
Осшник черничный (еловый)										
	106	5		1,7	0,4	3,3	0,62	4,2	4	0,8
2678	106	63Ос19Б18Е	106	1,7	0,4	3,3	0,62	4,2	4	0,8
522	37	61Ос31Б8Е	37	4,2	3,3	3,2	0,74	10,0	26	1,7
108	9	59Ос31Б7С3Е	9	6,8	5,5	3,2	0,87	13,8	65	2,6
89	11	57Ос33Б9Е1С	11	10,0	8,8	3,6	0,79	15,7	90	2,6
213	11	55Ос24Б19С2Е	11	13,6	12,5	3,1	0,86	17,0	116	2,6
110	4	54Ос23Б4С19Е	4	17,0	17,0	3,0	0,79	18,1	140	2,4
31	3	52Ос28Б15Е3С	3	19,0	22,4	3,0	0,57	19,0	162	2,2
44	4	51Ос36Б9С4Е	4	20,3	26,0	3,0	0,76	19,6	180	2,4
1800	74	50Ос23Б20Е6С1П	74	21,3	29,0	3,0	0,74	20,0	196	2,3
1364	70	50Ос23Б5С18Е	70	22,0	31,0	3,0	0,73	20,3	210	2,2
818	45	49Ос28Б18Е5С	45	22,5	32,0	3,0	0,73	20,2	220	2,1
736	42	49Ос25Б23Е2С1П	42	22,8	32,3	3,3	0,71	19,5	227	2,0
1430	23	49Ос29Б20Е2С	23	23,0	33,8	3,0	0,72	18,2	230	1,8

ной динамики лесов в процессе очередного лесоустройства с обработкой на ЭВМ массовых лесотаксационных материалов по классам возраста и типам леса.

При отнесении таксационных выделов к одному типу леса группировали насаждения от самых молодых, возобновляющихся, до перестойных, разрушающихся, имеющих в составе преобладающую породу-лесообразователь, произрастающую в одних или сравнительно близких типах лесорастительных условий. Насаждения, объединенные в один тип леса, сходны по характеру лесовосстановления и формирования, составу и продуктивности. Следовательно, они должны иметь сходную направленность лесообразовательного процесса и относиться к одному естественному ряду развития. При этом на вырубках и гарях восстанавливаются и формируются обычно однопородные леса. Например, в сухих лишайниковых борах на песчаных подзолах или в избыточно влажных условиях таежной зоны формируются только чистые сосняки. В более продуктивных типах лесорастительных условий — зеленомошниках — на вырубках и гарях хвойных лесов при определенных условиях, наряду

с коренными, формируются и производные типы леса со сменой лиственных породами.

В лесном фонде всех устроенных лесхозов хозяйственно главными лесообразующими породами являются хвойные виды с длительными, а иногда и сложными процессами восстановления и возрастной динамики. Они распространены в разнообразных лесорастительных условиях и образуют типы леса, свойственные разным подзонам тайги Европейского Севера.

Характерной особенностью рассматриваемых насаждений является динамика состава, при которой в наиболее производительных типах леса нарастает доля хвойных пород до возраста спелости с последующим уменьшением полноты и запасов, что связано в том числе и с интенсивной хозяйственной деятельностью, направленной вовсе не на приумножение ценных запасов.

Составленные таблицы дают возможность не только проанализировать ход роста разнообразных лесов в течение длительного периода их жизни, но и выявить ряд особенностей динамики формирования по составам, полнотам, классам товарности и др., что необходимо учитывать в практике таксации, при обосновании возрастов спелости, главных рубок, рубок ухода, оценке смены пород в лесоустroительном проектировании.

Наши данные о динамичности процессов, протекающих в разных типах леса при смене пород на концентрированных вырубках, и естественном формировании от молодняков до спелых и перестойных насаждений являются на сегодня единственным источником подробных таксационных сведений о лесах Европейского Севера и потому могут служить научной основой для прогнозирования динамики лесного фонда, лесных фитоценозов и изменений их продуктивности в результате активной хозяйственной деятельности человека или нарушений лесной среды.

Приведенные таблицы динамики таксационных показателей насаждений являются естественноисторической моделью высокопродуктивных древостоев, произраставших здесь в начале XX в., к восстановлению которых должны стремиться лесоводы Европейского Севера.

Сравнение средних таксационных показателей насаждений по типам леса и лесорастительным подзонам Архангельской области и Республики Коми показывает очень близкие их значения в пределах классов возраста. Так, наиболее распространенные в средней подзоне тайги сосняки черничные имеют сходные таксационные показатели во всех классах возраста по составам, средним высотам, диаметрам и абсолютным полнотам, а средние классы бонитета иногда даже совпадают. Поэтому в лесоустroительной и лесохозяйственной практике административные границы областей следует рассматривать чисто условными и пользоваться ими в пределах лесорастительных подзон исследуемого региона таежной зоны.

Анализ приведенных таблиц хода роста показывает закономерный характер динамики насаждений по классам возраста в пределах каждого типа леса и является наглядной иллюстрацией истории освоения и эксплуатации этих лесов.

Таблицы хода роста модальных древостоев, несомненно, будут полезны и найдут широкое применение в практике лесоустroительства, лесного хозяйства и всего лесного комплекса Европейского Севера.

УДК 630\*522.3 : 630\*187

Г. С. ВОЙНОВ

Архангельский институт леса и лесохимии

## ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ НА ТИПОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ В СТАТИКЕ

Разработана система уравнений, позволяющих определять в статике потенциальную продуктивность сосновых древостоев различных типов леса по фактической или потенциальной продуктивности древостоев эталонного типа

The equations system making it possible to determine in statics the potential productivity of pine stands of different forest types on actual or potential stands productivity of standard type has been developed.

Лесная типология В. Н. Сукачева получила полное признание лесоводов Европейского Севера. Однако изучена в основном ее качественная сторона. Выделены типы леса, дана их геоботаническая характеристика, разработаны схемы эдафо-фитоценологических рядов и групп типов леса и т. д. Количественные же показатели, характеризующие продуктивность древостоев, пока весьма неопределенны. Необходимо создать математическую модель, отражающую взаимосвязь количественных показателей древостоев различных типов леса как при равноценных, так и при изменяющихся по территории лесорастительных условиях.

Нами была предпринята попытка решить эту проблему сначала в статике, а затем, с учетом динамической типологии [3], в динамике. Объектом исследования служили леса Архангельской области, которые мы рассматривали как совокупность массивов насаждений, однородных по тем или иным признакам (происхождение, породный состав, возрастная структура, продуктивность) или территориально обособленных. В нашем понимании насаждение — это лесной биогеоценоз, т. е. элементарная структурная единица биосферы и ее компонента — леса (лесного массива), являющаяся однородным комплексом древесных и других растений, животных и микроорганизмов, климатических и почвенно-грунтовых факторов среды с одинаковым характером их взаимодействия, а тип леса — совокупность насаждений, однородных по составу древесных и других растений, животных и микроорганизмов, характеру их взаимодействия, потенциальной продуктивности и лесоводственным свойствам при равноценных лесорастительных условиях и соответствующем возрасте. Географические варианты любого типа леса, существенно различающиеся по продуктивности древостоев из-за неравноценности лесорастительных условий и фактически являющиеся различными одноименными типами леса, при решении практических задач рассматриваются как звенья единого ряда изменяющихся по территории совокупностей насаждений того или иного типа леса.

В целях выявления характера связи между типами леса была изучена фактическая продуктивность лесов, обусловленная климатическими, почвенно-грунтовыми и биотическими факторами, естественными

процессами развития и роста насаждений и хозяйственной деятельностью человека. Ее оценка необходима для решения важнейшего вопроса лесной типологии и таксации — о связи типов леса с бонитетом в географическом пространстве. В. Н. Сукачев считал, «...что тип леса и бонитет находятся в определенной корреляции» и что средняя высота древостоев нормального роста «...достаточно хорошо отражает на себе производительность данного местообитания, определяемую совокупностью его факторов...» [4]. С учетом этого широкое понятие «продуктивность лесов» было сужено до продуктивности древостоев, главных компонентов насаждений, образующих леса. В результате такой конкретизации понятия исследованию был подвергнут важнейший показатель продуктивности древостоев — их средняя высота, тесно связанная с конкретными лесорастительными условиями и в определенной мере — с типом леса, формирующимся в пределах комплекса относительно равноценных условий. Использование в качестве основного бонитировочного показателя не классов бонитета, а средней высоты древостоев позволило устранить недостатки бонитировочных шкал.

Таким образом, решение задачи состояло в определении средних высот совокупностей древостоев по типам леса в разных частях области и выявлении характера их связи с типами леса. Для этого были использованы таксационные описания, отражающие фактическую продуктивность, сформировавшуюся под влиянием антропогенных факторов с определенным искажением из-за несовершенства методов таксации и склонности таксаторов к некоторому занижению продуктивности. В результате установлены средние значения унифицированных по возрасту высот сосновых древостоев всех типов леса в лесничествах и лесхозах. В соответствии с линейно-типологическим принципом [1, 2] были вычерчены картограммы изолиний средних высот, отражающие комплексное влияние всех факторов на продуктивность сосновых лесов. Они показали, что изопроодуктивность древостоев по типам леса не согласуется ни с границами подзон, ни с географическими параллелями. Наглядно проявилось сильное влияние почвообразующих и подстилающих горных пород и других факторов.

В качестве ключевого параметра была выбрана продуктивность сосновых древостоев типа леса черничный свежий, а ее показателей — средние унифицированные к возрасту 130 лет высоты совокупностей древостоев этого типа леса. Выбор этот не случаен. Сохранившиеся первичные сосняки черничные свежие в большинстве своем одновозрастные, не трансформированы рубками, их средняя высота соответствует лесорастительным условиям. Они есть в каждом лесхозе области.

Установлено, что связь усредненных по лесхозам высот древостоев сосны различных типов леса с усредненной высотой древостоев эталонного типа выражается уравнениями параболы второго порядка

$$H_p = aH_s^2 + bH_s + c, \quad (1)$$

где  $H_p$ ,  $H_s$  — высоты древостоев различных типов леса и эталонного;

$a$ ,  $b$ ,  $c$  — коэффициенты уравнений.

Теснота связи между  $H_p$  и  $H_s$  колеблется от значительной до очень высокой при достоверных корреляционных отношениях 0,581...0,952. Однако непосредственное использование параболической связи для выравнивания исходных данных не позволяет производить экстраполяцию за пределами исследованной территории. Поэтому был использован метод относительных величин. Установлено, что связь относительных высот древостоев различных типов леса с абсолютной высотой эталонного типа леса выражается прямой линией и поэтому более предпоч-

тительна для выравнивания исходных данных и экстраполяции результатов. Получена серия уравнений вида

$$H_0 = aH_3 + b, \quad (2)$$

где  $H_0$  — относительные высоты древостоев различных типов леса, равные  $H_p/H_3$ ;

$a, b$  — коэффициенты уравнений.

Эти уравнения легко преобразуются в уравнения параболы вида

$$H_p = aH_3^2 + bH_3, \quad (3)$$

отражающие непосредственную связь абсолютных высот древостоев различных типов леса с абсолютной высотой древостоев эталонного типа, изменяющейся в пространстве в соответствии с лесорастительными условиями. В графической форме эта связь в разрезе эдафо-фитоценологических рядов отражена на рис. 1. Высоты древостоев эталонного типа леса выражаются прямой линией. Каждое из их значений соответствует определенной изолинии на картограмме, так же как высоты древостоев других типов леса.

На основании линейно-типологического принципа, с использованием ключевого и связанных с ним количественных параметров остальных

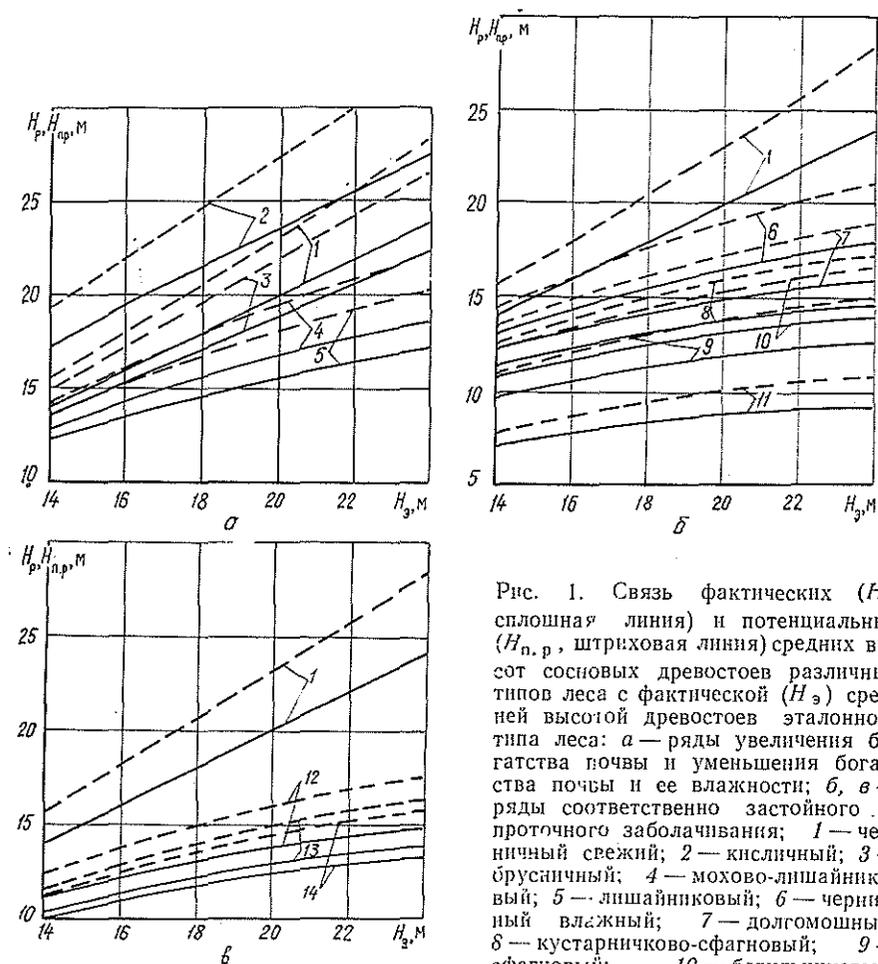


Рис. 1. Связь фактических ( $H_p$ , сплошная линия) и потенциальных ( $H_0$ , штриховая линия) средних высот сосновых древостоев различных типов леса с фактической ( $H_3$ ) средней высотой древостоев эталонного типа леса: а — ряды увеличения богатства почвы и уменьшения богатства почвы и ее влажности; б, в — ряды соответственно застойного и проточного заболачивания; 1 — черничный свежий; 2 — кисличный; 3 — брусничный; 4 — мохово-лишайниковый; 5 — лишайниковый; 6 — черничный влажный; 7 — долгомошный; 8 — кустарничково-сфагновый; 9 — сфагновый; 10 — багульниковый; 11 — болотный; 12 — травяно-сфагновый; 13 — вахто-сфагновый; 14 — осоково-сфагновый типы леса

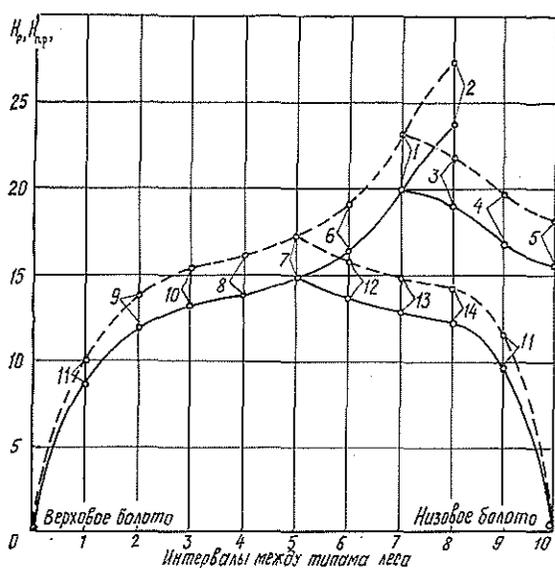


Рис. 2. Схема эдафо-фитоценологических рядов типов леса в количественном измерении. Обозначения см. на рис. 1

типов леса разработана схема эдафо-фитоценологических рядов сосновых типов леса в количественном измерении (рис. 2), соответствующая значению эталонного параметра 20 м на рис. 1. По оси абсцисс отложены равные интервалы между типами леса, а по оси ординат средние высоты древостоев различных типов леса. От сосняков черничных свежих берут начало три ряда типов леса: увеличения богатства почвы (сосняки кисличные); уменьшения богатства почвы и ее влажности (сосняки брусничные, мохово-лишайниковые и лишайниковые); застойного заболачивания (сосняки черничные влажные, долгомошные, кустарничково-сфагновые, багульниковые, сфагновые, болотные), заканчивающийся верховыми сфагновыми болотами. От сосняков долгомошных почти симметрично расходятся два ряда сфагновых типов, один из которых развивается по застойному, верховому типу заболачивания, второй — по проточному, низинному. Последний ряд — фактически ряд болотно-травяных типов леса. Он представлен сосняками травяно-сфагновыми, вахто-сфагновыми, осоково-сфагновыми, болотными (часто березняками) и заканчивается низинными болотами.

Цель последующих исследований состояла в количественной оценке естественной потенциальной продуктивности сосняков, обусловленной климатическими, почвенно-грунтовыми, биотическими факторами и оптимальными для роста сосны естественными процессами развития насаждений. При оценке соответствия продуктивности насаждений лесорастительным условиям в качестве оптимального принят процесс нормального развития и роста. Для достижения этой цели следовало бы заложить пробные площади в эталонных насаждениях потенциальной продуктивности всех типов леса в различных частях области. Однако изучение всего типологического спектра нереально из-за крайней истощенности естественных лесов и большой трудоемкости. Поэтому был использован более экономичный и достаточно точный метод исследования.

Эталонами естественной потенциальной продуктивности лесов являются сосняки черничные свежие, по развитию и росту близкие к нормальным. Средняя высота их древостоев в сочетании с возрастом, характеризующая качество лесорастительных условий, служит наиболее объективным количественным показателем естественной потенциальной

ной продуктивности типа леса. Эталонные пробные площади, заложенные нами в разных частях области (32 точки), позволили выявить различие и изучить связь между потенциальной и фактической продуктивностью древостоев и определить переводные коэффициенты для расчета потенциальной продуктивности древостоев других типов леса по фактической. Эти коэффициенты, обусловленные общими факторами, не могут существенно различаться по типам леса. Не исключено, что при необходимости по мере накопления таксационного материала они будут дифференцированы. В настоящее же время вполне приемлемо использование единых коэффициентов. Важно, что найден методический прием решения вопроса.

Связь потенциальных средних высот сосняков черничных свежих с фактическими высотами в лесничествах, где заложены пробные площади, выражается также параболой второго порядка при корреляционном отношении 0,898. Для выравнивания исходных данных использована прямолнейная зависимость относительной потенциальной высоты от фактической и получено уравнение вида

$$H_{о.п} = aH_э + b, \quad (4)$$

где  $H_{о.п}$  — относительная потенциальная высота сосновых древостоев эталонного типа леса, равная  $H_{п.э}/H_э$ ;

$H_э, H_{п.э}$  — фактическая и потенциальная высоты древостоев эталонного типа леса;

$a, b$  — коэффициенты уравнения.

Это выражение преобразовано в уравнение параболы

$$H_{п.э} = aH_э^2 + bH_э, \quad (5)$$

отражающее непосредственную связь потенциальной высоты сосновых древостоев черничных свежих с фактической.

Относительная высота  $H_{о.п}$  послужила переводным коэффициентом при расчете потенциальной продуктивности древостоев остальных типов леса по фактической. Наглядное представление о полученных результатах дают рис. 1, 2.

Разработана система уравнений

$$H_{п.р} = aH_э^2 + bH_э + c;$$

$$H_{п.р} = aH_{п.э}^2 + bH_{п.э} + c, \quad (6)$$

позволяющих определять потенциальные высоты древостоев различных типов леса ( $H_{п.р}$ ) по фактическим ( $H_э$ ) и потенциальным ( $H_{п.э}$ ) высотам древостоев эталонного типа леса.

Эта система, по существу являющаяся математической основой типологии сосновых лесов в статике, служит основным результатом исследований, раскрывающим характер связи продуктивности древостоев с типами леса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Войнов Г. С. Линейно-типологический принцип оценки продуктивности северных лесов // Материалы отчет. сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1988 г.— Архангельск: АИЛиЛХ, 1989.— С. 9—11. [2]. Войнов Г. С. Использование линейно-типологического принципа при оценке фактической продуктивности лесов Архангельской области // Материалы отчет. сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1991 г.— Архангельск: АИЛиЛХ, 1992.— С. 11—14. [3]. Мелехов И. С., Корконосова Л. И., Чертовской В. Г. Руководство по изучению концентрированных вырубок.— 2-е изд.— М.: Наука, 1965.— 180 с. [4]. Сукачев В. Н. Основы лесной геоботаники // Избр. тр. Т. 1.— Л.: Наука, 1972.— С. 142—200.

УДК 630\*432.31.002.5

С. Н. ОРЛОВСКИЙ, Э. Г. ФИЛИМОНОВ

ВНИИПОМлесхоз

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛЕСОПОЖАРНЫХ АГРЕГАТОВ

Приведены результаты исследований тяговой динамики лесопожарных агрегатов, работающих в условиях длительных импульсных перегрузок. Определены оптимальные значения скорости движения агрегата, его мощности, момента инерции, загрузки двигателя.

The results of the research into the tractive dynamics of the booster units working under lengthy impulse overloads are given. Optimum motion speed values of the unit, its power, inertia moment, workload of the engine are determined.

Тушение крупных лесных пожаров заключается в основном в их локализации минерализованными полосами. Агрегат, прокладывающий полосу, испытывает нагрузки ярко выраженного неуставившегося характера. Преодоление сил сопротивления происходит за счет как мощности двигателя, так и кинетической энергии, аккумулированной во вращающихся и поступательно движущихся массах агрегата [2].

Оценка процессов, происходящих при преодолении участков повышенной нагрузки с длительностью  $\tau \geq 0,5$  с, может быть проведена на основании уравнения движения агрегата

$$M_c = M_e \pm I_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где  $M_c$ ,  $I_{\Sigma}$  — момент сопротивления и суммарный момент инерции агрегата, приведенные к коленчатому валу двигателя;  
 $M_e$  — крутящий момент двигателя;  
 $\frac{d\omega}{dt}$  — угловое ускорение коленчатого вала двигателя [3].

Рассматривая переходные характеристики двигателя относительно номинального режима его работы, будем подводить к нему прямоугольные импульсы нагрузки при перепаде угловой скорости вала  $\Delta\omega_p$ :

$$\Delta\omega_p = \omega_p - \omega_m, \quad (2)$$

где  $\omega_p$  — угловая скорость, допустимая при перегрузках;  
 $\omega_m$  — номинальное значение угловой скорости.

Длительность эталонного импульса обозначим  $t_1$ . Тогда прирост момента сопротивления, подведенного к двигателю,

$$\Delta M_{j1} = \frac{I\Delta\omega}{t_1}. \quad (3)$$

Возмущение инерционного звена при различной длительности импульса  $t_n > t_1$  (из условия равенства площади импульсов) можно записать формулой

$$\Delta M_j = \Delta M_{j1} \frac{t_1}{t_n}. \quad (4)$$

Постоянная времени  $T_m$  при различных возмущениях  $\Delta M_{jn}$  определится по выражению

$$T_m = \frac{I \Delta \omega_B}{\Delta M_{jn}} \quad (5)$$

Максимальный прирост момента от сил инерции

$$\Delta M_{j \max} = I_z E_{n, n-1} \quad (6)$$

где  $E_{n, n-1}$  — замедление (отрицательное ускорение).

Возможную динамическую реакцию агрегата  $K$  с учетом текущего значения коэффициента приспособляемости  $K'_m$  найдем по формуле

$$K = K'_m + \frac{I_z E_{n, n-1}}{M_{ep}} \quad (7)$$

Уравнение (7) характеризует динамику двигателя, работающего в условиях длительных импульсных перегрузок. В развернутом виде оно запишется так:

$$K = K'_m + \frac{I_z \Delta \omega_B \left( e^{-\frac{t_n - 1}{T_m}} - e^{-\frac{t_n}{T_m}} \right)}{M_{ep} (t_n - t_{n-1})} \quad (8)$$

причем

$$K'_m = (1 + K_{m-1}) \frac{\omega_p - \omega}{\omega_p - \omega_M} \quad (9)$$

где  $\omega$  — текущее значение угловой скорости.

Среднее оптимальное значение динамической реакции за импульс нагрузки определим по формуле

$$K_{\text{ср. опт}} = K'_m + I_z \frac{\Delta \omega_{\text{опт}}}{\tau M_{ep}} \quad (10)$$

Значения расчетов динамической реакции лесопожарных агрегатов на базе тракторов ТДТ-55 и ТТ-4, а также агрегатов лесопожарных (АЛП) на базе самоходной артиллерийской установки ИСУ-152 и танка Т-54М [1], вычисленных по приведенной методике на ЭВМ «СМ-1500», представлены в табл. 1 и 2.

Для получения характеристики динамики внешних условий в 1970—1974 гг. в Красноярском крае были испытаны лесохозяйственные агрегаты на прокладке минерализованных полос клином КРП-2,5 [4]. Экспериментально определены моменты сопротивления, приведенные к коленчатому валу двигателей испытываемых агрегатов на базе тракторов ЛХТ-55, ТДТ-75 и ТТ-4, частота вращения коленчатого вала, скорость движения, тяговое усилие и расход топлива.

Работа тракторного агрегата с клином в лесу вызывает значительные перегрузки двигателя по крутящему моменту (коэффициент вариации момента сопротивления 31,5...39,8 %) и снижение частоты вращения коленчатого вала от номинальной до 887...969 мин<sup>-1</sup> при коэффициенте вариации длительности перегрузок 71,4 %.

При экспериментальных исследованиях на агрегате в составе трактора ТТ-4 с клином КРП-2,5 на передней навеске были получены следующие характеристики динамики рабочего процесса и затрат мощности: коэффициент загрузки двигателя  $K_z = 0,71$ , затраты мощности на прокладку минерализованной полосы шириной 2,5 м  $N_d = 57$  кВт, рабочая скорость  $V_d = 1,1 \dots 1,3$  м · с<sup>-1</sup>,  $K_{\text{д. ср}}^{\text{макс}} = 1,55$ ,  $\tau = 2,0$  с, вероятные значения  $\bar{K}_{\text{д. ср}} = 1,4$  и  $\bar{\tau} = 4$  с (см. рисунок).

При обработке осциллографических записей выделены участки, на которых значения момента сопротивления выше средних, длительно

Таблица 1

Время действия импульса нагрузки, кп, с	Снижение угловой скорости (рад·с <sup>-1</sup> ) при t				Замедление (рад·с <sup>-2</sup> ) при t			Среднее значение замедления, рад·с <sup>-2</sup>	Коэффициент приспособляемости двигателя (текущее значение)	Динамическая реакция агрегата при t		Оптимальное значение динамичности реакции агрегата К <sub>д.сп</sub> , опт
	0,5 с	1 с	τ-0,5 с	τ	0,5 с	1 с	τ-0,5 с			0,5 с	τ	
0,5	29,71	—	—	29,71	59,42	—	59,42	1,095	0,703	0,703	1,797	
1,0	18,49	29,71	18,49	29,71	36,99	22,43	22,43	1,060	0,437	0,265	1,410	
1,5	13,32	22,87	22,87	29,71	26,65	19,09	13,68	1,043	0,315	0,162	1,281	
2,0	10,40	18,49	24,80	29,71	16,19	16,19	9,82	1,033	0,246	0,116	1,214	
2,5	8,52	15,50	25,88	29,71	17,04	13,95	7,65	1,027	0,202	0,091	1,173	
3,0	7,22	13,32	26,57	29,71	14,43	12,22	6,27	1,023	0,171	0,074	1,145	
3,5	6,26	11,68	27,05	29,71	12,51	10,85	5,31	1,020	0,148	0,063	1,125	
4,0	5,23	10,40	27,41	29,71	11,05	9,85	4,60	1,018	0,131	0,054	1,110	
4,5	4,94	9,37	27,67	29,71	9,89	8,85	4,06	1,016	0,117	0,048	1,098	
5,0	4,47	8,52	27,89	29,71	8,95	8,09	3,64	1,014	0,106	0,043	1,089	
5,5	4,08	7,81	28,06	29,71	8,17	7,46	3,29	1,013	0,097	0,039	1,081	
6,0	3,76	7,32	28,21	29,71	7,52	6,92	3,01	1,012	0,089	0,036	1,074	
6,5	3,48	6,70	28,33	29,71	6,96	6,44	2,77	1,011	0,082	0,033	1,069	
7,0	3,24	6,26	28,43	29,71	6,48	6,03	2,56	1,010	0,077	0,030	1,064	
7,5	3,03	5,87	28,52	29,71	6,06	5,67	2,38	1,010	0,072	0,028	1,060	
8,0	2,85	5,52	28,60	29,71	5,70	5,35	2,23	1,009	0,067	0,026	1,056	

наблюдаемых. Для участков перегрузки определены средние значения коэффициентов динамичности  $K_{д.сп}$  и длительность импульса нагрузки  $\tau$ , найдены корреляционные зависимости  $K_{д.сп} = f(\tau)$  и  $\tau = f(K_{д.сп})$ , которые дают возможность выявить динамические свойства агрегата, проявляемые при работе в данных условиях; установить

Таблица 2

Время действия нагрузки, кч, с	Оптимальные значения динамической реакции агрегатов на базе										
	ТЛП-4 (база ТЛ-4)	ИСУ-152					Т-54М				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0,5	1,598	2,218	2,394	1,384	2,505	3,748	7,426				
1,0	1,311	1,619	1,707	1,203	1,763	2,385	4,224				
1,5	1,214	1,443	1,482	1,140	1,520	1,942	3,190				
2,0	1,163	1,336	1,367	1,107	1,396	1,716	2,664				
2,5	1,132	1,272	1,296	1,087	1,192	1,578	2,342				
3,0	1,111	1,222	1,248	1,073	1,161	1,485	2,126				
3,5	1,101	1,188	1,214	1,063	1,139	1,418	1,969				
4,0	1,084	1,165	1,188	1,055	1,122	1,367	1,851				
4,5	1,075	1,147	1,168	1,049	1,109	1,327	1,759				
5,0	1,068	1,132	1,151	1,044	1,098	1,295	1,684				
5,5	1,062	1,120	1,137	1,041	1,089	1,269	1,623				
6,0	1,057	1,111	1,126	1,037	1,082	1,247	1,572				
6,5	1,052	1,103	1,117	1,034	1,076	1,228	1,529				
7,0	1,049	1,095	1,108	1,032	1,070	1,212	1,492				
7,5	1,046	1,089	1,101	1,030	1,066	1,198	1,459				
8,0	1,043	1,084	1,095	1,028	1,062	1,180	1,431				

Примечание. 1—5 — номера передач.

вероятные значения  $K_{д. ср}$  и  $\tau$ , используемые как расчетные при определении параметров агрегатов.

Двигатель (и агрегат в целом) в этом случае можно рассматривать как прибор с определенной шкалой и точностью измерений.

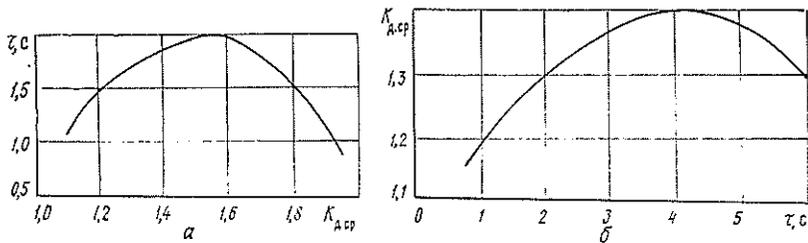
Полученные данные динамики рабочего процесса и динамические характеристики агрегатов (табл. 1 и 2) позволяют определить их оптимальные параметры на стадии проектирования. Оптимальное значение  $K_{з. опт}$  находим по формуле

$$K_{з. опт} = 1 - (K_{д. ср}^{макс} - K_{ср. опт}), \quad (11)$$

где  $K_{д. ср}^{макс}$  — наиболее характерное максимальное значение коэффициента динамичности при определенной длительности;

$K_{ср. опт}$  — динамическая реакция при той же длительности.

Степень соответствия динамических параметров агрегата динамике условий работы  $K_c$  определяется отношением



Графики зависимости  $\tau = f(K_{д. ср})$  (а) и  $K_{д. ср} = f(v)$  (б) при работе трактора ТТ-4 на прокладке минерализованных полос клинном КРП-2,5

$$K_c = K_{ср. опт} / K_{д. ср}^{макс}. \quad (12)$$

Оптимальную скорость движения  $V_{опт}$ , при которой силы инерции используются наиболее эффективно, получаем по формуле

$$V_{опт} = V_d \frac{\tau}{t_{опт}}, \quad (13)$$

где  $V_d$  — рабочая скорость агрегата из опыта;  
 $t_{опт}$  — оптимальная длительность эффективной отдачи агрегатом аккумулированной кинетической энергии.

Зависимость (13) показывает, что оптимальная скорость агрегата при работе в конкретных условиях определяется его динамическими параметрами и не может быть произвольной.

При движении с оптимальной скоростью увеличивается динамическая реакция, а следовательно, и степень загрузки двигателя и производительность агрегата.

При данной скорости номинальная мощность двигателя  $N_e$ , приведенная к фактической ширине прокладываемой полосы, определяется по формуле

$$N_e = \frac{N_d V_{опт} B_2 / B_1}{K_{з. опт} V_d} K_n, \quad (14)$$

где  $K_n$  — коэффициент, учитывающий изменение силы сопротивления движению с изменением скорости;  
 $B_2, B_1$  — требуемая и фактическая ширина минерализованной полосы.

Приведенный момент инерции агрегата  $I_{з. опт}$  находим по выражению

$$I_{з. опт} = \frac{[K_{д. ср}^{макс} - (1 - K_z) - K'_m] M_{ep} t_{опт}}{\Delta \omega'}, \quad (15)$$

где  $\Delta \omega'$  — оптимальное снижение угловой скорости коленчатого вала двигателя конкретного агрегата.

Результаты расчетов оптимальных параметров лесопожарных агрегатов представлены в табл. 3.

Из приведенных данных следует, что трактор ТЛП-55 (ЛХТ-55) не вполне соответствует условиям работы ввиду недостаточных значений мощности двигателя и момента инерции. Его тяговый КПД (по данным исследований) составляет 0,29... 0,35 [3]. В модификации трактора ЛХТ-100 мощность двигателя увеличена.

Для лесопожарных работ, связанных с прокладкой минерализованных полос, наиболее пригоден трактор ТЛП-4. Увеличение на 26 %

Таблица 3

Агрегат	Передача	Скорость, км · ч <sup>-1</sup>	Мощность, кВт	Приведенный момент инерции, кг · м <sup>2</sup>	Оптимальный коэффициент загрузки двигателя	Коэффициент соответствия динамике условий работы
ТЛП-55	—	2,3/3,9	62/80	3,6/5,2	0,66	0,78
ТЛП-4	—	4,3/5,0	81/76	5,0/6,3	0,61	0,75
АЛП ИСУ-152	1	4,3/5,0	382/263	28,3/16,9	0,67	0,80
	2	2,5/5,4	382/283	29,8/19,0	0,69	0,81
	3	2,5/7,7	382/371	32,7/22,0	0,72	0,83
	4	2,5/10,7	382/480	37,9/29,6	0,75	0,86
АЛП Т-54М	1	4,3/6,0	426/417	7,5/8,2	0,46	0,67
	2	2,5/14,7	426/969	20,4/17,4	0,59	0,75
	3	2,5/20,2	426/1135	36,1/25,4	0,75	0,85

момента инерции вращающихся масс обеспечит повышение его производительности.

По конструктивным и мощностным параметрам специфике лесопожарных работ соответствуют агрегаты на шасси тяжелых и средних танков, поскольку требуемый для преодоления препятствий запас кинетической энергии (см. табл. 2) у них обусловлен значительной массой, а двигатель обеспечивает высокие рабочие скорости.

Агрегат на базе ИСУ-152 (шасси танка ИС-2) способен выполнять работу на скоростях 4,3...7,7 км · ч<sup>-1</sup> при  $K_z = 0,67...0,72$  и  $K_c = 0,80...0,83$ . Применение в качестве базы АЛП среднего танка Т-54М (Т-55-Т-64) вызывает некоторое ухудшение показателей агрегата ввиду неполного соответствия скоростного ряда коробки передач условиям работы в лесу. Показатели АЛП на базе Т-54М могут быть улучшены за счет роста скоростей движения, но при этом необходимо увеличить мощность двигателя и обеспечить быстрдействие управления рабочими органами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Орловский С. Н. Рабочие скорости и энергетические параметры мелнораптивных агрегатов // Гидротехнические сооружения и механизация гидромелиоративного строительства в Сибири.— Красноярск: СибНИИГиМ, 1982.— С. 77—85. [2]. Стахеев Ю. И. Тяговая динамика лесохозяйственного агрегата // Современные машины и механизмы в лесном хозяйстве.— Красноярск: ВНИИПОМлесхоз, 1973.— С. 39—47. [3]. Стахеев Ю. И. Оценка энергетических и тяговых качеств трактора ЛХТ-55 // Там же.— С. 47—52. [4]. Стахеев Ю. И., Орловский С. Н. Выбор условий и объема работ для испытаний лесохозяйственных тракторов // Лесн. журн.— 1978.— № 3.— С. 56—59.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 16 ноября 1993 г.

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630\*377.4.001.4

А. В. ЖУКОВ, С. Э. БОБРОВСКИЙ

Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ  
ТРАНСМИССИИ КОЛЕСНОГО ЛЕСНОГО ТРАКТОРА  
НА БАЗЕ МТЗ-82

Рассмотрены объект, методика и результаты исследований, динамической нагруженности трансмиссии трактора при различных режимах эксплуатации.

The object, methods and results of study into the tractor transmission dynamic load under different conditions are considered.

В настоящее время широкое распространение получили лесозаготовительные машины на колесном шасси. Они имеют ряд преимуществ перед гусеничными и обеспечивают более высокую производительность труда, особенно при увеличении расстояния транспортирования. Они работают в сложных эксплуатационных условиях, что приводит к различным отказам. Значительная часть из них происходит из-за повреждений, возникающих в деталях трансмиссии при динамических перегрузках.

Для определения динамической нагруженности трансмиссии трелевочного трактора на базе МТЗ-82В были проведены его тяговые испытания в условиях Борисовского леспромхоза Республики Беларусь.

Трактор «Лес-10» разработан в БТИ совместно с концерном Беллеспром. Он состоит (рис. 1) из базового модуля МТЗ-82В без переднего моста (1); серийной обрезанной рамы МАЗ-509 (2); гидромани-

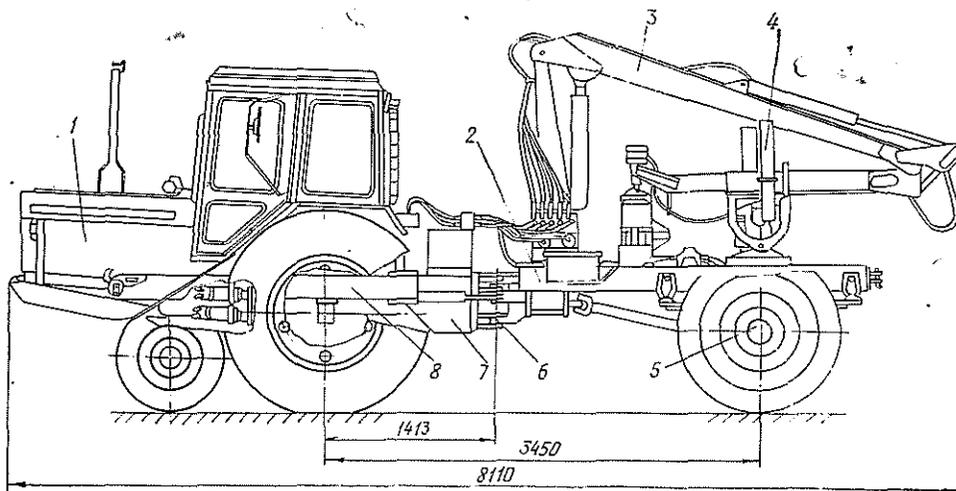


Рис. 1. Лесозаготовительная машина «Лес-10» на базе трактора МТЗ-82В

пулятора ЛВ-184 (3); коника ТБ-1 (4); заднего моста МАЗ-509 (активной оси) (5). Рама трелевочного трактора включает серийную обрешеченную раму МАЗ-509 (2), вертикальный и горизонтальный шарниры (6), поперечины (7), правый и левый лонжероны (8). Для привода заднего моста трактора используется задний синхронный вал отбора мощности (ВОМ). Через синхронизирующий редуктор крутящий момент с помощью карданных передач передается от ВОМа к заднему мосту трактора. Управление технологическим оборудованием (гидроманипулятор 3, коник 4) осуществляется с реверсивного поста трактора. Для тензометрирования был выбран заранее подготовленный горизонтальный участок волока длиной 100 м. Разгон до равномерного движения и разворот трактора выполняли на расстоянии 20 м до и после участка. Нормальный тепловой режим двигателя и трансмиссии создавали прогревом трактора под нагрузкой не менее 1 ч.

В начале каждого заезда трактор ставили в исходное положение. По команде тензометриста оператор включал передачу и резко, при полном открытии дроссельной заслонки, отпускал педаль сцепления.

При проведении испытаний измеряли крутящие моменты на полуосях трактора с помощью передвижной тензометрической лаборатории ПТЛ-1 на автомобиле ЗИЛ-131. Аппаратура включала усилитель 8АНЧ-7М и осциллограф К-20-21. Значения моментов регистрировали на протяжении всего заезда при движении на трех рабочих скоростях (I, II и III передачи), с грузом и без груза, с активной осью и без нее. После каждого заезда проверяли техническое состояние трактора и исправность аппаратуры.

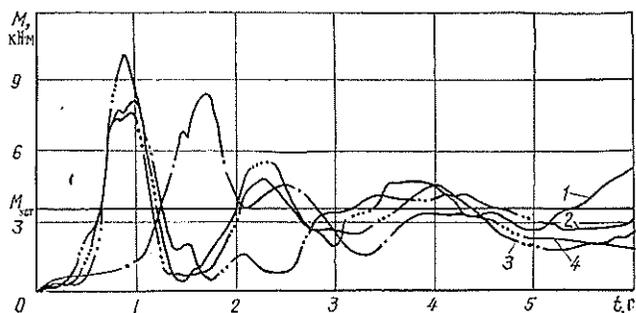


Рис. 2. Образцы осциллограмм процесса тензометрирования крутящего момента на полуосях трактора при трогании с места: 1—4 — номера заездов

Пример осциллограммы приведен на рис. 2. Она показывает, что изменение крутящих моментов носит колебательный характер с максимумом в момент включения сцепления (0,8...1,5 с). Затем наблюдается спад. При установившемся движении (через 3...4 с после трогания) крутящий момент начинает изменяться периодически ( $t = 8,46$  с) относительно линии установившегося значения  $M_{кр}$ .

Примерно такой же характер изменения крутящего момента имеет место на полуосях переднего и заднего мостов во всех исследованных вариантах движения.

В отдельных случаях максимумы смещались в пределах 0,8 с за счет неравномерности отпускания педали сцепления.

На основании полученных осциллограмм можно сделать вывод, что максимальный крутящий момент возникает в трансмиссии трелевочного трактора при резком трогании с места.

Режим работы	Максимальный крутящий момент, кН·м, на передачах		
	I	II	III
Полуоси переднего моста с активной осью*			
Без груза	7,89/7,96	5,45/5,51	12,88/12,84
	8,21/8,19	12,08/12,05	9,34/9,40
	7,57/7,53	13,37/13,27	13,37/13,27
	9,82/9,65	12,24/12,10	12,88/12,84
С грузом	11,76/11,43	12,56/12,88	14,17/13,69
	9,18/9,27	12,08/12,88	14,17/14,17
	11,43/11,43	13,21/12,96	9,98/10,17
	11,27/11,76	12,88/12,56	13,69/14,17
Мосты трактора**			
Без груза	11,27/9,6	14,49/15,22	19,97/12,79
	12,24/10,59	16,75/15,00	10,63/13,42
	13,85/11,00	13,85/13,60	15,32/14,97
	13,21/9,2	15,14/14,81	14,38/15,84
С грузом	14,49/15,04	11,92/15,81	15,46/15,40
	14,49/15,81	20,94/16,40	19,33/16,21
	14,17/15,40	18,36/16,80	12,56/15,40
	14,89/15,62	19,44/16,37	15,46/15,81

\* В числителе — данные для правой полуоси, в знаменателе — для левой.

\*\* В числителе — данные для первого моста, в знаменателе — для второго.

Значения максимальных крутящих моментов, полученные в процессе проведения экспериментов, приведены в таблице. Данные таблицы показывают, что наличие активной оси в лесозаготовительной машине на базе трактора МТЗ-82В позволяет разгружать передний мост в режиме трогания с места без груза и с грузом на 45...55 %.

Поступила 1 марта 1993 г.

УДК 629.4.001.24

С. И. МОРОЗОВ

Архангельский государственный технический университет

### К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УДАРА НА ЛЕСОТРАНСПОРТЕ

Рассмотрена методика решения задач удара при плоскопараллельном движении тел. Получена система расчетных уравнений, позволяющих решить многие задачи соударения тел при транспортировке грузов по лесозовным УЖД. Дан пример решения задачи.

The methods of solving impact problems on flat-parallel motion of the bodies are considered. The system of calculated equations allowing to solve many collision problems on transporting the cargoes by logging narrow-gauge railroads is developed. An example of the problem solution is given.

Удар тел имеет место на всех стадиях лесозаготовительного производства, от валки леса до отгрузки готовой продукции. В одних операциях (валка) он не влияет существенно на технологический процесс, в других (погрузочно-разгрузочные и транспортные операции) необходимо учитывать ударные взаимодействия тел на отдельных стадиях их движения.

В настоящей статье приведена методика решения задач удара в общем случае плоскопараллельного движения тел с помощью так называемой классической теории удара. Она позволяет определить линейные и угловые скорости тел после удара, что весьма существенно при изучении их последующего движения. Вопросы, связанные с определением времени удара и ударных сил, здесь не рассматриваются.

Методика решения задач плоского удара приведена как в учебной [1, 3], так и в специальной [2, 4] литературе. Однако она пока не доведена до вида, удобного для практического применения.

Как известно, в классической теории удара используют теоремы об изменениях количества движения и момента количества движения тел, а также понятие коэффициента восстановления, предложенного И. Ньютоном. Отсюда для расчетной схемы, приведенной на рис. 1, имеем следующие системы исходных уравнений

$$m_1(\bar{u}_1 - \bar{v}_1) = S_{1n}\bar{n}_1 + S_{1\tau}\bar{\tau}_1; \tag{1}$$

$$m_2(\bar{u}_2 - \bar{v}_2) = S_{2n}\bar{n}_2 + S_{2\tau}\bar{\tau}_2; \tag{2}$$

$$I_1(\omega_1 - \omega_{10}) = S_{1n}h_1 + S_{1\tau}p_1; \tag{3}$$

$$I_2(\omega_2 - \omega_{20}) = -S_{2n}h_2 + S_{2\tau}p_2; \tag{4}$$

$$\bar{u}'_1\bar{n}_1 + \bar{u}'_2\bar{n}_2 = -\varepsilon(\bar{\tau}'_1\bar{n}_1 + \bar{\tau}'_2\bar{n}_2), \tag{5}$$

- где  $m_1, m_2$  — массы соударяющихся тел;  
 $I_1, I_2$  — моменты инерции тел относительно их центров масс (точки  $C_1$  и  $C_2$ );  
 $\bar{v}_1, \bar{v}_2, \omega_{10}, \omega_{20}$  — линейные (для точек  $C_1$  и  $C_2$ ) и угловые скорости тел до удара;  
 $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \omega_1, \omega_2$  — то же после удара;  
 $\bar{\tau}_1, \bar{n}_1$  ( $\bar{\tau}_2, \bar{n}_2$ ) — оси координат, имеющие начало в точке соударения  $E$  и направленные по касательной и нормали к поверхности тел в точке  $E$ . Каждая пара осей образует правостороннюю систему координат;  
 $\bar{\tau}_1, \bar{n}_1, \bar{\tau}_2, \bar{n}_2$  — орты осей координат;  
 $S_{1n}, S_{2n}, S_{1\tau}, S_{2\tau}$  — составляющие импульсов ударных сил, направленные по осям координат,  $S_{1n} = S_{2n} = S_n$ ;  $S_{1\tau} = S_{2\tau} = S_\tau$ ;  
 $h_1, h_2$  — перпендикуляры, опущенные из точек  $C_1$  и  $C_2$  на оси  $\bar{n}_1$  и  $\bar{n}_2$ ;  
 $p_1, p_2$  — то же на оси  $\bar{\tau}_1$  и  $\bar{\tau}_2$ ;  
 $\varepsilon$  — коэффициент восстановления при ударе, определяемый экспериментально;

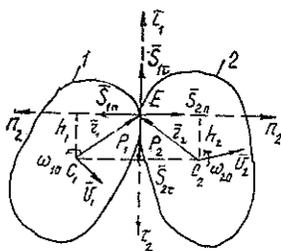


Рис. 1. Расчетная схема

$\bar{v}', \bar{v}, \bar{u}', \bar{u}_2$  — скорости точки  $E$  до и после удара. Они связаны со скоростями точек  $C_1$  и  $C_2$  зависимостями

$$\bar{v}'_1 = \bar{v}_1 + \bar{\omega}_{10} \bar{r}_1; \quad \bar{u}'_1 = \bar{u}_1 + \bar{\omega}_1 \bar{r}_1;$$

$$\bar{v}'_2 = \bar{v}_2 + \bar{\omega}_{20} \bar{r}_2; \quad \bar{u}'_2 = \bar{u}_2 + \bar{\omega}_2 \bar{r}_2;$$

$\bar{r}_1, \bar{r}_2$  — радиусы-векторы точки  $E$  для первого и второго тел.

Преобразуем систему уравнений (1) — (4). Для этого первое и второе уравнения спроектируем на ось координат, третье и четвертое запишем в векторной форме. В итоге получим шесть уравнений

$$m_1 (\bar{u}'_1 \bar{\tau}_1 - \bar{v}'_1 \bar{\tau}_1) = S_\tau;$$

$$m_1 (\bar{u}'_1 \bar{n}_1 - \bar{v}'_1 \bar{n}_1) = S_n;$$

$$m_2 (\bar{u}'_2 \bar{\tau}_2 - \bar{v}'_2 \bar{\tau}_2) = S_\tau;$$

$$m_2 (\bar{u}'_2 \bar{n}_2 - \bar{v}'_2 \bar{n}_2) = S_n; \quad (6)$$

$$I_1 (\bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_{10}) = S_n \bar{n}_1 + S_\tau \bar{p}_1;$$

$$I_2 (\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_{20}) = S_n \bar{n}_2 + S_\tau \bar{p}_2,$$

где  $\bar{u}' \bar{\tau}, \bar{u}' \bar{n}, \bar{v}' \bar{\tau}, \bar{v}' \bar{n}$  — проекции скоростей  $\bar{u}'$  и  $\bar{v}'$  на оси  $\tau$  и  $n$ ;

$\bar{h}, \bar{p}$  — вектора расстояний  $h$  и  $p$ , расположенные перпендикулярно к плоскости рисунка. Их модули можно рассматривать как координаты точек  $C_1$  и  $C_2$  в соответствующих системах координат для первого и второго тел. В дальнейшем при решении задач их значения записывают со знаком плюс или минус.

Система уравнений (6) содержит восемь неизвестных и в конечном виде решения не имеет. Необходимо получить еще два уравнения. Одним из них является уравнение (5), а второе получим из условия взаимодействия тел в точке контакта тел  $E$ .

В общем случае связь между составляющими импульсов  $S_\tau$  и  $S_n$  имеет вид

$$S_\tau \leq f S_n, \quad (7)$$

где  $f$  — динамический коэффициент трения между поверхностями соударяющихся тел.

Здесь возможны три случая:

а) если поверхности тел гладкие, то  $f = 0$ , следовательно, второе дополнительное уравнение

$$S_\tau = 0; \quad (7a)$$

б) если при ударе происходит проскальзывание тел, то второе дополнительное уравнение

$$S_\tau = f S_n; \quad (7b)$$

в) если выполняется условие

$$S_\tau < f S_n,$$

то в точке  $E$  проскальзывание не происходит, и второе дополнительное уравнение можно записать из условия равенства касательных составляющих скоростей после удара в точке  $E$ , т. е.

$$\bar{u}'_1 \bar{\tau}_1 + \bar{u}'_2 \bar{\tau}_2 = 0. \quad (7в)$$

С помощью уравнения (5) и одного из условий (7а), (7б) или (7в) задачу плоского удара можно решить полностью.

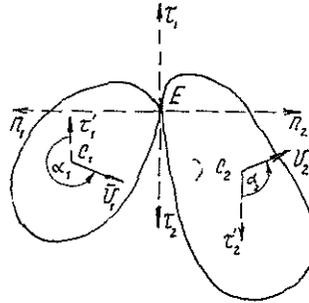
При записи расчетных уравнений в аналитическом виде положение скоростей  $\bar{v}_1$  и  $\bar{v}_2$  будем определять через тригонометрические функции углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , которые эти вектора образуют с осями  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Углы откладывают от положительного направления этих осей (или параллельных им линий, проведенных из точек  $C_1$  и  $C_2$ ) против часовой стрелки до векторов  $\bar{v}_1$  и  $\bar{v}_2$ , как это показано на рис. 2. Например,

$$\bar{v}_1 \bar{\tau}_1 = v_1 \sin \alpha_1;$$

$$\bar{v}_1 \bar{n}_1 = v_1 \cos \alpha_1,$$

и знак проекции получается «автоматически».

Рис. 2. Схема для определения углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$



Сначала необходимо определить значения величин  $S_\tau$  и  $S_n$  в результате решения двух дополнительных уравнений (5) и (7). Опуская промежуточные преобразования, получаем выражения, приведенные в табл. 1. В представленных в таблице расчетных уравнениях обозначено

Таблица 1

Но- мер урав- нения	Усло- вие для $f$	Нали- чие про- скаль- зыва- ния	Расчетные уравнения	
			для $S_\tau$	для $S_n$
7а	$f = 0$	Нет	0	$-\frac{(1 + \varepsilon) A_1}{G}$
7б	$f \neq 0$	Есть	$S_n f$	$-\frac{(1 + \varepsilon) A_1}{G + f}$
7в	$f \neq 0$	Нет	$\frac{H(1 + \varepsilon) A_1 - G A_2}{B}$	$\frac{H A_2 - G_1(1 + \varepsilon) A_1}{B}$

Здесь

$$G = 1/m_1 + 1/m_2 + h_1^2/I_1 + h_2^2/I_2;$$

$$G_1 = 1/m_1 + 1/m_2 + p_1^2/I_1 + p_2^2/I_2;$$

$$H = p_1 h_1/I_1 + p_2 h_2/I_2;$$

$$B = GG_1 - H^2;$$

$$A_1 = v_1 \sin \alpha_1 + v_2 \sin \alpha_2 + h_1 \omega_{10} + h_2 \omega_{20};$$

$$A_2 = v_1 \cos \alpha_1 + v_2 \cos \alpha_2 + p_1 \omega_{10} + p_2 \omega_{20}.$$

Затем находим все кинематические величины

$$u_{1\tau} = v_1 \cos \alpha_1 + S_\tau / m_1;$$

$$u_{1n} = v_1 \sin \alpha_1 + S_n / m_1;$$

$$u_{2\tau} = v_2 \cos \alpha_2 + S_\tau / m_2;$$

$$u_{2n} = v_2 \sin \alpha_2 + S_n / m_2;$$

$$\omega_1 = \omega_{10} - S_n h_1 / I_1 + S_\tau p_1 / I_1;$$

$$\omega_2 = \omega_{20} - S_n h_2 / I_2 + S_\tau p_2 / I_2.$$

При пользовании этими уравнениями значения  $\omega_{10}$ ,  $\omega_{20}$ ,  $h$  и  $p$  необходимо подставлять с соответствующими знаками.

В качестве примера рассмотрим соударение двух вагонов (платформ, сцепов) в точке  $E$  их буферно-сцепной группы при попутном движении перед ударом на прямом горизонтальном участке пути. Такой случай соударения имеет место, например, на маневровых работах.

Примем:  $m_1 = 15$  т;  $m_2 = 5 \dots 30$  т;  $v_1 = 5$  м/с;  $v_2 = 0, 2, 4$  м/с;  $\epsilon = 0; 0,5; 1,0$ ;  $\omega_{10} = \omega_{20} = 0$ . Влиянием вращающихся масс (колесных пар) пренебрегаем, т. е. оба вагона рассматриваем как два поступательно движущихся тела. В этом случае их радиусы инерции равны бесконечности, поэтому  $I_1 = I_2 = \infty$ . Отсюда следует, что значения  $h$  и  $p$  можно не определять, так как при делении их на  $I = \infty$  получим в результате нули. Для рассматриваемого случая удара (рис. 3) имеем  $\alpha_1 = 90^\circ$  и  $\alpha_2 = 90^\circ$ .

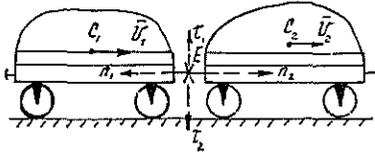


Рис. 3. Схема соударения вагонов

Используя приведенные в условии данные, находим

$$G = G_1 = 1/m_1 + 1/m_2 = (m_1 + m_2)/(m_1 m_2);$$

$$H = 0; \quad A_1 = -v_1 + v_2; \quad A_2 = 0; \quad S_\tau = 0;$$

$$S_n = \frac{m_1 m_2 (1 + \epsilon)(v_1 - v_2)}{m_1 + m_2};$$

$$u_{1n} = -v_1 + \frac{m_2 (1 + \epsilon)(v_1 - v_2)}{m_1 + m_2};$$

$$u_{2n} = v_2 + \frac{m_1 (1 + \epsilon)(v_1 - v_2)}{m_1 + m_2};$$

$$u_{1\tau} = u_{2\tau} = \omega_1 = \omega_2 = 0.$$

Эти выражения общеизвестны. Однако приведенные нами расчетные уравнения позволяют получить решение и значительно более сложных задач. Результаты решения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные				Результаты расчета											
				$u_{1n}, \text{ м/с, при } \epsilon$				$u_{2n}, \text{ м/с, при } \epsilon$				$S_n, \text{ кН} \cdot \text{с, при } \epsilon$			
$u_1$	$u_2$	$m_1$	$m_2$	0	0,5	1,0	0	0,5	1,0	0	0,5	1,0	0	0,5	1,0
5	0	15	5	-3,75	-3,13	-2,2	3,75	5,6	7,5	18,7	28,1	37,5	37,5	28,1	37,5
			10	-3,0	-2,0	-1,0	3,0	4,5	6,0	30,0	45,0	60,0	60,0	45,0	60,0
			15	-2,5	-1,25	0	2,5	3,75	5,0	37,5	56,2	75,0	75,0	56,2	75,0
5	2	15	30	—	0	3,75	—	2,5	2,0	—	75,0	98,5	—	75,0	98,5
			5	-4,25	-3,88	-3,5	4,25	5,38	6,5	11,2	16,9	22,5	22,5	16,9	22,5
			10	-3,8	-3,2	-2,6	3,8	4,7	5,6	18,0	27,0	36,0	36,0	27,0	36,0
5	4	15	15	-3,5	-2,75	-2,0	3,5	4,25	5,0	22,5	33,7	45,0	45,0	33,7	45,0
			25	-3,13	-2,19	-1,25	3,13	3,69	4,25	28,1	42,4	56,2	56,2	42,4	56,2
			5	-4,75	-4,62	-4,5	4,75	5,12	5,5	3,75	5,6	7,5	7,5	5,6	7,5
5	4,4	10	10	-4,6	-4,4	-4,2	4,6	4,9	5,2	6,0	9,0	12,0	12,0	9,0	12,0
			15	-4,5	-4,25	-4,0	4,5	4,75	5,0	7,5	11,2	15,0	15,0	11,2	15,0

Отсюда можно сделать следующие выводы.

1. Практически во всех рассмотренных вариантах направление движения вагонов после удара не изменяется, т. е.  $u_{1n} < 0, u_{2n} > 0$ .

2. При определенных условиях первый вагон после удара приобретает скорость второго вагона до удара. Из равенства  $u_{1n} = -v_2$  имеем, что в этих случаях  $m_2 = m_1/\epsilon$ . Например, для  $\epsilon = 0$  получим  $m_2 = \infty$ , для  $\epsilon = 0,5$   $m_2 = 2m_1$ , для  $\epsilon = 1$   $m_2 = m_1$ . Такая закономерность подтверждается данными табл. 2 для каждого значения начальной скорости.

3. Во всех вариантах расчета выполняется условие Ньютона, которое в рассматриваемом примере имеет вид

$$u_{1n} + u_{2n} = \epsilon(v_1 - v_2).$$

Например, при  $v_1 = 5$  м/с,  $v_2 = 4$  м/с,  $\epsilon = 0,5$  по формуле получим

$$u_{1n} + u_{2n} = 0,5(5 - 4) = 0,5.$$

Для неупругого удара  $\epsilon = 0$  скорости обоих вагонов после удара будут одинаковы. Значения их можно найти по формулам

$$u_{1n} = -\frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2};$$

$$u_{2n} = - \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

где знак минус для скорости  $u_{1n}$  показывает, что она направлена в сторону, обратную оси  $n_1$ .

4. При упругом и частично упругом ударах выполняется условие

$$u_{2n} > |u_{1n}|,$$

т. е. после удара вагоны разъединяются и дальше будут двигаться по отдельности. В ряде случаев скорость второго вагона после удара больше скорости первого вагона до удара, т. е. больше  $v_1 = 5$  м/с.

5. Полученные зависимости можно использовать для экспериментального определения коэффициента восстановления, которое другим способом получить трудно.

Рассмотрим методику выполнения такого эксперимента. На рис. 4, а показаны два вагона в момент соударения, на рис. 4, б — их конечное положение после удара. Запишем расчетную систему уравнений. По теории удара

$$u_{1n} = -v_1 + \frac{m_2(1+\varepsilon)(v_1 - v_2)}{m_1 + m_2};$$

$$u_{2n} = v_2 + \frac{m_1(1+\varepsilon)(v_1 - v_2)}{m_1 + m_2};$$

по теореме об изменении кинетической энергии

$$u_{1n} = \sqrt{2g\omega s_1};$$

$$u_{2n} = \sqrt{2g\omega s_2},$$

где  $s_1, s_2$  — прокат первого и второго вагонов после удара;  
 $\omega$  — удельное сопротивление движению вагонов.

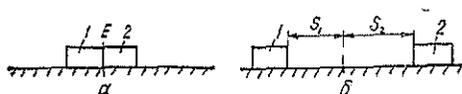


Рис. 4. Схема для определения коэффициента восстановления.  $E$  — плоскость соударения

Решая совместно первое и второе уравнения при условии  $v_2 = 0$ , находим неизвестные  $\varepsilon$  и  $v_1$  через скорости вагонов после удара.

Опуская промежуточные преобразования, записываем выражение для  $\varepsilon$  и  $v$  в окончательном виде:

$$\varepsilon = \frac{m_1(u_{1n} + u_{2n})}{m_2 u_{2n} - m_1 u_{1n}};$$

$$v_1 = \frac{m_2 u_{2n} - m_1 u_{1n}}{m_1}.$$

Подставим в эти уравнения выражения для  $u_{1n}$  и  $u_{2n}$ , тогда

$$\varepsilon = \frac{m_1(\sqrt{s_1} + \sqrt{s_2})}{m_2 \sqrt{s_2} - m_1 \sqrt{s_1}};$$

$$v_1 = \frac{m_2 \sqrt{s_2} - m_1 \sqrt{s_1}}{m_1} \sqrt{2g\omega}.$$

Таким образом, чтобы вычислить  $\varepsilon$ , достаточно измерить прокат вагонов после удара  $s_1$  и  $s_2$  и знать их массы  $m_1$  и  $m_2$ . Однако для вычисления скорости первого тела до удара необходимо знать еще удельное сопротивление движению вагонов.

Расчетная система уравнений, полученная в этой работе, позволяет решить не только задачу о соударении вагонов, но также практически все другие задачи плоскопараллельного удара тел. Для облегчения решения процедуру вычислений удобно запрограммировать на ЭВМ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бутенни Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. Курс теоретической механики. Т. 2.—М.: Наука, 1971.—264 с. [2]. Гольдсмит В. Удар.—М.: Стройиздат, 1965.—448 с. [3]. Леви-Чивита Т., Амальди У. Курс теоретической механики. Т. 2, ч. 2.—М.: Изд-во иностр. лит., 1951.—556 с. [4]. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара.—М.: Наука, 1977.—224 с.

Поступила 20 декабря 1993 г.

УДК 630\*36

П. М. МАЗУРКИН

Марийский политехнический институт

### ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕСНЫХ МАШИН

Рассмотрены некоторые аспекты теории исчисления потоков лесных машин. Предложена их классификация на основе сопоставления скоростей движения машины и обработки растущего дерева. Показаны варианты дизъюнктивного и конъюнктивного соответствия лесотехнических функций.

Certain aspects of calculus theory of forest machines flow are considered. Their classification on the basis of speeds comparison of the machine movement and growing tree processing is offered. The variants of disjunctive and conjunctive correspondence of forest engineering functions are revealed.

В процессе проектирования экологически чистых технологий [1—10] приходится переосмысливать многие понятия. Объектами исследования становятся концептуальные модели [9, 12], объясняющие возникновение, строение и развитие лесных машин как средств механизации различных видов лесобработки и лесопользования. В итоге эволюционный принцип становится основой классификации лесных машин. Фрагменты таких исследований опубликованы нами ранее [1, 4, 5, 6—8, 11].

Из всего многообразия средств технического оснащения лесного комплекса выделим множество машин и оборудования для обработки растущих деревьев, лесной почвы и заготовки лесоматериалов. Примем следующие допущения:

1) способы обработки растущих и срубленных деревьев в настоящее время ведомственно разобщены. В перспективе ускоренно будет расти число способов и средств для обработки деревьев, оставляемых на доращивание;

2) обработке подлежат деревья любого возраста;

3) обрабатываемые деревья имеют определенную структуру, пространственное положение, их качественные свойства выражены нечетко;

4) лесные машины, обрабатывающие деревья или их части, могут перемещаться по грунту, в воздухе или комбинированным способом.

Возможны три подхода к теоретическим исследованиям процессов обработки деревьев и древесины:

1) поток деревьев и лесоматериалов изучается по отношению к машинам;

2) поток машин и оборудования направляется к деревьям и (или) лесоматериалам;

3) оба указанных потока динамически взаимодействуют.

В настоящее время большее внимание уделяется первому направлению, которое применимо при исследовании реальных производственных процессов. Состав комплекса машин и их параметры более устойчивы во времени, чем поток предметов обработки. При проектировании и конструировании предлагается использовать второй подход, ориентированный на описание динамики параметров существующих и проектируемых лесных машин. В перспективе требуется создать теорию, объединяющую исчисление потоков предметов и средств труда. Рассмотрим некоторые аспекты этой теории.

Лесные машины могут выполнять различные функции, которые по отношению к процессам преобразования деревьев [8] или древесины [11] делятся на два основных множества [7]: переместительные со скоростью  $u$  и обрабатывающие со скоростью  $v$ . Обрабатывающая функция выполняется с перемещением или без него. В последнем случае параметр  $v$  характеризует скорость измерения размеров, формы и качества деревьев или лесоматериалов. Обработка деревьев с перемещением машины выполняется при условии  $v \geq u$ . Оно же справедливо при обработке потока лесоматериалов стационарными машинами. Если машина не работает, например находится в ремонте или на хранении, то  $u = 0$ ,  $v = 0$  ( $u \wedge v = 0$ ).

В процессе функционирования  $u$  и  $v$  не равны нулю. Из всего множества дискретных значений этих параметров выделим три случая:  $u \vee v = 0$ ;  $u \vee v \neq 0$ ;  $u \wedge v \neq 0$ . Тогда получим три сочетания:

- 1)  $u = 0$ ,  $v \neq 0$  — аппараты (котлы варочные и тепловые, энергетические машины, реакторы и др.);
- 2)  $u \neq 0$ ,  $v = 0$  — транспортные и транспортирующие машины;
- 3)  $u \neq 0$ ,  $v \neq 0$  — транспортно-обрабатывающие и транспортирующе-обрабатывающие машины.

Наиболее сложен третий вариант. Для структуризации введем фактор времени. Оба параметра  $u$  и  $v$  во времени могут находиться в двух режимах: переместительные и обрабатывающие функции выполняются лесной машиной совместно ( $u \wedge v$ ) или отдельно ( $u \vee v$ ). В первом случае имеем непрерывно работающие машины, во втором дискретные обработчики. В пространстве и времени функционирования получим множества функций  $F$ , которые можно описать логическими формулами.

Дизъюнктивное соответствие функций для первого сочетания запишем в виде

$$F'_a = (u = 0) \vee (v \neq 0) \rightarrow v \neq 0. \quad (1)$$

В группу  $F'_a$  попадают автономные (скорость перемещения обеспечивает установочное движение) и стационарные машины для измельчения, размещения, покраски, мытья и других функций, а также аппараты для обработки точечными источниками энергии (взрыв, радиоволны, радиационное излучение, тепловые и иные лучи и др.).

Конъюнктивное соответствие имеет вид

$$F''_a = (u = 0) \wedge (v \neq 0) \quad (2)$$

и требует «нулевого» движения (подачи) предметов обработки. В эту группу входят аппараты механической, химической и биологической обработки древесины. Устройства для хранения лесоматериалов относятся к этому множеству.

Согласно разделительной классификации находим множество

$$F'_r = (u \neq 0) \vee (v = 0) \rightarrow u \neq 0, \quad (3)$$

в которое входят транспортные и транспортирующие машины.

По объединительной классификации получаем выражение

$$F''_T = (u \neq 0) \wedge (v = 0), \quad (4)$$

которое соответствует подмножеству транспортных и транспортирующих машин, обеспечивающих стабильность свойств перевозимых объектов.

Сочетание  $u \neq 0$ ,  $v \neq 0$  можно выразить через простые соотношения. Формула

$$F'_1 = F'_T \vee F'_a = (u \neq 0) \vee (v \neq 0) \quad (5)$$

характеризует модульное изменение функций в одной машине за счет монтажа или демонтажа объемно-точечного обрабатывающего оборудования, а высказывание

$$F''_1 = F''_T \vee F''_a = ((u \neq 0) \wedge (v = 0)) \vee ((u = 0) \wedge (v \neq 0)) \quad (6)$$

соответствует модульной разъединительной классификации транспортных (транспортирующих) машин с аппаратами механической и (или) химико-биологической обработки деревьев и древесины. Выражение

$$F''_2 = F'_T \wedge F'_a = (u \neq 0) \wedge (v \neq 0) \quad (7)$$

относится к многофункциональной автономной машине для непрерывной объемно-точечной обработки. Формула

$$F''_2 = F''_T \wedge F''_a = ((u \neq 0) \wedge (v = 0)) \wedge ((u = 0) \wedge (v \neq 0)) \quad (8)$$

противоречива по параметрам, так как одновременно нельзя требовать от машины выполнения функций  $u = 0$  и  $u \neq 0$ , а также  $v = 0$  и  $v \neq 0$ . Поэтому возможны только два смешанных разъединительных сочетания:

$$F'_3 = F'_T \vee F''_a = (u \neq 0) \vee ((u = 0) \wedge (v \neq 0)), \quad (9)$$

описывающее множество транспортных (транспортирующих) машин, выполняющих химико-биологическую обработку деревьев и (или) древесины;

$$F''_3 = F''_T \vee F'_a = ((u \neq 0) \wedge (v = 0)) \vee (v \neq 0), \quad (10)$$

соответствующее подклассу транспортно-обрабатывающих машин, стабилизирующих свойства предметов обработки в период транспортировки и обрабатывающих их в начале и (или) конце пути. Если считать  $v \rightarrow 0$  в периоде транспортировки, то лесовозный автопоезд с манипулятором относится к этому множеству. Он может подсортировать хлысты или сортименты в начале или конце пути.

Из формул (5) — (7), (9), (10) видно, что элементарными множествами являются функции  $F'_T$ ,  $F''_T$ ,  $F'_a$ ,  $F''_a$ , т. е. множества транспортных (транспортирующих) и обрабатывающих модулей. При этом возможны более сложные логические формулы. Например, выражение (7) по соответствию значений может быть записано в трех вариантах ( $u < v$ ,  $u = v$ ,  $u > v$ ). Как уже отмечалось, при обработке растущих деревьев необходимо стремиться к соответствию  $u < v$  (машины по принципу действия «напроход» должны успевать обработать деревья). Заготовленные лесоматериалы возможно обработать при всех трех вариантах сочетаний значений скоростей  $u$  и  $v$ . Ситуация  $u > v$  означает частичную (ступенчатую) обработку. Для достижения большей количественной определенности необходимо дискретное моделирование технических данных лесных машин.

По формуле (7) при  $u = v$  получим большое множество активных лесных машин с пассивными рабочими органами (корчеватели, кусторезы, лесные плуги, скреперы, сучкоподборщики и др.).

Функциональная классификация позволяет повысить эффективность конструирования лесных машин и их важнейших узлов. На ее основе можно построить автоматизированную систему поиска модульных конструкций машин и оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алексеев П. В., Мазуркин П. М., Федюков В. И. Проектирование систем биотехнических требований на основании мониторинга выращивания спецсортиментов / Марийск. политех. ин-т.—Йошкар-Ола, 1992.—121 с.—Деп. в ВНИПИЭИ-леспром 08.04.92. № 2835—лб92. [2]. Гордеев С. М., Иванов Г. А. К обоснованию очередности освоения лесосек // Лесн. журн.—1992.—№ 3.—С. 40—44.—(Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Мазуркин П. М. Перспективы развития лесопромышленных зон Марийской АССР.—Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1989.—92 с. [4]. Мазуркин П. М. Поисковое проектирование лесотехнических объектов.—Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1990.—192 с. [5]. Мазуркин П. М. Поисковое конструирование лесотехнического оборудования.—Саранск: Изд-во Сарат. ун-та. Саранск. филиал, 1990.—304 с. [6]. Мазуркин П. М. Функциональное проектирование систем машин // Проблемы формирования систем машин и техники новых поколений. Т. 1, ч. 1.—М.: ВНИИПМ, 1990.—С.: 106—121. [7]. Мазуркин П. М. Функциональное расширение технологического поведения лесозаготовительных машин // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса.—Л.: ЛТА, 1990.—С. 10—18. [8]. Мазуркин П. М. Классификация технических функций лесозаготовок // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса.—Л.: ЛТА, 1991.—С. 16—22. [9]. Мазуркин П. М. Концепция механизации лесозаготовок требует пересмотра // Лесн. пром-сть.—1991.—№ 12.—С. 21. [10]. Мазуркин П. М. Проблемы внедрения экологически чистых технологий лесозаготовки // Проблемы леса и охраны природы в Республике Марий Эл.—Йошкар-Ола: МарПИ, 1992.—С. 65—66. [11]. Мазуркин П. М. Классификация механической обработки лесоматериалов // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств.—Спб.: ЛТА, 1992.—С. 97—101. [12]. M a z u r k i n P. M. Machinery evolution as a biogenous process // 10<sup>th</sup> World Forestry Congress.—Paris, 1991.—Hors Ser. 6.—P. 519.

Поступила 3 марта 1993 г.

УДК 621.3.016.4 : 630\*378.1

Е. А. ШЕКАЛОВ, Э. Д. ВТЮРИНА

Архангельский государственный технический университет

### ПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕКУПЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ СПУСКЕ НА ВОДУ ПУЧКОВ БРЕВЕН

Приведены энергетические показатели работы машины для береговой сплотки леса ЛТ-105. Установлены значения удельного потребления и рекуперации электроэнергии. Даны рекомендации по снижению расхода энергии и улучшению эксплуатации машины.

The power operation indices of bank timber bundling machine LT-105 are presented. The values of specific consumption and recuperation of electric power are stated. The recommendations on reduction of power consumption and improvement of the machine operation are given.

Для формирования, увязки и спуска на воду сплавных пучков бревен в СевНИИПе под руководством Л. П. Петрова разработана, изготовлена и к 1974 г. внедрена на нижнем складе Сойгинского лесопункта Литвиновского леспромпхоза машина для береговой сплотки леса ЛТ-105.

Машина содержит грузовую лебедку с электродвигателем мощностью 55 кВт и приемное устройство с двумя щитами для продольного

смещения выступающих концов бревен с помощью двух гидроцилиндров мощностью по 10 кВт.

Сформированный пучок бревен опускают на тележке в воду по рельсовому пути, уложенному по береговому откосу с практически постоянным углом наклона около 20°.

Грузовая лебедка оснащена пневматическим тормозом, мощность привода компрессора которого 3 кВт.

Управление процессом формирования и спуска пучка осуществляют из специальной кабины, снабженной нагревательным прибором мощностью 1,5 кВт, используемым для обеспечения необходимого комфорта. Участок работы машины имеет наружные светильники мощностью 1 кВт. Общая установленная мощность электроприемников 80,5 кВт.

Шесть таких машин введено в эксплуатацию к 1989 г. на нижнем складе Авиюгского КЛПХ (пос. Ягрыш). Пачки бревен загружают в приемное устройство машины с помощью крана башенного типа КБ-572, оснащенного грейфером ЛТ-85. Объем формируемого сплавного пучка определяется его осадкой, зависящей от уровня воды в данный период навигации. Для условий Северной Двины объем пучка составляет 13...20 м³. Каждый агрегат ЛТ-105 сбрасывает в среднем за навигацию свыше 20 тыс. м³ бревен.

При опускании груза (тележки с бревнами) асинхронный двигатель грузовой лебедки, удерживающий тележку, переходит в режим генератора. Он вырабатывает активную электрическую энергию, отдавая ее в общую электросеть, и потребляет из сети реактивную энергию. Количество потребленной и рекуперированной (возвращенной в электросеть) активной энергии учитывали с помощью трехфазных электросчетчиков СА4У-И672М. Каждый счетчик снабжен специальным стопором, препятствующим обратному вращению диска на угол более 45° при изменении направления поступления электроэнергии: от электросети к электродвигателю или обратно. Реактивную энергию учитывали трехфазным счетчиком СР4У без специального стопора.

Исследования по расходу электроэнергии выполнены на установке ЛТ-105 в навигационные периоды 1989, 1990 и частично 1991 гг. При этом учитывали потребление активной и реактивной энергии всеми электроприемниками машины ЛТ-105, а также потребление и рекуперацию активной энергии и потребление реактивной энергии электродвигателем грузовой лебедки.

Приводим показатели потребления и рекуперации энергии за 1990 г. Перемещено в сплав 16 428 м³ или 1258 пучков; средний объем пучка 13,06 м³; отработано 50 смен; производительность установки 328 м³/см, или 25 пучков/см.

Потреблено энергии всеми электроприемниками ЛТ-105 с учетом рекуперации (электросчетчики без стопора): активной  $\mathcal{E}_{\text{аф}} = 1800$  кВт·ч, реактивной  $\mathcal{E}_{\text{р}} = 3680$  квар·ч, удельной соответственно 0,110 кВт·ч/м³ и 0,22 квар·ч/м³; коэффициент мощности, который определяется по формуле  $\cos \varphi = \frac{\mathcal{E}_{\text{аф}}}{\sqrt{\mathcal{E}_{\text{аф}}^2 + \mathcal{E}_{\text{р}}^2}}$ , равен 0,44.

Потребление активной энергии электродвигателем грузовой лебедки (электросчетчики снабжены стопором, исключающим сброс показаний при изменении направления энергии): поступило из сети 440 кВт·ч, рекуперировано  $\mathcal{E}_{\text{рек}} = 340$  кВт·ч, фактически потреблено  $\mathcal{E}_{\text{аф}} = 100$  кВт·ч; потреблено реактивной энергии (счетчик без стопора)  $\mathcal{E}_{\text{р}} = 2040$  квар·ч; удельные показатели соответственно 0,027; 0,021; 0,006 кВт·ч/м³; 0,124 квар·ч/м³; коэффициент рекуперации  $K_{\text{р}} = \mathcal{E}_{\text{рек}}/\mathcal{E}_{\text{аф}} = 3,4$ ; коэффициент мощности 0,05.

Приведенные данные показывают, что за время работы двигателя грузовой лебедки происходит значительная рекуперация энергии. При опускании грузовой тележки электродвигатель переходит в генераторный режим и возвращает в электросеть в 3,4 раза больше активной энергии, чем потребляет ее при подъеме порожней. Этот коэффициент несколько меньше, чем только при спуске сплавных пучков, так как двигатель расходует активную энергию при использовании грузовой лебедки и на вспомогательной работе по подъему на берег такелажа, необходимого для увязки сплавных пучков.

Общий электросчетчик, учитывающий потребление активной энергии всеми электроприемниками, не имеет стопора и практически «сбрасывает» с общих показаний количество электроэнергии, возвращаемое в электросеть двигателем грузовой лебедки. В результате общее потребление энергии снижается на  $0,021 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ , т. е. на 19 %.

При опускании сплавного пучка электродвигатель грузовой лебедки, работая в генераторном режиме, потребляет из сети значительное количество реактивной энергии, необходимой для поддержания его магнитного поля. Удельный расход этой энергии равен  $0,124 \text{ квар} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ . Коэффициент мощности, рассчитанный как отношение фактически потребленной активной энергии к полной, составил 0,05. Его значение зависит от фактического потребления активной и реактивной энергии электродвигателем грузовой лебедки.

Согласно материалам исследований на спуске с переменным уклоном рельсового пути коэффициент мощности за навигацию 1989 г. увеличился до 0,10, при этом коэффициент рекуперации уменьшился до 2,02. На установке с постоянным уклоном рельсового пути в течение июля 1991 г. коэффициент рекуперации достиг 8,00, но при этом коэффициент мощности снизился до 0,02. Общий коэффициент мощности всей установки в среднем за весь период навигации 1990 г. составил 0,44, что характерно для ряда промышленных электроустановок. Значения коэффициента мощности шести эксплуатируемых на складе установок ЛТ-105 резко различались (от 0,34 до 0,74), что обусловлено рядом причин, в том числе подключением к электрощиту установки электросварочного агрегата для выполнения ремонтных работ.

Повышение этого коэффициента по сравнению с коэффициентом мощности двигателя грузовой лебедки обусловлено большим коэффициентом мощности торцующей установки (3-4 торцовки на каждый сплавной пучок), работающей с полной нагрузкой, потреблением активной энергии отопительными и осветительными приборами, особенно в последние месяцы навигации, а также на электросварку при подключении электросварочного аппарата к общему электрощиту установки ЛТ-105.

В результате исследования можно сделать следующие выводы.

1. Для снижения потребления активной энергии при спуске на воду пучков бревен с помощью машины ЛТ-105 необходимо максимально использовать потенциальную энергию, запасенную в находящемся на берегу пучке бревен. Этого можно достигнуть за счет выработки и подачи в сеть (или ближайшим потребителям) активной электроэнергии при работе асинхронного двигателя в генераторном режиме в процессе опускания груза. Наиболее полное использование разности уровней потенциальной энергии пучка бревен может быть достигнуто за счет равного по всему откосу угла наклона рельсового пути, по которому перемещается грузовая тележка, передающая через грузовой канат усилие на привод грузовой лебедки. При этом частота вращения ротора электродвигателя становится больше синхронной, чем обеспечивается его работа в генераторном режиме. Максимальный (критический) момент, развиваемый асинхронным генератором, несколько выше

критического в двигательном режиме. Это видно из известной формулы для критического момента\*

$$M_{кр} = \frac{3U_{\phi}^2 p}{4\pi f \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]}$$

где  $U_{\phi}$  — фазное напряжение на статоре электродвигателя;  
 $p, f$  — число пар полюсов и частота сети (50 Гц);  
 $R_1, x_1$  — активное и реактивное сопротивления обмотки статора;  
 $x_2'$  — реактивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора.

В этой формуле плюс относится к двигательному, минус — к генераторному режиму. Следовательно,  $M_{кр}^{ген} > M_{кр}^{дв}$ .

2. При выборе мощности привода грузовой лебедки необходимо, чтобы расчетный крутящий момент, создаваемый опускаемым грузом  $M_{груз}$ , не превосходил критического момента электропривода в генераторном режиме, т. е.  $M_{груз} \leq M_{кр}^{ген}$ . Это исключит необходимость подтормаживания грузового барабана при опускании грузовой тележки с пучком бревен, что создаст условия для максимальной рекуперации энергии и соответствующего снижения общего ее потребления.

3. Для повышения общего коэффициента мощности от 0,44 до директивного значения 0,95...0,97 необходима установка батареи статических конденсаторов. Это обеспечит общее снижение потерь энергии в линии электропередач от трансформаторной подстанции до установки ЛТ-105 и снизит падение напряжения в линии. При этом увеличится пусковой момент асинхронных двигателей. Потеря мощности (и энергии) в линии электропередач обратно пропорциональна квадрату коэффициента мощности, а снижение напряжения, например на 10 %, вызывает уменьшение вращающего момента двигателя на 19 %.

Отмеченные результаты исследования рекомендуется использовать при выборе мощности привода грузовой лебедки, а также при сооружении и эксплуатации установки ЛТ-105.

Поступила 26 ноября 1993 г.

УДК 630\*377.44.001.4/5

А. М. КОЧНЕВ

С.-Петербургская лесотехническая академия

## МЕТОДИКА ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАЛАНСИРНЫХ ТЕЛЕЖЕК КОЛЕСНЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Разработаны методика и математическая модель оценки взаимодействия балансирных тележек колесных лесопромышленных тракторов с волоком, позволяющие выбрать их оптимальные конструктивные параметры, повысить эксплуатационную эффективность тракторов и их экологическую совместимость с лесной средой, а также существенно сократить сроки постановки на серийное производство.

The methods and mathematical model of assessment of skid-forwarders' balance bogies interaction allowing to select their optimum construction parameters, to raise the tractors rating and their ecological compatibility with forest environment as well as to substantially reduce the terms of going into quantity production have been developed.

В настоящее время отсутствует методика выбора оптимальных конструктивных параметров балансирных тележек для отечественных лесопромышленных тракторов колесной формулы 6К6 применительно к условиям их эксплуатации в лесу. Существующие методики относятся в основном к дорожно-строительным машинам. Они не учитывают характера взаимодействия балансирных тележек с микропрофилем трелевочных волоков. Настоящая статья посвящена исследованию этого вопроса.

Характер взаимодействия опорной поверхности и колес балансирной тележки существенно отличается от взаимодействия с ней колес, не связанных балансиrom. В первом случае возникают реактивные моменты, разгружающие переднее по ходу движения колесо, что приводит к снижению тягово-сцепных свойств трактора, увеличению циркулирующей в тележке паразитной мощности и повышению износа шин. Для устранения этого недостатка необходимо достижение равномерного или близкого к нему распределения сил тяги по колесам тележки. При этом существенно снижается вероятность возникновения ограничений по сцеплению колес, приводящих к разрушению структуры почвы и ее уплотнению и, как следствие, повышается экологическая совместимость системы движитель — лесная почва.

В качестве критерия для выбора оптимальных конструктивных параметров балансирной тележки принимают коэффициент перераспределения касательной силы тяги по ее колесам:

$$k_T = T_2/T_3, \quad (1)$$

где  $T_2, T_3$  — соответственно касательные силы тяги на переднем и заднем по ходу движения колесах тележки.

За расчетный случай примем движение колеса балансирной тележки через единичную обособленную неровность в виде пня (рис. 1)\*.

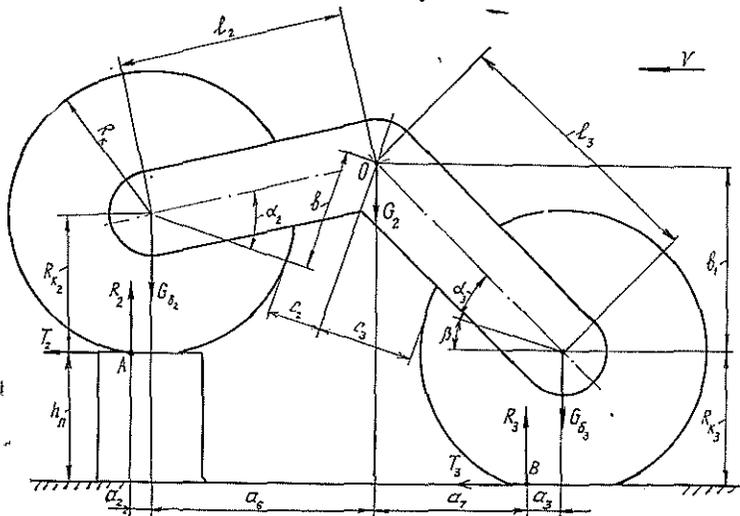


Рис. 1. Расчетная схема взаимодействия колес балансирной тележки с единичной обособленной неровностью

\* Согласно принятому порядку нумерации осей колесного трактора индекс 1 присваивается колесам передней оси. В нашем случае рассматриваются колеса средней и задней осей, которым соответствуют индексы 2 и 3.

Вертикальные реакции, действующие на колеса тележки, определим из уравнений равновесия сил:

$$R_2 = G_{\delta_2} + G_{\delta_3} + G_2 - R_3; \quad (2)$$

$$R_3 = \frac{1}{a_2 + a_6 + a_7} [G_{\delta_2} a_2 + G_{\delta_3} (a_2 + a_3 + a_6 + a_7) + G_2 (a_6 + a_2) + T_2 (R_{K_2} + b_1 - h_n) + T_3 (R_{K_3} + b_1)], \quad (3)$$

где

$$a_2 = f_2 R_{K_2}; \quad a_3 = f_3 R_{K_3};$$

$$R_{K_2} = R_K - R_2 / C_{ш}^B; \quad R_{K_3} = R_K - R_3 / C_{ш}^B;$$

$$\beta = \arcsin \frac{h_n}{a_4 + a_5}; \quad a_4 = l_2 \cos \alpha_2;$$

$$a_5 = l_3 \cos \alpha_3; \quad b = l_2 \sin \alpha_2;$$

$$a_6 = l_2 \cos (\alpha_2 - \beta); \quad a_7 = l_3 \cos (\alpha_3 + \beta);$$

$$b_1 = l_3 \sin (\alpha_3 + \beta);$$

$G_{\delta_2}, G_{\delta_3}$  — соответственно вес переднего и заднего плеч балансира с колесами;

$C_{ш}^B$  — коэффициент вертикальной жесткости шин;

$R_{K_2}, R_{K_3}$  — радиусы качения переднего и заднего колес;

$f_2, f_3$  — коэффициенты сопротивления качению переднего и заднего колес.

При движении балансирной тележки по горизонтальной поверхности для расчета  $R_2$  и  $R_3$  в формулах (2), (3) надо принять  $h_n = 0$ .

Анализ (2) и (3) показывает, что увеличение  $T_2$  и  $T_3$  ведет к росту реакции  $R_3$  и соответственно уменьшению реакции  $R_2$ ;  $R_2 = 0$  имеет место при  $R_3 = G_{\delta_2} + G_{\delta_3} + G_2$ . Таким образом, выражения (2) и (3) позволяют исследовать влияние основных конструктивных параметров и условий эксплуатации тележки на ее тягово-цепные свойства и нагруженность. В балансирных тележках колесных лесопромышленных тракторов зарубежного и отечественного производства основными типами привода в настоящее время являются: жесткий блокированный (шестиренчатый и цепной) и индивидуальный (мотор — колесо) — соответственно 80 и 15 % тракторов. Незначительная часть тракторов (около 5 %) снабжена роликовым (дополнительное «беличье колесо») приводом. Возможным альтернативным типом привода может быть дифференциальный — с симметричным или несимметричным дифференциалом между колесами. Касательные силы тяги на ведущих колесах тележки в зависимости от типа привода определяются по следующим выражениям:

для блокированного

$$T_2 = (R_2 f_2 + R_3 f_3) / (k_6 + 1); \quad (4)$$

$$T_3 = (R_2 f_2 + R_3 f_3) k_6 / (k_6 + 1); \quad (5)$$

для индивидуального

$$T_2 = R_2 f_2; \quad (6)$$

$$T_3 = R_3 f_3; \quad (7)$$

для дифференциального

$$T_2 = (R_2 f_2 + R_3 f_3) / (k_d + 1); \quad (8)$$

$$T_3 = (R_2 f_2 + R_3 f_3) k_d / (k_d + 1), \quad (9)$$

где  $k_6$  — коэффициент перераспределения крутящего момента между колесами тележки,  $k_6 = R_2 R_{K_2} / R_3 R_{K_3}$ ;

$k_d$  — коэффициент блокировки дифференциала.

В случае применения заблокированного привода имеем

при  $k_6 \leq 0$

$$T_2 = 0; \quad T_3 = (R_2 f_2 + R_3 f_3) / R;$$

при  $T_2 \geq R_2 \varphi$

$$T_2 = R_2 \varphi; \quad T_3 = (R_2 f_2 + R_3 f_3) - T_2;$$

при  $T_3 \geq R_3 \varphi$

$$T_3 = R_3 \varphi; \quad T_2 = (R_2 f_2 + R_3 f_3) - T_3.$$

В случаях применения индивидуального и дифференциального приводов при  $T_i \geq R_i \varphi$   $T_i = R_i \varphi$ ; при  $T_i = T_2 + T_3 \geq (R_2 + R_3) \varphi$   $T_i = 0$ .

Учет крюковой силы тяги  $P_{кр}$  для трелевочного варианта лесопромышленного трактора заключается в ее добавлении к силе сопротивления перекачиванию тележки.

Методика расчета реализована в виде пакета прикладных программ «ВТ» для персональных ЭВМ IBM XT/AT и позволяет на стадии проектирования и доводки выбирать оптимальные конструктивные параметры балансирной тележки по критерию обеспечения ее высоких тягово-сцепных свойств и экологической совместимости с лесной средой. В статье приведены результаты расчета оптимальных конструктивных параметров балансириных тележек трелевочного трактора ТКЛ-6-02 и сортиментовоза ТКЛ-6-04, имеющих следующие базовые параметры:  $l_2 = l_3 = 0,92$  м;  $b = 0,285$  м;  $R_K = 0,813$  м;  $C_{ш}^a = 710$  кН/м при  $G_{6_2} = G_{6_3} = 7,5$  кН,  $G_2 = 28,8$  кН для порожнего и  $G_2 = 116$  кН для груженого сортиментовоза, а также  $G_2 = 37$  кН для порожнего и  $G_2 = 70$  кН для трелевочного трактора с пачкой деревьев ( $G_2$  — вес, приходящийся на один борт тележки). Рассмотрены три условия эксплуатации: движение по дороге с асфальтобетонным покрытием, лесной песчано-гравийной и трелевочному волоку при объеме трелеваемой пачки деревьев 16 м<sup>3</sup> для трактора ТКЛ-6-02 и 20 м<sup>3</sup> для трактора ТКЛ-6-04. Варьировали параметры: длина балансира —  $l_2, l_3$ ; соотношение плеч балансиров —  $l_2/l_3$ ; высота точки качания балансира  $b$ ; радиус колеса  $R_K$ ; вертикальная жесткость шин  $C_{ш}^a$ ; соотношение жесткостей шин колес тележки  $C_{ш_2}^a/C_{ш_3}^a$ ; дорожные условия и типы приводов в тележке.

Результаты проведенных исследований показывают, что на коэффициент перераспределения сил тяги по колесам тележки  $k_T$  как порожнего, так и груженого сортиментовоза основное влияние оказывают: дорожные условия — коэффициенты сопротивления качению  $f$  и сцеплению  $\varphi$ ; тип привода в тележке; соотношение плеч балансиров  $l_2/l_3$  и радиус колеса  $R_K$ . На величину  $k_T$  трелевочного трактора влияют также длина балансира  $l_2, l_3$ ; соотношение вертикальных жесткостей шин  $C_{ш_2}^a/C_{ш_3}^a$ ; крюковая сила тяги  $P_{кр}$  и высота преодолеваемого препятствия  $h_{пр}$ .

Полнофакторные машинные эксперименты ПФЭ-2<sup>2</sup>, в которых основными варьируемыми параметрами были соотношения длин балансиров  $l_2/l_3$ , радиус колеса  $R_K$ , тип привода и условия эксплуатации, позволили получить ряд математических моделей, адекватно описывающих влияние исследуемых факторов на перераспределение касательной силы тяги по колесам балансириной тележки  $k_{T,2}$ .

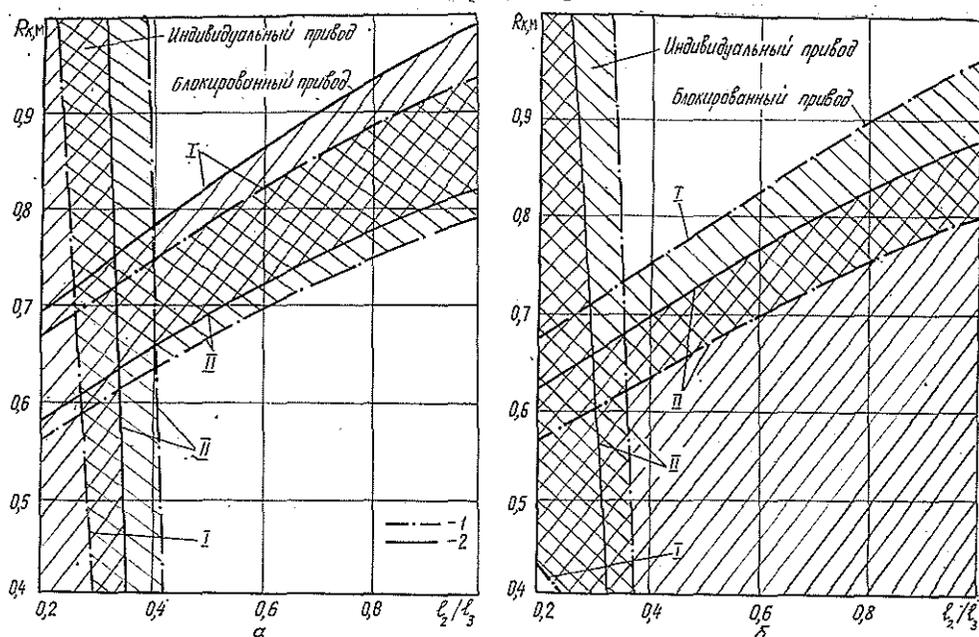


Рис. 2. Оптимальные значения конструктивных параметров балансирной тележки: а — сортиментовоза ТКЛ-6-04; I — волок; II — лесная дорога; 1 —  $Q_n = 0$ ; 2 —  $Q_n = 20 \text{ м}^3$ ; б — трелевочного трактора ТКЛ-6-02; I, II — то же; 1 —  $Q_n = 0$ ; 2 —  $Q_n = 16 \text{ м}^3$

Результаты расчета представлены в виде графиков на рис. 2 (при  $k_T = 1$ ) для различных типов приводов и условий эксплуатации сортиментовоза ТКЛ-6-04 и трелевочного трактора ТКЛ-6-02. Они показывают возможность унификации балансирных тележек колесных лесопромышленных тракторов ОТЗ класса тяги 40 кН — сортиментовоза ТКЛ-6-04 и трелевочного трактора ТКЛ-6-02 — по целому ряду конструктивных параметров. При этом их оптимальные величины должны составлять: для заблокированного привода  $l_2/l_3 = 1,0$ ;  $b = 0,25 \dots 0,30 \text{ м}$ ;  $R_k = 0,80 \dots 0,90 \text{ м}$  и  $\alpha = 15$  град; для индивидуального (мотор — колесо)  $l_2/l_3 = 0,25 \dots 0,40$ ;  $b = 0$ ;  $R_k = 0,80 \dots 0,95 \text{ м}$  и  $\alpha = 0$ . Нижний предел радиуса колеса тележки следует устанавливать с учетом дорожного просвета трактора. Изменение  $R_k$  в указанном диапазоне может быть осуществлено установкой шин с регулируемым давлением воздуха.

Проведенные исследования показывают, что применение в балансирных тележках колесных лесопромышленных тракторов АО ОТЗ привода с симметричным дифференциалом позволяет получить равномерное распределение касательной силы тяги по колесам тележки, практически во всем диапазоне природно-производственных условий эксплуатации с обеспечением высоких тягово-сцепных свойств трактора.

Методика и математическая модель рекомендуются к использованию в создании АСНИ и САПР «Колесный лесопромышленный трактор», а также в практике работы НИИ и КБ отрасли.

Поступила 8 декабря 1993 г.

УДК 630\*377.73

Б. Б. ДЕМИДОВСКИЙ, Б. Д. ВАСИЛЬЕВ-КОЗЛОВ, О. Д. ОРЛЕНКО

Архангельский государственный технический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ  
ГРЕБНЕВЫХ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК  
ИЗ ЧУГУННО-КАПРОНОВОГО ПРЕССМАТЕРИАЛА  
НА МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВОЗАХ**

Показаны преимущества чугунно-капроновых тормозных колодок по сравнению с чугунными: сокращение тормозного пути, увеличение их износостойкости и пробега тепловоза между подъемочными ремонтами.

The advantages of cast-iron-kapron brake shoes over cast-iron ones have been revealed: reduction of braking way, raising their wear resistance and stepping-up the diesel locomotive run between operating repairs.

Применяемые на маневровых тепловозах колес 1520 мм чугунные гребневые тормозные колодки с твердыми вставками и без них вызывают искажение профиля бандажа, имеют низкие коэффициенты трения и износостойкость.

На узкоколейных тепловозах в 1972 г. [1] с успехом начали использовать тормозные колодки из чугунно-капронового прессматериала, который представляет собой металлополимерную смесь, состоящую из 12 частей чугунной стружки и одной части капрона (по объему). Компоненты перемешивают в смесительном барабане при температуре 300 °С, после чего пластифицированную смесь напрессовывают под давлением 20 МПа на металлический каркас. Такие колодки обладают повышенной тормозной эффективностью (коэффициент трения прессматериала  $\varphi = 0,20 \dots 0,25$ ), их износостойкость в 8—10 раз выше, чем у чугунных. Бандаж колеса из этого материала изнашивается больше. В связи с этим замедляется нарастание проката бандажа и в 2—3 раза увеличивается пробег тепловоза между подъемочными ремонтами.

В соответствии с положительным опытом эксплуатации безгребневых и гребневых тормозных колодок из чугунно-капронового прессматериала на тепловозах колес 750 мм, ВНИИЖТ и ЦТ МПС приняты решение испытать этот материал на маневровых тепловозах колес 1520 мм [2]. При этом учитывалось, что режим работы тепловозов широкой колеи и УЖД сходен по ряду показателей (низкие скорости движения, торможение составов прямодействующим тормозом локомотива). В 1984 г. разработана конструкция колодки, спроектирована и изготовлена оснастка для ее изготовления и выпущена опытная партия в количестве 150 шт.

В 1985 г. опытные колодки были установлены на двух маневровых тепловозах ЧМЭЗ депо станции Исакогорка Северной железной дороги и на одном тепловозе на опытном кольце ВНИИЖТ. Эксплуатационные испытания колодок проводили до полного их износа, что позволило оценить их износостойкость в сравнении с чугунными, испытать на тормозную эффективность в летних и зимних условиях и оценить воздействие на бандажи колесных пар.

Одновременно в конце мая 1985 г. проведены сравнительные испытания чугунных колодок тепловозов, работающих в идентичных усло-

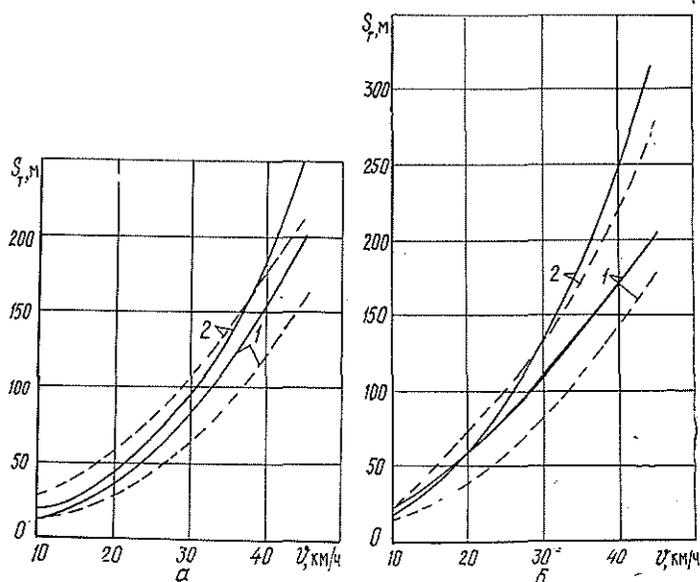
виях. Наблюдения показали, что чугунные колодки предельно изнашиваются через 15...20 сут, чугуно-капроновые работали без замены до 15 марта 1986 г. За этот период на опытных колодках не было обнаружено трещин, расслоения прессматериала, нарушения соединения прессмассы с каркасом и других дефектов.

Для испытаний тормозной эффективности чугуно-капроновых колодок в сравнении с чугунными был выбран горизонтальный участок пути с рельсами Р50. Предварительно проверяли техническое состояние тепловозов, исправность тормозной системы и скоростемер. Давление в тормозном цилиндре устанавливали 0,16 МПа (первая тормозная позиция крана машиниста), что исключало юз колесных пар при опытах. Колодки на день испытаний имели хорошую приработку по бандажам колесных пар.

Летние испытания были проведены 26.06.85 г. при сухой безветренной погоде и температуре воздуха +21 °С; зимние — 30.11.85 г., погода пасмурная, слабая метель, температура — 12 °С.

Торможение производили с подсыпкой песка и без него. Тормозной путь  $S_T$  определяли от начальной точки торможения, с момента перевода ручки крана машиниста в тормозное положение, до полной остановки. Замеры выполняли в диапазоне начальных скоростей торможения  $v$  от 10 до 45 км/ч, с интервалом 5 км/ч. Для повышения точности каждый опыт при одной начальной скорости повторяли три раза. Подсчитывали средние арифметические значения, по которым строили графики зависимости  $S_T = f(v)$ . Отклонения опытных тормозных путей от среднего значения не превышали 8 %, что характеризует достаточную точность эксперимента.

На рисунке приведены результаты испытаний тормозных путей тепловозов для летних и зимних условий. Анализ приведенных графиков показывает, что применение опытных колодок приводит к значительному сокращению тормозного пути.



Зависимость тормозного пути от скорости движения: а — для летних; б — для зимних условий; 1 — чугуно-капроновые; 2 — чугунные колодки; сплошная линия — торможение без песка; штриховая — с песком

**Данные замеров  
износов бандажей тепловозов ЧМЭЗ**

Номер колес- ной пары	Толщина бандажа колес- ных пар, мм				Износ бандажа, мм	
	Лето		Зима		ле- вого	пра- вого
	Ле- вого	Пра- вого	Ле- вого	Пра- вого		

Чугунно-капроновые колодки

Тепловоз ЧМЭЗ № 2364

1	69	68	68	66,5	1	1,5
2	70	69	68,5	67,5	1,5	1,5
3	68	70	67	69	1	1
4	70	70	68,5	68,5	1,5	1,5
5	67	68	66,5	67	0,5	1
6	68	69	66,5	67,5	1,5	1,5

Тепловоз ЧМЭЗ № 1257

1	63	62,5	62	61	1	1
2	64	63	62	62	2	1
3	62	62,5	61	61	1	1,5
4	62	62	60,5	61	1,5	1
5	60	60	59	60	1	0
6	61,5	62	60,5	61	1	1

Чугунные колодки

Тепловоз ЧМЭЗ № 1648

1	76	77	74,5	76	1,5	1
2	75	76	74	75	1	1
3	76	76	74	75	2	1
4	76	77	74	74	2	3
5	76	76	74	74	2	2
6	76	77	76	75,5	0	1,5

Тепловоз ЧМЭЗ № 1252

1	78	77	77	76	1	1
2	78	77	76	76	2	1
3	77	76	76	76	1	0
4	78	78	77	78	1	0
5	76	77	76	77	0	0
6	78	77	77	76	1	1

Состояние бандажей колесных пар контролировали ежемесячным осмотром при ТО-2 на тепловозах, работающих с опытными и чугунными колодками. Измеряли толщину бандажа, прокат и толщину гребня. Сравнение данных таблицы показывает, что износы бандажей, работающих с опытными и чугунными колодками, близки по значению.

На бандажах, работающих с чугунно-капроновыми колодками, не было обнаружено кольцевых выработок, пятен термических прижогов и сетки трещин. Наволакивания металла бандажа на колодку не наблюдалось.

Итак, испытания гребневых тормозных колодок из чугунно-капронового прессматериала, проведенные на двух маневровых тепловозах ЧМЭЗ, показали их высокую тормозную эффективность. Чугунно-капроновый прессматериал можно рассматривать как тело стержневого строения. Чугунная стружка, являющаяся наполнителем, распределена в виде стержней в связке-капроне, дает высокую шероховатость поверхности трения и увеличивает площадь фактического контакта в сопряжении колодки с колесом. При этом повышается коэффициент трения в сравнении с чугуном, а значит, и тормозная эффективность колодок. Опытные колодки обеспечивают сокращение тормозного пути тепловоза на 24...25 % в летних условиях эксплуатации и на 36 % — зимой (см. рисунок).

Во избежание заклинивания колесных пар, давления в тормозных цилиндрах маневровых тепловозов определяют расчетом при значении коэффициента трения  $\varphi = 0,25$ .

Износостойкость опытных колодок в 9—10 раз выше, чем чугунных. Капрон как связующий материал способен поглощать частицы чугуна, образующиеся при износе колодок, и тем самым увеличивать срок их службы.

Разработанная конструкция гребневой тормозной колодки из чугунно-капронового прессматериала вполне приемлема для использования на маневровых тепловозах. Применение их обеспечит увеличение эффективности тормозных средств тепловозов, улучшит безопасность движения и снизит эксплуатационные затраты на тормозное оборудование.

Расчетный годовой экономический эффект от сокращения расхода тормозных колодок составил на один тепловоз 0,7 тыс. р. (в ценах 1982 г.).

Ограниченное время испытаний и величина опытной партии колодок не позволяют всесторонне оценить качество их при различных условиях эксплуатации. Следует продолжить расширенные эксплуатационные испытания на 20...25 тепловозах в летний и зимний периоды при различных режимах работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Демидовский Б. Б. Исследование и обоснование выбора новых фрикционных материалов тормозных колодок для повышения эффективности торможения подвижного состава лесовозных дорог колес 750 мм: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— М.: МЛТИ, 1974.— 25 с. [2]. Испытание опытной партии гребневых тормозных колодок из чугунно-капронового прессматериала на маневровых тепловозах: Отчет о НИР / Архангел. лесотехн. ин-т; Руководитель Б. Б. Демидовский.— № ГР 01.840042116; Инв. № 1628.— Архангельск, 1985.— 87 с.

Поступила 3 декабря 1993 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И  
ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 630\*812

Ю. М. ИВАНОВ

ЦНИИСК

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ  
НА ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ

Выяснена причина повышенного масштабного эффекта при изгибе, заключающаяся в локализации накопления повреждений под нагрузкой в узких активных зонах у кромок сечения изгибаемых элементов. Путем моделирования влияния активных зон на несущую способность последних получено уравнение масштабного эффекта.

The cause of increased scale effect has been ascertained. It consists in localization of damages accumulation under the load in the narrow active zones at the bending members section edges. By modelling the influence of active zones on the bearing capacity of the latter, an equation of scale effect has been obtained.

В настоящее время вместо расчета конструкций на прочность при однократном приложении максимальной нагрузки все большее значение приобретает расчет надежности с определением сроков их службы. Это приводит к необходимости изменения подхода к расчету элементов конструкций с неравномерным распределением напряжений по поперечному сечению (например, при изгибе).

В изгибаемых элементах по мере удаления от кромки поперечного сечения вклад напряжений в накопление повреждений уменьшается более существенно, чем снижение напряжений (при уменьшении напряжения на 1/15 от фибрового — примерно в 14 раз). В результате происходит локализация повреждений в узких активных зонах у кромок напряженных сечений, что фактически определяет несущую способность элементов конструкций при изгибе\* [2].

Вклад ступеней напряжения  $\sigma_i$  в накопление повреждений за промежуток времени  $\Delta t$  определяется выражением

$$\Delta t \frac{t_p}{t_i} = \Delta t \Psi_i,$$

где  $t_p$  — время до разрушения под действием фибрового напряжения  $\sigma_p$ ;

$t_i$  — то же под действием  $\sigma_i$ ;

$$\Psi_i = t_p / t_i.$$

Можно принять [1], что

$$t_p = A \exp -[\alpha \sigma_p];$$

$$t_i = A \exp -\alpha \sigma_i;$$

$$\lg \Psi_i = \lg (t_p / t_i) = [(\sigma_i / \sigma_p) - 1] (\sigma_p / \sigma_0) \lg A,$$

где  $A$  — начальная ордината;

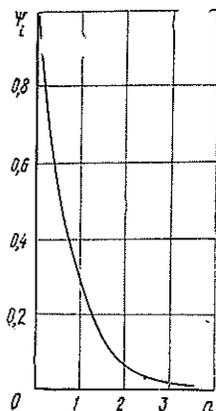
$\alpha$  — угловой коэффициент;

$\sigma_0$  — разрушающее напряжение при  $\lg t = 0$  ( $t = 1$  с).

\* При обеспечении прочного сопротивления сдвигающим усилиям.

Разделим, например, половину высоты сечения балки при ее изгибе ( $h/2$ ) на 30 равных частей. Следовательно, при удалении от кромки на одну ступень напряжение будет уменьшаться на  $\sigma_p/30$ . Величина вклада каждой ступени пропорциональна  $\Psi_i$ . На рис. 1 приведена кривая  $\Psi_i = \Psi_i(h)$  ( $n$  — номер ступени напряжения  $\sigma_i$  при машинных испытаниях изгибаемых образцов). Она иллюстрирует весьма быстрое падение вклада  $\sigma_i$  в накопление повреждений. Например, при  $\Psi_i = 0,07$   $n = 1,835$ , чему соответствует высота активной зоны  $h'_a = h/32,7$ .

Рис. 1. Кривая  $\Psi_i = f(n)$ , показывающая распределение вкладов накопления повреждений по высоте активной зоны  $h'_a$  при скоростных испытаниях



С возрастанием  $h$  значение  $h'_a$  также увеличивается, что отражается на влиянии масштабного фактора на прочность.

Известно свойство твердых тел существенно повышать прочность с уменьшением размеров элементов. При одинаковом относительном их увеличении значительно более сильное падение прочности показывают элементы меньших размеров. Изменение высоты активных зон у изгибаемых элементов должно, очевидно, выражаться в более сильном влиянии масштабного фактора, чем при сжатии и других видах напряженного состояния с равномерным распределением напряжений по сечению элемента.

Имеющиеся экспериментальные результаты подтверждают этот вывод. По данным обстоятельного исследования влияния масштабного фактора на прочность [3] при скоростных испытаниях (скорость роста напряжения  $3,5 \text{ МПа} \cdot \text{с}^{-1}$ ) падение  $\sigma_p$  с увеличением размеров составило у изгибаемых образцов примерно 44 %, у сжатых — 13 %. Поскольку при увеличении размеров изгибаемого элемента площадь его поперечного сечения  $F$  и площадь активной зоны  $F_a$  увеличиваются в равной мере, а несущая способность элемента определяется значительно меньшей по площади активной зоной, то и происходящее при этом падение прочности соответствует изменению  $F_a$ . Отсюда имеется возможность моделирования масштабного фактора с помощью зависимости  $\sigma_{p, \text{сж}} - F$  путем нахождения для заданного падения напряжения в начале этой кривой участка с малой средней площадью, отождествляемой с площадью активной зоны изгибаемого элемента  $F_a$ . В начале такой кривой увеличению  $F_a$  соответствует значительное падение прочности.

Приведем пример такого моделирования для определения  $h'_a$  в сечении изгибаемых образцов при скоростных испытаниях с помощью кривой  $\sigma_{p, \text{сж}} - F$  [3]. Для этого используем подобранные нами по данным Ю. С. Соболева уравнения и соответствующие им кривые в полупрологарифмических координатах для сжатия и изгиба (рис. 2, 3):

$$\sigma_{p. сж} = 52,12 - 3,3 \lg F; \quad (1)$$

$$\sigma_{p. изг} = 87,70 - 21,0 \lg F. \quad (2)$$

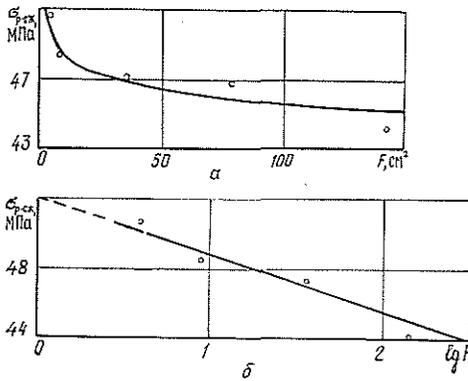


Рис. 2. Зависимости  $\sigma_{p. сж}$  от  $F$  (а) и  $\lg F$  (б) при скоростных испытаниях

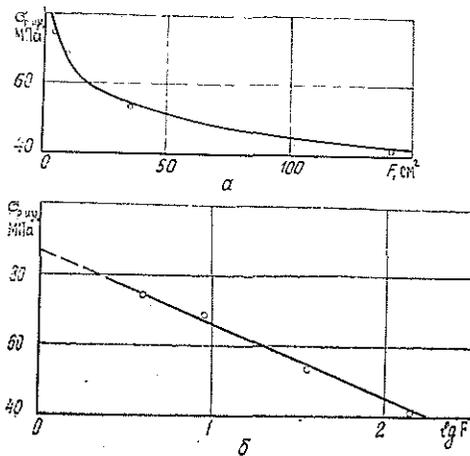


Рис. 3. Зависимости  $\sigma_{p. изг}$  от  $F$  (а) и  $\lg F$  (б) при скоростных испытаниях

Обозначим границы модельного участка кривой по уравнению (1) через  $F'_{a1}$  и  $F'_{a2}$  и рассчитаем среднюю площадь активной зоны:

$$F'_{a. ср} = (F'_{a1} + F'_{a2})/2.$$

Зададим падение разрушающего напряжения  $\Delta\sigma_{p. изг} = 1,4$  МПа при увеличении площади сечения от 120 до 140 см<sup>2</sup>. Решая уравнение (1) для заданной  $\Delta\sigma_p$ , находим  $\lg \frac{F'_{a2}}{F'_{a1}} = 1,4/3,3$ ;  $\frac{F'_{a2}}{F'_{a1}} = 2,66$ . Моделирование дает, см<sup>2</sup>:  $F'_{a1} = 2,107$ ;  $F'_{a2} = 5,607$ ;  $F'_{a. ср} = 3,857$ . Отсюда  $h'_a = 3,857/\sqrt{130} = 0,339$  см, что составляет  $1/33,6 h$  ( $h$  — высота среднего сечения указанных изгибаемых элементов). Это значение практически совпадает с найденным выше теоретическим  $h'_a = (1/32,7) h$ . Полученная незначительная разница — «порог накопления повреждений» принят равным примерно 0,07 (см. рис. 1).

Приведенный пример доказывает, что сущность повышенного масштабного эффекта у изгибаемых образцов состоит в локализации накопления повреждений в узких активных зонах у кромок сечения, составляющих лишь малую долю площади всего сечения и оказывающих

решающее влияние на их прочность. Совпадение величин  $h'_a$ , полученных теоретически и экспериментально, служит доказательством действительности примененного моделирования. Это позволяет использовать его для определения масштабного эффекта при длительной нагрузке.

Найденная выше  $h'_a$  скоростных испытаний соответствует отношению  $\sigma_p/\sigma_0 \approx 1$ . При действии длительной нагрузки разрушающее напряжение  $\sigma_p$  к концу срока службы конструкции ( $\sim 50$  лет), согласно методу расчета конструкций по предельным состояниям, уравнивается с расчетным сопротивлением  $R$ , а отношение  $\sigma_p/\sigma_0 \approx R/\sigma_0 \approx 0,5$ . Для «порога», равного примерно 0,07, имеем  $\sigma_i/\sigma_p \approx 0,865$  и  $h_a \approx 1,15 h$ . Значения  $h_a$  примерно в 2 раза больше  $h'_a$  скоростных испытаний. Следовательно, в соответствии с увеличением высоты активных зон снижается и масштабный эффект при изгибе под длительной нагрузкой.

Основываясь на этих результатах, можно путем моделирования получить уравнение масштабного эффекта для длительной нагрузки, подобное уравнению (2). Последовательность вычислений при этом будет следующей. Средняя площадь активной зоны скоростных испытаний  $F'_{a, \text{ср}} = 3,857 \text{ см}^2$  для длительной нагрузки должна быть увеличена примерно в 2 раза, т. е.  $F_{a, \text{ср}} = 7,714 \text{ см}^2$ . Границы модельного участка на кривой сжатия  $F_{a2} = (2 \cdot 7,714 + 3,500)/2 = 9,464 \text{ см}^2$  и  $F_{a1} = (2 \cdot 7,714 - 3,500)/2 = 5,964 \text{ см}^2$  (где  $3,500 = 5,607 - 2,107 \text{ см}$ ); их логарифмы  $\lg F_{a2} = 0,976$  и  $\lg F_{a1} = 0,776$ ; падение  $\Delta\sigma_{p, \text{дл}} = (0,976 - 0,776) \cdot 3,3 = 0,66 \text{ МПа}$ , что примерно в 2,12 раза меньше, чем при скоростных испытаниях.

По падению  $\sigma_{p, \text{дл}}$  на участке  $\lg F_2 - \lg F_1$  прямой изгиба (рис. 3, б) найдем угловой коэффициент искомого уравнения  $\alpha_{\text{дл}} = 0,66 / (\lg 140 - \lg 120) = 0,66 / 0,067 = 9,86$ . (При проверке вычислений для скоростных испытаний, когда  $h_a = h'_a$ ,  $\alpha$  должен быть равен 21,0, как в уравнении (2)). В уравнении для длительной изгибной нагрузки

$$\sigma_{\text{дл. изг}} = B - \alpha_{\text{дл}} \lg F$$

начальную ординату  $B = 43,8 \text{ МПа}$  найдем в соответствии с величиной отношения  $\sigma_p/\sigma_0 \approx 0,5$ , приняв для скоростных испытаний  $\sigma_0 \approx 87,7 \text{ МПа}$ .

Уравнение примет вид

$$\sigma_{\text{дл. изг}} = 43,8 - 9,86 \lg F. \quad (3)$$

Применим (3) к оценке масштабного эффекта клееных балок крупного размера, имеющих перепад высот сечения примерно 1,5 раза. При решении уравнения (3) для балок размерами  $16 \times 64$  и  $16 \times 96 \text{ см}$  получим падение напряжения, равное отношению угловых коэффициентов, примерно в 2,13 раза меньше, чем при скоростных испытаниях, по результатам которых обычно нормируются расчетные сопротивления для деревянных конструкций.

Следовательно, каждой длительности действия нагрузки соответствует свое уравнение (3), масштабный эффект при этом заметно меньше, чем при кратковременных испытаниях. Основной процесс, обуславливающий масштабный эффект при изгибе, заключается в увеличении высоты активных зон с возрастанием размеров изгибаемых элементов. Поскольку для данной длительности нагружения кривая изменения вкладов  $\psi_i$  (см. рис. 1) сохраняет неизменным относительное положение в сечении элемента, то изменение высоты активных зон происходит при постоянстве коэффициента  $\alpha$  в уравнении (3). Напротив, при постоянных размерах элементов кривая вкладов  $\psi_i$  перемещается по

сечению элемента, приближаясь к кромке с уменьшением продолжительности нагружения и удаляясь при ее увеличении. Этому соответствует изменение как отношения высоты активных зон к высоте сечения  $h_a/h$ , так и углового коэффициента  $\alpha$ , уменьшающегося с возрастанием продолжительности нагружения.

Изменению отношения  $h_2/h_1$  (т. е. размеров) должна была бы соответствовать неизменность коэффициента  $\alpha$ . Но  $\alpha$  находят моделированием падения  $\Delta\sigma_p$  при изгибе на кривой сжатия: чем больше величина  $\Delta\sigma_p$  (определяемая перепадом высот сечения  $h_2/h_1$ ), тем больше модельный участок на кривой сжатия и тем меньше изменение моделируемого  $\Delta\sigma_p$ , поскольку этот участок на кривой сжатия отодвигается от ее начала (чему отвечает меньшее значение  $\alpha$ ). Поэтому, применяя уравнение (3), полученное для данного отношения  $h_2/h_1$ , к определению масштабного эффекта у пары элементов с большим перепадом высот (как это сделано выше), имеем некоторое превышение вычисленного  $\Delta\sigma_p$  над теоретическим.

Как показывают результаты проведенных исследований, влияние размеров на прочность имеет значение при производстве клееных изгибаемых элементов. Их прочность может быть существенно повышена путем отбора и применения более качественного материала в активных зонах у кромок сечения (в местах максимального изгибающего момента) при более низком качестве древесины в остальном, значительно большем (в 25—30 раз), объеме пиломатериала, используемого для изготовления элементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Журков С. Н., Томашевский Э. Е. Временная зависимость прочности при различных режимах нагружения // Некоторые проблемы прочности твердого тела.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959.— С. 387. [2]. Иванов Ю. М. О локальном накоплении повреждений в изгибаемых элементах деревянных конструкций // Строительство.— 1993.— № 3.— С. 11—14.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Соболев Ю. С. Древесина как конструкционный материал.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— С. 248.

Поступила 27 мая 1993 г.

УДК 674.093

В. Г. ТУРУШЕВ, А. Е. АЛЕКСЕЕВ

Архангельский государственный технический университет

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО РАСКРОЯ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ\*

Дана характеристика технологических и информационных предпосылок разработки и внедрения многоцелевого способа переработки пиловочного сырья.

A characteristic of technological and information premises of developing and introducing the multipurpose method of sawnwood raw materials conversion has been given.

Технологические процессы раскроя круглых лесоматериалов имеют многоцелевой характер. При ориентировании на получение определенного вида продукции соответствующему выбору подчиняется и комп-

\* Работа выполнена в рамках Государственной научно-технической программы РФ «Комплексное использование и воспроизводство древесного сырья».

лекс мероприятий, реализация которых и определяет в конечном итоге эффективность производства. Выводы основных положений теории раскроя при решении технологических вопросов отдельных производств носят частный характер.

При таком подходе задача комплексного использования древесного сырья находит решение в масштабах предприятий, кооперированных комбинатов, объединений. Но в целом, при отраслевом делении лесоперерабатывающих производств, эффективность использования сырья остается недостаточно высокой. Оценить же корректно условия рационального использования пиловочника в производстве основного вида продукции (пиломатериалов) не представляется возможным.

Однако накопленный научный потенциал позволяет перейти к решению проблемы рационального использования древесины на основе многофункционального планирования ее расходования, и в первую очередь, для выпуска высококачественной продукции.

При многоцелевой переработке круглых лесоматериалов обеспечивается возможность регламентировать параметры отходов (не в ущерб выходу основного продукта) и, как следствие, повышать общий выход продукции лесопереработки. Предпосылки рационального расходования сырья основываются на многоцелевом использовании древесины пиловочника на базе организации параллельных производств.

При многоцелевом способе раскроя круглых лесоматериалов на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях (ЛДП) наряду с получением пиломатериалов — главного компонента баланса сырья, может осуществляться производство полуфабрикатов для выпуска попутной продукции (например, заготовки товаров народного потребления).

Черты многоцелевого раскроя бревен в некоторой степени характерны для производства экспортных пиломатериалов. Помимо экспортных пиломатериалов по ГОСТ 26002—83 Э, такие предприятия вырабатывают пиломатериалы и для внутреннего рынка по ГОСТ 8486—86. Однако этот факт нельзя отнести в целом к многоцелевому планированию, так как сырьем для вырабатываемых попутно пиломатериалов внутреннего рынка служит высокосортный пиловочник. Такие случаи не соответствуют задачам рационального использования сырья. Часть пиломатериалов внутреннего рынка все-таки находит применение и за рубежом, например, в странах дальнего зарубежья, где их используют для выработки продукции высокой стоимости. Однако их поставка осуществляется по ценам ниже мировых, что также не может удовлетворять условиям эффективного использования сырья. Это обуславливает изменение подхода к планированию хозяйственной деятельности лесоперерабатывающих предприятий.

Ведение рыночного хозяйства требует корректив как технологического, так и информационного обеспечения раскроя пиловочника на пиломатериалы. В этом и заключаются трудности реализации положений многофункционального подхода к производству продукции из древесины. На начальной стадии рыночных отношений это объясняется рассогласованностью действий производителей. Имея непосредственный выход на зарубежный рынок, они производят пиломатериалы по конкретным запросам. Значительная часть предприятий лесопромышленного комплекса ориентирована на переработку «давальческого» сырья. С учетом акционирования ЛДП не последнюю роль в выборе пути развития предприятий играет и частный капитал.

Предлагаемый нами метод направлен на разработку технологических основ многоцелевого раскроя круглых лесоматериалов на базе автоматизации формирования сечений пиломатериалов и совершенствования средств базирования предметов труда. Это предполагает внесение соответствующих корректив в программы технологического и ин-

формационного обеспечения метода. Учитывая результаты работ в области базирования лесоматериалов перед станками технологического потока и специализации предприятий по номенклатуре, необходимо отметить, что основные изменения приходятся на следующие вопросы программы: группы сечений пиломатериалов, схемы раскроя, планирование раскроя, специализация предприятий по сечениям выпускаемой продукции.

### *Технологическое обеспечение*

Технологическое обеспечение многоцелевой переработки в лесопилении основывается на планировании бизнес-раскроя круглых лесоматериалов. Применительно к производству лесозэкспортной продукции центральным будет планирование бизнес-раскроя бревен на пиломатериалы экспортного назначения. В зависимости от этого за критерий оценки может быть выбран ценностный и стоимостный выход пилопродукции (прейскуранты 1-07-04; 2 — внешнеторговый) или расход сырья на выполнение сводной спецификации, а также ранги критериев.

По региональной принадлежности в качестве объекта исследований приняты лесосырьевая база северо-западного региона европейской части России и лесозэкспортные предприятия концерна «Северолес» и АО «Северолесозэкспорт».

Стокнотные задания предприятиям Архангельского порта на экспортные пиломатериалы по сечениям, объемам и качеству включают круг вопросов, которыми занимались ЦНИИМОД (С. Г. Нушкарев и др.), КарНИИЛП (И. В. Соболев и др.), АЛТИ (В. П. Покотило и др.) и организации непромышленной сферы. За исходные для расчета спецификационных заданий выбраны следующие исходные параметры: объемы производства и поставки пиломатериалов по группе предприятий, порта на планируемый круг; примерные спецификации рынков на пиломатериалы (бессортные, 4-й и 5-й сорта) и другие сортименты, а также спецификации на пиломатериалы для внутризаводской переработки и товарные пиломатериалы для нужд народного хозяйства; размерно-качественный состав пиловочного сырья по региону и предприятиям; фактические объемы производства пиломатериалов по группе предприятий и предприятиям отдельно, их сортиментный состав; особенности и ограничения в работе предприятий; специализация по рынкам сбыта и размерам сечений пиломатериалов; состав технологического оборудования.

При планировании заданий рассматривают следующие статьи, содержание которых приводится в ряде нормативных документов.

Спецификация предприятий по сечениям вырабатываемых пиломатериалов. Для выполнения спецификаций необходимо специализировать предприятия на выпуск ограниченного числа сечений. Размеры пиломатериалов по толщине для группы предприятий могут чередоваться. При технологической спецификации учитывают сетку сечений пиломатериалов, вырабатываемых для деревообработки, с которой по возможности должны совпадать размеры экспортных пиломатериалов. Перечень сечений отражает желательный вариант специализации предприятия с учетом выполнения запросов рынка.

Группы сечений пиломатериалов. Для расчета стокнотных заданий пиломатериалы делятся на группы по толщине (толстые, выпиливаемые из пласти бруса, и тонкие, получаемые из параболической зоны бревна и частично из брусовой зоны) и ширине (175...275 и 75...150 мм). При этом толстые доски разделяют еще на четыре или семь групп в зависимости от точности расчетов. Таким образом общее число групп составляет шесть или девять.

Составление схемы раскроя. Для планирования заданий определяют возможные соотношения групп сечений пиломатериалов, которые могут быть получены из пиловочного сырья данного района. Для этого составляют схему раскроя бревен каждой породы на принятое число групп сечений. Устанавливают размеры бревен, из которых могут быть получены доски определенной группы сечений. По размерному составу пиловочного сырья, сводной спецификации на экспортные пиломатериалы и данным о процентном содержании досок различных сечений в применяемой системе поставок рассчитывают схему раскроя сырья.

Группировка рынков. Помимо указанных статей рассматривают вопросы группировки рынков. В целях приближения запросов импортеров к условиям работы предприятий группировку рынков производят таким образом, чтобы соотношение групп сечений пиломатериалов в задании было близко к рациональной схеме раскроя сырья. При этом учитывают специализацию предприятий по рынкам сбыта продукции.

К настоящему времени нами изучены размерно-качественный состав по региону и предприятиям; изменение фактических объемов производства экспортных пиломатериалов; особенности и ограничения в работе предприятий, специализация по размерам сечений пиломатериалов; состав технологического оборудования предприятий. Результаты этих разработок приведены в отчетах института, выполненных в рамках реализации Государственной научно-технической программы РФ и договорной тематики с АО «Северолесэкспорт».

Разрабатываемые основные положения технологического обеспечения многоцелевого раскроя круглых лесоматериалов предполагают корректировку комплекса информационных средств, в частности для условий производства экспортных пиломатериалов примерную и используемую АО «Северолесэкспорт» совместную методику ЦНИИМОД и КарНИИЛП.

### *Информационное обеспечение*

Информационное обеспечение состоит из условно-постоянной и переменной информации. Условно-постоянная, или нормативно-справочная информация (НСИ), включает классификаторы, прейскуранты, технологические и технические нормативы; переменная — данные о составе сырья, подлежащих выработке пиломатериалах, условиях производства и др.

Характеристика сырья. Распределение пиловочных бревен по диаметрам тесно связано с таксационными показателями древостоев и региональной принадлежностью лесосырьевой базы. В практике технологических расчетов это распределение задается логарифмическим нормальным законом. Как следует из наших исследований, распределение бревен по диаметрам с учетом региональной принадлежности следует задавать законом Пирсона. На всех предприятиях АО «Северолесэкспорт», за исключением Соломбальского ЛДК, перерабатывается еловый пиловочник. Требования к бревнам еловой породы с нормальным сбегом предъявляются согласно ГОСТ 9463—72. При необходимости объемы бревен можно корректировать. Так, при планировании лесозэкспортных спецификаций вводится коэффициент увеличения объемов бревен диаметром 14 и 16 см. Эти поправки к табличным данным по ГОСТ 2708—75 показывают содержание в бревнах указанных диаметров сильноосежистых вершинных сортиментов. Коэффициенты устанавливают по результатам соответствующих переборок бревен и корректируют при изменении сырьевой базы предприятия. Результаты

проведенного нами анализа лесосырьевой базы показывают, что помимо специфики пород наблюдается относительно хорошее качество и полнодревесность ствола. Наиболее распространенная порода — ель имеет сравнительно небольшой возраст, достаточную длину ствола при средних показателях сбега и незначительных изменениях диаметра. Очевидно, что длина бревна, формируемая под определенные условия поставки (сплав, авто- или железнодорожный транспорт), не может быть связана со строением древостоев. Поэтому установление закона распределения бревен по длинам не имеет практической ценности. Удобнее использовать вероятностную характеристику встречаемости бревен разных длин. Кривизна бревен ограничивается 2 %-ми. В целом для условий АО «Северолесоэкспорт» встречаемость бревен с кривизной аппроксимируется функцией не выше второй степени. В зависимости от диаметров распределение подчиняется закону Лапласа — Шарлье, от интервалов кривизны — закону Релея. Для укрупненных технологических расчетов можно принимать распределение кривых бревен по регрессионной формуле четвертого порядка. Форма образующей поперечного сечения бревна — круг, продольного сечения — парабола. Способ раскря — брусово-развальный.

**Характеристика продукции.** Продукция — пиломатериалы транспортной влажности (20...22 %) двух одновременно вырабатываемых толщин и шести ширин по ГОСТ 26002—83 с учетом укорочения до стандартной длины. Заданные минимальные значения ширины и длины досок — граничные для экспортных пиломатериалов. Их ожидаемый выход определяется непосредственно при расчете поставок. Выход более узких и коротких досок прогнозируется на основании статистической обработки. Толщина бруса 100...225 мм с градацией 25 мм. Ширина пласти бруса, используемая для вписания толстых досок, соотносится с минимальным четным диаметром бревен размерной группы. Число и расположение тонких досок выбирают из условий рационального использования древесины, соотнося с диаметром сырья и толщиной выпиленного бруса. Усушка соответствует ГОСТ 6782.1.

**Условия производства.** Структура лесопильного предприятий характерна северному варианту с двухстадийной распиловкой бревен в рамных или агрегатных потоках. Агрегатные потоки ориентированы на переработку бревен небольших диаметров на пиломатериалы и технологическую щепу. Применяемая толщина рамных пил определяется из технических условий и на первом проходе составляет 2,2 мм, на втором — 2,0 мм. При этом фонд рабочего времени задают отдельно для потоков на базе различного оборудования, учитывая число смен в плановом периоде и другие факторы. Это характеризует условия использования сырья в зависимости от технического состояния оборудования. Основные коэффициенты, определяющие пропускную способность лесопильного потока, устанавливаются на основании инструкции ЦНИИМОДа для показателей часовой производительности потоков (линий) на базе разных видов оборудования.

Результат разработки информационного обеспечения — пакет программ для расчета поставок на распиловку бревен с получением экспортных пиломатериалов при разных способах базирования лесоматериалов по поставу инструмента лесопильного станка. Сборник поставок на распиловку бревен и брусьев представлен в отчетах ЦНИИМОДа и АЛТИ.

Центральным вопросом многоцелевой переработки круглых лесоматериалов является раскрой бревен на пилопродукцию. При этом выявление рациональных условий формообразования пиломатериалов во многом определяет эффективность метода и производства в целом. Накопленный опыт позволяет реализовать положения многоцелевого

способа раскроя круглых лесоматериалов средствами технологии. Технологическое и информационное обеспечение метода включает комплекс вопросов, требующих первоочередного решения. Выбор технологических требований должен осуществляться дифференцированно в зависимости от региональной принадлежности, особенностей строения лесосырьевой базы, характеристик пиловочного сырья, применяемых технологии и оборудования, ориентации предметов обработки по поставу инструмента лесопильного станка, ряда эксплуатационных факторов. Реализация наиболее эффективного плана раскроя на основе назначения рациональных постава и базирования позволит повысить стоимостный выход продукции, снизить затраты производства и решить ряд других задач повышения технико-экономических показателей лесопиления.

Поступила 28 января 1994 г.

УДК 330.115 : 674.023

*И. С. МЕЖОВ*

Костромской технологический институт

### **ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ БРУСОВО-СЕКМЕНТНОГО СПОСОБА РАСКРОЯ БРЕВЕН**

Рассмотрены варианты продольного раскроя бревен с обработкой сегментов на различные профили сечений с последующей их склейкой в стандартные профили пиломатериалов и заготовок.

The variants of longitudinal log cutting with segment processing to various section profiles followed by gluing them to shaped standard lumber and stocks have been considered.

Научно обоснованный подход к проектированию технологического процесса переработки древесины предусматривает минимизацию затрат на всех фазах, начиная со структурного построения и оптимизации отраслей, входящих в единый комплекс.

На рис. 1 представлена структурная схема технологических операций деревообрабатывающего предприятия, получающего древесину в хлыстах.

В условиях деревообрабатывающих предприятий имеется возможность вести целенаправленный раскрой хлыстов на бревна с учетом их сортности по местам вырезки из хлыста.

Одним из существенных преимуществ раскроя хлыстов на деревообрабатывающих предприятиях является возможность повышения производительности раскройных линий и снижение трудоемкости на данной операции. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что во многих случаях целесообразно применять групповой раскрой хлыстов на сортименты. При индивидуальном способе возможен раскрой хлыстов на оптимальные длины пиловочных бревен, кратные длине заданных выпиливаемых из них заготовок. Поэтому структурная схема предусматривает как групповой, так и индивидуальный способы раскроя.

Продольный раскрой бревен представляет собой традиционные брусowo-развальный и брусowo-сегментный способы с получением из сегментов стандартных пиломатериалов и заготовок, имеющих вид трапеций и пятигранников в поперечном сечении с последующим их

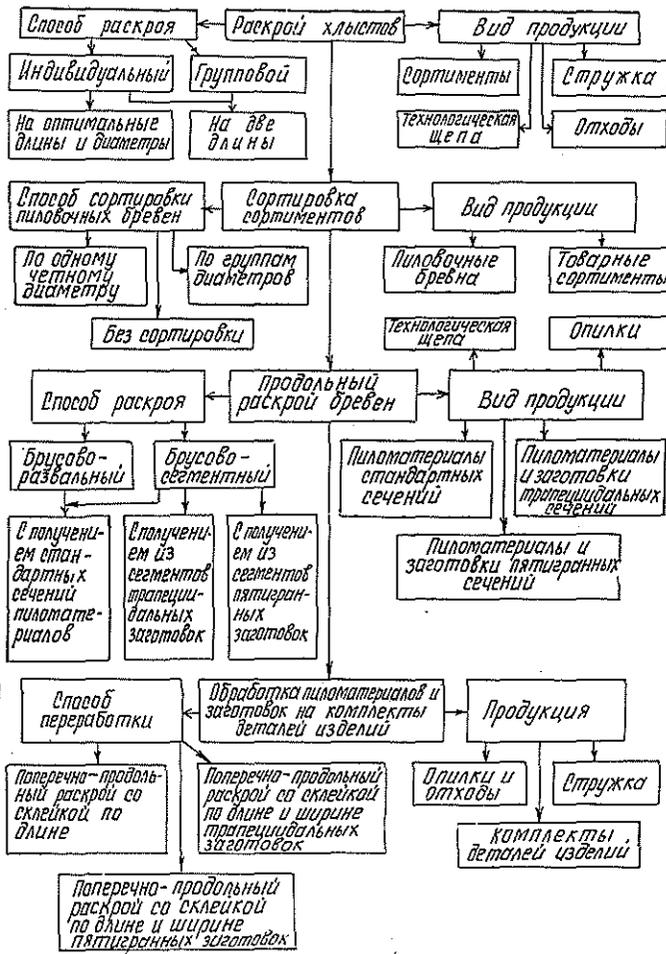


Рис. 1. Структурная схема технологического процесса деревообрабатывающего предприятия

раскромом и склейкой по ширине. Схема выработки пиломатериалов и заготовок из сегментов показана на рис. 2.

Обработка и склейка заготовок в комплекты деталей увеличивает трудовые и энергетические затраты, но одновременно повышает объемный выход продукции и дает возможность получения ценных спецификационных пиломатериалов. Поэтому нами подробно исследованы (теоретически и экспериментально) различные варианты данного процесса. С учетом их многообразия по стадиям переработки древесины строится оптимизационная экономико-математическая модель технологического процесса.

При ее разработке за критерий оптимальности производства изделий принимается максимум полученной прибыли.

В математической модели использованы переменные величины:

- $x_j$  — объем выпуска деталей изделий  $j$ -го вида ( $j = 1, \bar{n}$ );
- $n$  — число выпускаемых изделий;
- $u_i$  — объем выпуска деталей  $i$ -го вида для комплектов  $j$ -го изделия ( $i = 1, \bar{t}$ );
- $t$  — число выпускаемых предприятием деталей;

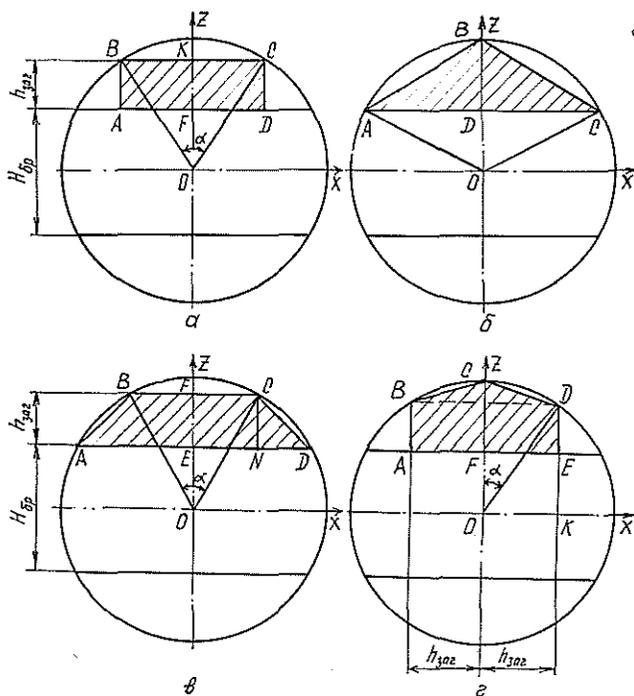


Рис. 2. Схема выработки из сегментов пиломатериалов различного сечения: а — прямоугольное; б — треугольное; в — трапецидальное; г — пятигранное

$z_{qr}$  — объем выпуска пиломатериалов  $q$ -го сечения  $r$ -й сортности ( $q = 1, \overline{Q}; r = 1, \overline{R}; Q, R$  — число сечений и сортов потребляемых пиломатериалов);

$u_h$  — объем выпуска деталей  $h$ -го типоразмера ( $h = 1, \overline{H}; H$  — число видов выпускаемых деталей);

$v_{dls p}$  — число бревен  $d$ -го диаметра  $l$ -й длины  $s$ -й сортности раскраиваемых по  $p$ -му варианту ( $d = 1, \overline{D}; l = 1, \overline{L}; s = 1, \overline{S}; p = 1, \overline{P}; D, L, S', P$  — число диаметров, длин, сортов и вариантов раскря бревен, распиливаемых в лесопильном цехе).

Математическая модель имеет вид

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j + \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q c_{qr} z_{qr} + c_{щ} v_{щ} + c_0 v_0 - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij} y_{ij} -$$

$$- \sum_{h=1}^H z_h u_h - \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q z_{qr} z_{qr} - \sum_{d=1}^D \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P z_{dls p} v_{dls p} -$$

$$- \sum_{d=1}^D \sum_{l=1}^L z_{d,l} w_{d,l} \rightarrow \max,$$

где  $c_j$  — цена  $j$ -го комплекта деталей;  
 $c_{qr}$  — цена пиломатериала  $q$ -го вида  $r$ -й сортности, являющегося товарным;  
 $c_{щ}$  — цена единицы объема технологической щепы;  
 $v_{щ}$  — объем технологической щепы, полученной предприятием при изготовлении  $x_j$ -х комплектов плановых изделий;

- $c_0$  — цена отходов, полученных на предприятии;  
 $v_0$  — объем отходов;  
 $w_{d_1 l_1}$  — число перерабатываемых хлыстов (при условии поступления древесины в хлыстах)  $d_1$ -го диаметра  $l_1$ -й длины;  
 $Z_{ij}$  — затраты на производство  $i$ -й детали для  $j$ -го изделия;  
 $Z_h$  — затраты на производство  $h$ -й заготовки;  
 $Z_{dts p}$  — затраты на раскрой бревен  $d$ -го диаметра  $l$ -й длины  $s$ -й сортности по  $p$ -му варианту;  
 $Z_{d_1 l_1}$  — затраты на раскряжевку хлыстов  $d_1$ -го диаметра  $l_1$ -й длины;

$\sum_{j=1}^n c_j x_j$  — цена комплектной продукции, произведенной на данном предприятии (некомплектная продукция в расчет не принимается);

$D_1$  — число диаметров хлыстов;

$L_1$  — число длин хлыстов.

При выпуске комплектов деталей для данного вида изделий в математическую модель вводятся следующие ограничения: по заданному объему выпуска деталей.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - y_{ij} = 0;$$

по производству специфицированных пиломатериалов на выпуск комплектов заготовок

$$\sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L \sum_{d=1}^D h_{qrdts p} v_{dts p} - z_{qr} = 0,$$

где  $a_{ij}$  — применяемость  $i$ -й детали в  $j$ -м изделии;

$h_{qrdts p}$  — выход пиломатериалов  $q$ -го сечения  $r$ -й сортности при раскросе бревен  $d$ -го диаметра  $l$ -й длины  $s$ -й сортности по  $p$ -му варианту.

При раскросе хлыстов на заданную спецификацию сортиментов математическая модель с введенными ограничениями принимает вид

$$\sum_{l_1=1}^{L_1} \sum_{d_1=1}^{D_1} c_{d_1 l_1 s d_1} w_{d_1 l_1} - \sum_{p=1}^P v_{dts p} = 0.$$

Здесь  $c_{d_1 l_1 s d_1}$  — выход бревен  $d$ -го диаметра  $l$ -й длины  $s$ -й сортности из хлыстов  $d_1$ -го диаметра  $l_1$ -й длины.

Решение комплексной математической модели с введенными ограничениями представляет значительную трудность, поэтому для практического применения модель разбивают на отдельные блоки. Анализ решения проводится на стадии выпуска комплектных деталей изделий, так как получить максимальные показатели на всех стадиях практически невозможно, ввиду того, что полученный на отдельной стадии максимум может отрицательно сказаться на последующей стадии снижением показателей.

Поступила 16 декабря 1993 г.

УДК 630\*812

Е. Н. СЕРОВ

С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ  
И ИХ СВЯЗЬ С РАБОТОЙ КОНСТРУКЦИЙ**

На основе особенностей разрушения стандартных образцов чистой древесины сформулирован основной принцип конструирования современных клееных конструкций.

On the basis of the pure wood standardized samples failure features the main principle of modern glued structures design has been stated.

Исследования современных клееных деревянных конструкций (КДК), мест возникновения в них дефектов и наблюдаемого разрушения убеждают, что предельное состояние древесины часто наступает вне площадок действия максимальных напряжений, выделенных из плоского напряженного состояния. Именно в зонах со сложным напряженным состоянием, где действующие нормальные  $\sigma_x$  и касательные  $\tau_{xy}$  напряжения не максимальны, зарождаются очаги предельных состояний, ведущие к отказу конструкций. Это воззрение еще не заняло у специалистов уверенной позиции в анализе характера разрушения древесины и в оценке прочности КДК. Поэтому на пути к раскрытию сущности работы и наступления предельного состояния древесины в КДК дополнительное обоснование следует считать целесообразным. Оно наиболее убедительно может быть продемонстрировано анализом напряженного состояния и характера разрушения стандартных образцов из чистой древесины. Исследования, в том числе и фундаментальные [2—5], к такому обоснованию имеются.

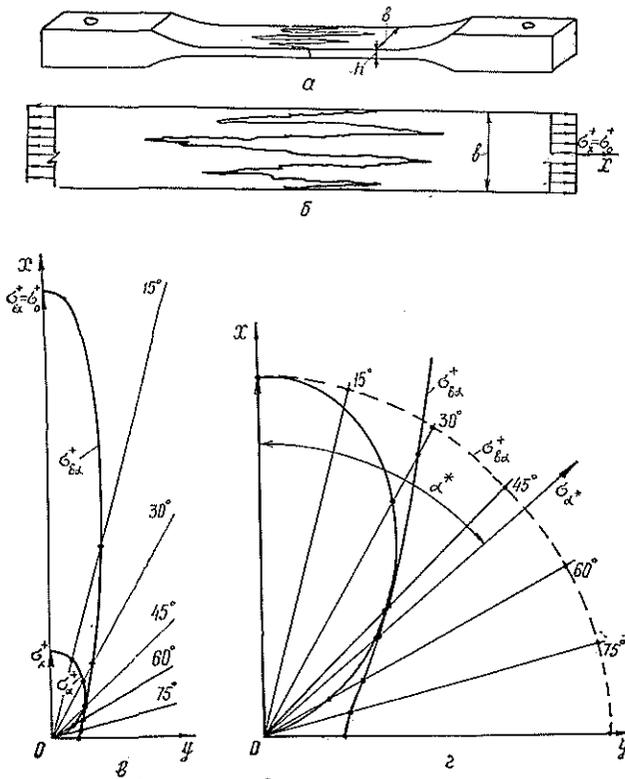
Анализ напряженного состояния более 30 видов образцов на скалывание [4] показал, что по площадкам сдвига присутствуют не только касательные  $\tau_{xy}$ , но и нормальные напряжения  $\sigma_{90}^+$ , растягивающие древесину поперек волокон. Ф. П. Белянкин рассматривает скалывание как процесс разрыва древесины по ряду последовательно расположенных по длине плоскости скалывания площадок, где действуют главные растягивающие напряжения под углом к направлению волокон древесины ( $\sigma_1 = \sigma_{\alpha}^+$ ).

Образование складок при одноосном сжатии деревянных стандартных образцов вдоль волокон обосновывалось в работах Ю. М. Иванова, Е. К. Ашкенази и др. [3, 5]. (Возможны и другие формы разрушения, зависящие от качества обработки торцов, приложения усилия и влияния трения по площадкам его передачи.) Для оценки прочности этих образцов Е. К. Ашкенази считает возможным применение первой классической гипотезы.

При совмещении полярных диаграмм действующих нормальных напряжений  $\sigma_{\alpha}^-$  и пределов прочности древесины  $\sigma_{\text{вз}}^-$  в работе [3] графически представлено нереальное запредельное состояние (при  $\sigma_0^-/\sigma_{\text{вз}}^- = 1$ , но  $\sigma_{\alpha}^-/\sigma_{\text{вз}}^- \gg 1$ ). По-видимому, справедливее считать момент начала образования складки в предельном состоянии при  $\sigma_{\alpha}^-/\sigma_{\text{вз}}^- = 1$ , когда  $\sigma_0^-/\sigma_{\text{вз}}^- < 1$ . По наклонным площадкам кроме нормальных напряжений действуют, конечно, и касательные. Следовательно, чистая дре-

весина и при осевом сжатии вдоль волокон разрушается по площадкам со сложным напряженным состоянием.

Наиболее совершенным признан способ испытания древесины на растяжение вдоль волокон. В зоне исследования, удаленной от мест захвата образца, создается весьма однородное напряженное состояние простого растяжения (см. рисунок а, б). Вместе с тем, здоровая древесина никогда не разрушается по площадкам, перпендикулярным к направлению волокон, т. е. отрыв происходит не по поперечному сечению, а по серии наклонных трещин. При этом площадь отрыва значительно превосходит поперечное сечение ( $F_{отр} \gg bh$ ). Однако временным сопротивлением чистой древесины вдоль волокон принято считать максимальное нормальное напряжение ( $\sigma_{в0}^+ = N_{max}/bh$ ). Фактически это сопротивление действует не вдоль волокон, а под некоторым углом  $\alpha^*$ , т. е.  $\sigma_{в\alpha^*}^+$  (см. рисунок в, г).



Одноосное растяжение чистой древесины сосны вдоль волокон: а — общий вид образца, имеющего разрушения в рабочей зоне с зачищенными берегами трещин под углом к направлению волокон  $X$  ( $\sigma_{в\alpha^*}^+ \gg \sigma_{\alpha^*}^+$ ;  $R_0^+ \gg R_{\alpha^*}^+$ ); б — фрагмент образца в области отрыва; в — полярные диаграммы действующих напряжений  $\sigma_x^+$  при  $\sigma_x^+ = 103,5$  МПа по [3] и предполагаемых временных сопротивлений древесины  $\sigma_{в\alpha}^+$  при  $\sigma_{в\alpha}^+ \approx 515 \dots 520$  МПа; г — фрагмент полярных диаграмм  $\sigma_x^+ - \sigma_{\alpha}^+$  и  $\sigma_{в\alpha}^+$  (пунктирная линия —  $\sigma_{в\alpha}^+$  изотропного тела,  $\sigma_{max}^+/\sigma_{в\alpha}^+ = 1$ ; сплошная —  $\sigma_{в\alpha}^+$ ,  $\sigma_{\alpha}^+$  древесины,  $\sigma_{max}^+/\sigma_{в\alpha}^+ \ll 1$ ;  $\sigma_{\alpha^*}^+/\sigma_{в\alpha^*}^+ = 1$ )

Обычно на эту особенность разрушения древесины обращается недостаточно внимания, хотя она заслуживает более пристального рассмотрения. Картина наблюдаемого отрыва убеждает, что предельное состояние под углом к волокнам ( $\sigma_{\alpha^*}^+/\sigma_{\alpha^*}^+ = 1$ ) наступает значительно раньше, чем вдоль волокон ( $\sigma_{\alpha^*}^+/\sigma_0^+ \ll 1$ ). Это можно легко и наглядно продемонстрировать при помощи совмещения полярных диаграмм условных временных сопротивлений древесины под различными углами и действующих напряжений при осевом растяжении вдоль волокон.

Полярная диаграмма временных сопротивлений  $\sigma_{\alpha^*}^+$  (см. рисунок в, г) может быть описана тензориальной формулой Рабиновича — Ашкенази, ибо она вполне удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными [2]:

$$\sigma_{\alpha^*} = \frac{\sigma_{\alpha^* 0}}{\cos^4 \alpha + B \sin^2 2\alpha + C \sin^4 \alpha}, \quad (1)$$

где

$$B = \frac{\sigma_{\alpha^* 0}}{\sigma_{\alpha^* 45}} - \frac{1 + C}{4};$$

$$C = \sigma_{\alpha^* 0}/\sigma_{\alpha^* 90}.$$

При простом растяжении древесины вдоль волокон (ось анизотропии  $x$ ) полярная диаграмма действующих нормальных напряжений представляется зависимостью

$$\sigma_{x'} = \sigma_{\alpha} = \sigma_x \cos^2 \alpha. \quad (2)$$

По наклонным площадкам  $x'y'$  действуют, естественно, и касательные напряжения

$$\tau_{x'y'} = \tau_{\alpha} = 0,5\sigma_x \sin 2\alpha. \quad (3)$$

Таким образом, площадки наблюдаемого разрушения находятся в сложном напряженном состоянии.

По аналогии с рассмотрением в [3] только нормальных напряжений, «ответственных за нарушение прочности», и здесь может быть применена первая классическая гипотеза. Однако в ней применительно к древесине, имеющей высокую степень анизотропии, особенно при растяжении, приходится рассматривать не максимальные  $\sigma_x^+$  а наиболее опасные, хотя и меньшие по величине, нормальные напряжения  $\sigma_{\alpha^*}^+$  (рисунок в, г).

Кроме рисунка, недостижимость  $\sigma_{\alpha^* 0}^+$  подтверждается данными Ф. Кольмана [8], по которым прочность стенки клетки поздней древесины равна 699 МПа, а ранней — 350 МПа.

Угол  $\alpha^*$  ориентации опасных нормальных напряжений  $\sigma_{\alpha^*}^+$  при растяжении древесины вдоль волокон теоретически может быть найден при истинных временных сопротивлениях  $\sigma_{\alpha^* 0}^+$ ,  $\sigma_{\alpha^* 45}^+$  и  $\sigma_{\alpha^* 90}^+$ :

$$\sigma_x^+ \cos^2 \alpha^* \left[ \frac{\cos^4 \alpha^*}{\sigma_{\alpha^* 0}^+} + \left( \frac{4}{\sigma_{\alpha^* 45}^+} - \frac{1}{\sigma_{\alpha^* 0}^+} - \frac{1}{\sigma_{\alpha^* 90}^+} \right) \cos^2 \alpha^* \sin^2 \alpha^* + \frac{\sin^4 \alpha^*}{\sigma_{\alpha^* 90}^+} \right] = 1. \quad (4)$$

Но из трех характеристик этих базовых пределов достоверным в настоящее время является только  $\sigma_{\alpha^* 90}^+$ , так как при растяжении поперек волокон площадка отрыва нормальна к  $\sigma_1$ . Два других ( $\sigma_{\alpha^* 0}^+$  и  $\sigma_{\alpha^* 45}^+$ ) весьма условно можно назвать временными сопротивлениями древесины в указанных направлениях. Величину  $\sigma_{\alpha^* 0}^+$  можно лишь предположить

из рассмотрения диаграммы при  $\sigma_0^+ = \sigma_x^+ = 103,5$  МПа [2] и условию  $\sigma_{\alpha^*}^+/\sigma_{\beta\alpha^*}^+ = 1$  с экстраполяцией диаграммы  $\sigma_{\beta\alpha^*}^+$  в диапазоне  $\alpha$  от 0 до 90°. При такой предпосылке  $\sigma_{\beta 0^*}^+$  укладывается в диапазон 510... 520 МПа, что удовлетворительно согласуется с результатами исследований Ф. Кольмана. Величина  $\sigma_{\beta 15^*}^+$  может быть определена аналогично из рассмотрения напряженного состояния образца при растяжении древесины в диагональном направлении. При  $\sigma_{45^*}^+ = 10$  МПа [2]  $\sigma_{\beta 15^*}^+$  должно быть равным примерно 15 МПа. Естественно, эти пределы практически недостижимы, получение их экспериментальным путем весьма сложно.

Итак, кроме уже известных особенностей поведения древесины под нагрузкой, на основе выполненного анализа можно сформулировать новые, относящиеся к результатам указанных основных воздействий. В соответствии со степенью анизотропии они более ярко выражены при растяжении древесины вдоль волокон. Этих особенностей три: 1 — материал разрушается по площадкам со сложным напряженным состоянием; 2 — нормальные и касательные напряжения, действующие по этим площадкам, меньше максимальных; 3 — временные сопротивления древесины вдоль волокон скалыванию, сжатию и растяжению недостижимы. Поперечное обжатие, которое как-то приблизило бы действующие основные напряжения к временным сопротивлениям, может быть лишь частично реализовано при конструировании, например, в припорных зонах КДК, на криволинейных участках с изгибающим моментом, увеличивающим кривизну и др. Здесь в дополнение к законам и принципам конструирования, открытым ранее [9], вступает в силу принцип согласования полей действующих напряжений с полями сопротивления анизотропных материалов [6]. Кроме того, если при простых воздействиях на стандартные образцы древесина разрушается в условиях сложного напряженного состояния, то логично утверждать, что причиной отказов КДК являются не максимальные отдельно взятые напряжения, а совокупность всех компонент. На пути к общему признанию этого взгляда встает формально наблюдаемое глобальное разрушение КДК. Оно чаще всего сопряжено с появлением продольных трещин. Абстрагируясь от шероховатости поверхности магистральных трещин, последние обычно связывают со скалыванием. Это представление весьма устойчиво, тем более, что в изгибаемых и сжато-изгибаемых элементах КДК трещины появляются в припорных зонах, хотя, при обычных условиях имеют место деформации сдвига. Лишь в специально поставленных экспериментах возможно остановить испытания сразу после появления трещин в припорной зоне без дальнейших перемещений [1].

Между тем, при разрушении образцов в виде семейства трещин никто не отважится утверждать, что происходит скалывание. Напротив, в обоснованиях причин отказов КДК в лучшем случае разделяют характер разрушения по преимущественному признаку, имея в виду отдельно взятые максимальные напряжения. Дополнительная критерияльная оценка несущей способности КДК с учетом всех компонент напряженного состояния повысит степень их надежности еще на стадии проектирования. Единого общепризнанного критерия в мировой практике пока не существует, однако, выбор и включение его в нормативные документы имеет важное практическое значение [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Андреева И. М., Серов Е. Н. Анализ основных результатов исследований двускатных балок // Исследование облегченных конструкций из древесины, фанеры и пластмасс: Межвуз. сб. тр.— Л.: ЛИСИ, 1986.— С. 21—27. [2]. Ашкенази

Е. К., Ганов Э. В. Анизотропия конструкционных материалов // Справочник.— Л.: Машиностроение, 1980.— 247 с. [3]. Ашкенази Е. К. Опыт применения первой классической гипотезы к оценке прочности древесины при сложных напряженных состояниях // Техн. информ. по результатам научно-исследоват. работ.— Л.: ЛТА, 1954.— № 15.— С. 27—32. [4]. Белянкин Ф. П. Прочность древесины при скалывании вдоль волокон.— Киев: Изд-во АН УССР, 1955.— 140 с. [5]. Иванов Ю. М. К вопросу исследования складки разрушения древесины при сжатии вдоль волокон // Тр. Ин-та леса.— М.: Изд-во АН СССР, 1953.— Т. IX.— С. 240—243. [6]. Серов Е. Н. Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления: Дис. ... докт. техн. наук.— Л., 1988.— 521 с. [7]. Серов Е. Н., Хапин А. В. Выбор критерия прочности для клееной древесины изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов // Лесн. журн.— 1984.— № 1.— С. 72—76.— (Изв. высш. учеб. заведений). [8]. Соболев Ю. С. Древесина как конструкционный материал.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 246 с. [9]. Стрелецкий Н. С. Основные сдвиги в воззрениях на работу конструкций // Строительство и архитектура.— 1967.— № 10.— С. 37—40.— (Изв. высш. учеб. заведений).

---

Поступила 9 февраля 1994 г.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630\*864

О. М. СОКОЛОВ, Г. Г. КОЧЕРГИНА, Л. В. МАЙЕР

Архангельский государственный технический университет

ХРОМАТОГРАФИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНИНОВ  
НА РАЗЛИЧНЫХ ГЕЛЯХ

Исследовано элюционное поведение исходного листового лигнина и его фракций на мягких и полужестких гелях с учетом влияния полиэлектролитного эффекта. Получены коэффициенты уравнения  $K = f(M)$ , позволяющего рассчитывать молекулярные массы и молекулярно-массовое распределение технических лигнинов.

The elution behavior of source hardwood lignin and its soft and semi-hard gel fractions with reference to electrolytic effect has been examined. The coefficients of equation  $K = f(M)$  which makes it possible to calculate molecular weights and molecular-weight distribution have been obtained.

При определении молекулярных масс и молекулярно-массового распределения методом гель-хроматографии на процесс разделения исследуемого образца влияют ряд факторов: природа сорбента (геля), растворителя и растворенного исследуемого вещества, взаимодействие этих составных в процессе разделения. Для получения молекулярно-массовой характеристики лигнина на ряду с традиционной гель-хроматографией свободного протекания (ГПХ) успешно применяют метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Эти методы, основанные на едином принципе, отличаются используемыми сорбентами, растворителями и техническим оснащением.

При проведении ГПХ на мягком геле сефадексе G-75 с использованием в качестве элюента диметилсульфоксида получены [6] зависимости коэффициента распределения вещества между подвижной и неподвижной фазами  $K_d$  и молекулярной массой  $M$  для ряда препаратов лигнинов, в том числе хвойного сульфатного лигнина, технических лигносульфонатов, диоксан-лигнина, ТГФС-лигнина и др. Для всех видов лигнина рассчитаны коэффициенты  $A$  и  $B$  уравнения  $K_d^{1/3} = A - B \times M^{1/2}$ . При ГПХ и ВЭЖХ основной экспериментально определяемой величиной является удерживаемый объем  $V_R$ , который для электронейтральных полимеров зависит только от соотношения размеров макромолекул и пор сорбента. При проведении хроматографического анализа лигнина, полифункциональных и полидисперсных полиэлектролитов необходимо учитывать влияние полиэлектролитного эффекта. В ряде работ [2, 7], посвященных изучению этого процесса, рекомендованы методы его подавления, например, добавление в раствор нейтрального электролита, экранирующего ионные группы и изменяющего их диссоциацию. Введение неорганических солей экранирует взаимодействие ионогенных групп в матрице сорбента и макроионе, добавление низкомолекулярных кислот и щелочей подавляют их диссоциацию. Стенлунд [3, 7] предложил для погашения полиэлектролитных эффектов лигносульфоновых кислот в воде использовать хлористый натрий, для подавления диссоциации — ортофосфорную кислоту, адсорбции — метиловый спирт или тетрагидрофуран.

В ряде работ [2, 5, 7], посвященных изучению полиэлектролитных эффектов в эксклюзионной хроматографии лигнина, лигноуглеводного комплекса и полисахаридов, предложена следующая хроматографическая система: полужесткий гель сферон Р1000 и диметилформамид с комбинированной добавкой, состоящей из ортофосфорной кислоты (0,03 М), хлористого лития (0,03 М) и метанола или тетрагидрофурана ТГФ (1 %). При этом определение молекулярных масс лигнинов проводили по калибровочной кривой, полученной с помощью полистирольных стандартов.

Для сравнения эффективности разделения образцов технического лигнина на мягких, используемых традиционно в ГПХ, и полужестких, применяемых в ВЭЖХ гелях и оценки влияния полиэлектролитных эффектов в различных хроматографических системах нами исследованы молекулярные массы и молекулярно-массовое распределение фракций лиственного сульфатного лигнина (ЛСЛ).

Кроме того, для хроматографии полученных образцов исходного и фракционированного лигнина использован мягкий декстрановый гель сефадекс G-75 и полужесткий гель сферон марок Р1000 и Р100. В качестве элюента применяли диметилсульфоксид ДМСО без добавок и с добавками, устраняющими влияние полиэлектролитных эффектов (0,03 М ортофосфорной кислоты + 0,03 М хлористого лития + 1 % ТГФ). При этом преследовали две цели: показать влияние введения добавок в элюент на форму хроматограмм и выявить возможность получения молекулярно-массовой характеристики лигнина на этих сорбентах в условиях колоночной ГПХ.

Гель-хроматограммы приведены на рис. 1, среднемассовые коэффициенты распределения вещества между фазами хроматографической системы — в табл. 1.

Анализируя полученные значения коэффициентов распределения необходимо отметить, что на сфероне Р1000 разделение полидисперсного вещества лучше происходит в низкомолекулярной области ( $K_d$  меняется от 0,520 до 0,860), для сферона Р100 диапазон определяемых  $K_d$

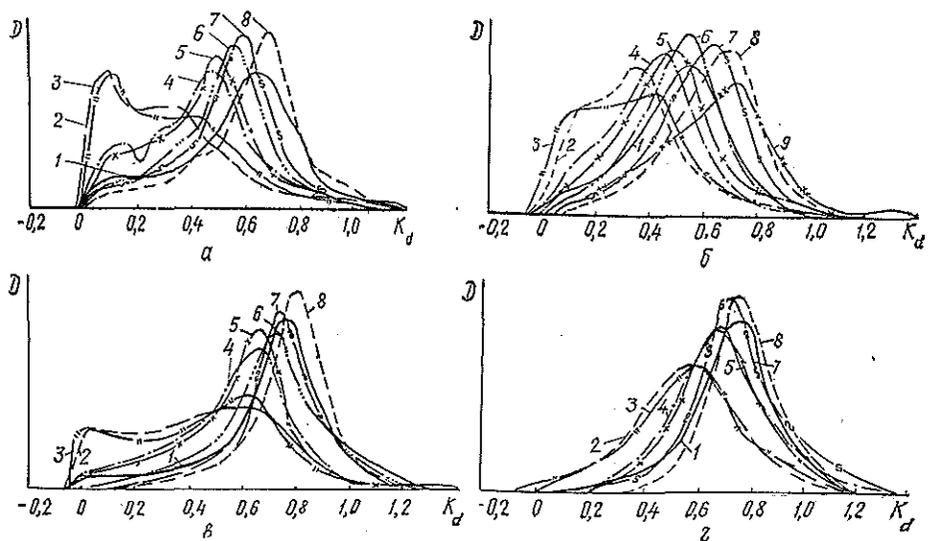


Рис. 1. Гельхроматограммы ЛСЛ на сфероне Р100 (а, б) и Р1000 (в, г) в ДМСО без добавок (а, в) и с добавками (б, г): 1 — исходная фракция, 2—9 — соответственно фракции 3—10

Таблица 1  
Среднемассовые коэффициенты распределения фракций ЛСЛ  
на различных сорбентах

Сорбент	$K_d$								
	Исход- ная	3	4	5	6	7	8	9	
Сефадекс G-75	0,701	0,375	0,380	0,530	0,581	0,669	0,772	0,852	
	0,732	0,381	0,430	0,565	0,623	0,687	0,728	0,830	
Сферон: P1000	0,785	0,520	0,518	0,653	0,652	0,786	0,856	0,871	
	0,823	0,638	0,625	0,730	0,766	0,792	0,848	0,873	
P100	—	0,348	0,366	0,501	0,491	0,586	0,615	0,672	
	0,326	0,346	0,355	0,451	0,492	0,547	0,623	0,672	

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, 3, в числителе приведены данные для ДМСО без добавок, в знаменателе — с добавками.

смещен в сторону высокомолекулярных фракций ( $K_d = 0,340 \dots 0,670$ ). Наиболее широкой областью определяемых  $K_d$  обладает сефадекс G-75 (0,370...0,850). При ГПХ на сфере P1000 и сефадексе G-75 введение в элюент комплексных добавок увеличивает значение  $K_d$ , на сфере P100 — несколько снижает  $K_d$ . Вероятно, в случае использования сферы P1000 и сефадекса G-75 введение в элюент электролитов, нейтрализующих ионные группы фракций лигнина и подавляющих их диссоциацию, уменьшает концентрационный эффект «разворачивания» макромолекул в растворе, при этом возрастает доля внутридиффузионной стадии, что вызывает увеличение  $K_d$ . Можно предположить, что при проведении эксперимента на сфере P100, предел эксклюзии которого на порядок ниже, чем у P1000, добавка низкомолекулярных электролитов действует не только на эффект полиэлектролитного набухания, снижая его вклад в процесс, но и на ионную инклюзию, смещая кинетику хроматографирования в сторону внешнедиффузионной стадии ( $K_d$  уменьшается).

Все вышеизложенное подтверждают хроматограммы, приведенные на рис. 1—2.

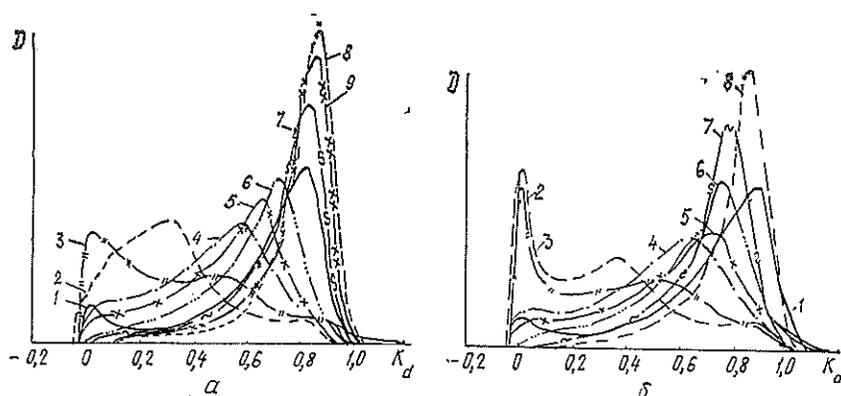


Рис. 2. Гель-хроматограммы ЛСЛ на сефадексе G-75 в ДМСО без добавок (а) и с добавками (б): 1 — исходная фракция; 2—9 — соответственно фракции 3—10

В процессе ГПХ на сефадексе G-75 введение добавок существенно меняет форму только хроматограмм высокомолекулярных фракций, на форме кривых исходного лигнина и фракций 5—10 это не сказывается. Наиболее заметно влияние вводимых добавок на форму хроматограмм в случае использования сферона Р1000. Все хроматограммы, полученные на элюенте с добавками, становятся унимодальными, у высокомолекулярных фракций и исходного лигнина практически исчезают пики в высокомолекулярной области. Очевидно, что для более полного и наглядного представления о молекулярно-массовой характеристике и полидисперсности препарата лигнина лучше использовать сефадекс G-75, причем в качестве элюента можно использовать ДМСО как с добавками, так и без добавок.

Для всех примененных сорбентов эффективность  $N$  хроматографической системы отвечает необходимому условию [4]  $N \geq 49 V_R^2 / C^2$ . В частности, для сефадекса G-75 в ДМСО без добавок  $N = 1080$ , с добавками —  $N = 1095$ .

Среднемассовые молекулярные массы исходного лигнина и его фракций были получены методом неустановившегося равновесия на аналитической ультрацентрифуге. Для определения молекулярно-массовой характеристики ЛСЛ и его фракций выбрана степенная зависимость коэффициента распределения и среднемассовой молекулярной массы:

$$K_d^{1/3} = A - BM^{1/2}.$$

Ранее [6] были рассчитаны коэффициенты этого уравнения для хвойного сульфатного лигнина (ХСЛ). Уравнения имеют следующий вид для системы сефадекс G-75 — ДМСО:  
без добавок

$$K_d^{1/3} = 1,2125 - 0,39665 \cdot 10^{-2} M^{1/2};$$

с добавками

$$K_d^{1/3} = 1,1715 - 0,35366 \cdot 10^{-2} M^{1/2}.$$

Среднеквадратичные отклонения  $\sigma^2$  и коэффициенты аппроксимации  $\epsilon$  для уравнений (1) и (2) составили соответственно 3380; 3900 и 9,4; 10,5 %.

Полученные нами для ЛСЛ на различных сорбентах зависимости, параметры  $\sigma^2$  и  $\epsilon$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета молекулярных фракций ЛСЛ  
по уравнению  $K_d^{1/3} = A - BM^{1/2}$

Номер фракции ЛСЛ	Молекулярная масса		Средне-квadraticное отклонение
	опытная	расчетная	

Сефадекс G-75;  $A = 1,3756/1,3424$ ;  
 $B = 0,47513/0,43935$

3	27 380	31 070	13,5
	27 380	25 780	5,9
4	24 400	22 770	6,7
	24 400	27 940	14,5
5	18 200	16 990	6,6
	18 200	17 420	4,3
7	14 100	12 600	10,6
	14 100	11 920	15,5
8	10 300	9 940	3,5
	10 300	11 300	9,7
9	8 700	8 440	3,0
	8 700	9 040	4,0
10	7 300	8 890	21,8
	—	—	—

Сферон P1000;  $A = 1,2700/1,1649$ ;  
 $B = 0,33658/0,22354$

3	27 380	29 270	6,9
	27 380	28 030	2,4
4	24 400	29 040	19,0
	24 400	25 770	5,6
5	18 200	18 100	0,5
	18 200	16 190	10,9
7	14 100	12 530	11,1
	14 100	13 080	7,2
8	10 300	10 200	0,9
	10 300	10 600	2,9
9	8 700	—	16,1
	8 700	9 500	9,2

Сферон P100;  $A = 1,1496/1,1688$ ;  
 $B = 0,32400/0,33896$

3	27 380	25 910	5,4
	27 380	27 420	0,0
4	24 400	27 690	13,5
	24 400	26 750	9,6
5	18 200	16 950	6,9
	18 200	16 960	6,8
7	14 100	12 400	12,0
	14 100	12 370	12,3
8	10 300	11 990	16,4
	10 300	9 850	4,3
9	8 700	8 400	3,5
	8 700	8 530	2,0
10	—	—	—
	7 300	8 700	19,5

Среднеквадратичное отклонение  $\sigma^2$  и коэффициент аппроксимации  $\varepsilon$  для сефадекса G-75 соответственно равны 1800/1900 и 8,9/9,1 %; для сферона P1000 —  $\sigma^2 = 2895/1180$  и  $\varepsilon = 11,7/6,5$  %; для сферона P100 —  $\sigma^2 = 1843/1329$  и  $\varepsilon = 9,3/7,6$  %.

Таблица 3

Пределы фракционирования сульфатного лигнина по молекулярной массе на различных сорбентах

Сорбент	Пределы молекулярных масс сульфатного лигнина			
	лиственного		хвойного	
	$M_0$	$M_K$	$M_0$	$M_K$
Сефадекс G-75	83 760	6 250	93 440	2 870
	93 440	6 080	109 730	2 350
Сферон: P1000	142 370	6 430	—	—
	271 540	5 440	—	—
P100	125 890	2 130	—	—
	118 900	2 480	—	—

По имеющимся функциональным зависимостям для ЛСЛ и ХСЛ рассчитаны пределы определяемых молекулярных масс (табл. 3). Пределы фракционирования лиственного лигнина для всех используемых сорбентов повышаются с введением в элюент добавок при фракционировании на сфероне P1000. Пределы определяемых молекулярных масс максимальны и для ДМСО с добавками (271540...5440). Для хвойного лигнина введение в элюент низкомолекулярных электролитов также расширяет предел определяемых молекулярных масс.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Беленький Б. Г., Виленчик Л. З. Хроматография полимеров.— М.: Химия.— 1978.— 344 с. [2]. Нефедов П. П., Давренко П. Н. Транспортные методы в аналитической химии полимеров.— Л.: Химия.— 1979.— 270 с. [3]. Полиэлектrolитные эффекты в эксклюзионной хроматографии лигнинов, ЛУК и полисахаридов / М. А. Иванов, П. П. Нефедов, А. Е. Русаков и др. // Химия древесины.— 1979.— № 5.— С. 108—109. [4]. Полиэлектrolитные эффекты в эксклюзионной хроматографии лигнинов, ЛУК и полисахаридов. I. Влияние полиэлектrolитной природы лигнинов и ЛУК на их элюционное поведение при эксклюзионной хроматографии в N, N'—диметилформамиде / П. П. Нефедов, А. Е. Русаков, М. А. Иванов и др. // Химия древесины.— 1981.— № 4.— С. 66—72. [5]. Эксклюзионная жидкостная хроматография лигнинов и ЛУК в N, N'—диметилформамиде и ДМСО / А. Е. Русаков, М. А. Лазарева, П. П. Нефедов и др. // Химия древесины.— 1982.— № 5.— С. 89—95. [6]. Соколов О. М. Определение молекулярных масс лигнинов на ультрацентрифуге и методом гель-фильтрации // Учеб. пособие.— Л.: ЛТА, 1978.— С. 74. [7]. Stenlund B. Polyelectrolyte effect in gel-chromatography // Adv. Chromatography.— 1976.— Vol. 16.— P. 37—74.

Поступила 11 марта 1994 г.

УДК 676.017.

А. В. ГУРЬЕВ, В. И. КОМАРОВ

Архангельский государственный технический университет

Г. И. ЧИЖОВ

С.-Петербургская лесотехническая академия

## ФОРМИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМАТИВНОСТИ И ПРОЧНОСТИ КАРТОНА-ЛАЙНЕРА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТОКЕ КДМ

Показано различное влияние основных технологических операций изготовления картона для плоских слоев гофрированного картона на характеристики его деформативности и прочности. При помощи статистических методов проведена оценка их изменчивости.

Different influence of the main technological operations of paperboard manufacturing for the flat layers of corrugated board on the properties of its deformity and strength has been revealed. The evaluation of their variability using statistic methods is carried out.

Картон для плоских слоев гофрированного картона должен обладать определенными потребительскими свойствами с учетом его последующего применения для изготовления тары различного назначения. В последнее время признается необходимость градации гофрированной тары на прочностную и жесткостную в зависимости от способности упаковываемой продукции воспринимать внешние нагрузки [7—9]. Принимая во внимание данную классификацию, можно предположить, что для первого вида тары более важны показатели прочности, а для второго — деформативности, прежде всего, упругие характеристики. Поскольку механические свойства гофротары зависят от совокупности свойств ее компонентов, представляется важным изучить деформативность и прочность картона для плоских слоев.

Для переработчиков картона и потребителей картонной тары важным является вопрос корреляции характеристик деформативности и прочности, т. е. происходит ли адекватное изменение их величин при намеренном или случайном изменении параметров технологического режима производства. Имеющиеся в литературе сведения о корреляции прочностных и деформационных показателей противоречивы. В то же время известно, что прочностные характеристики являются структурно-чувствительными (определяются различными дефектами структуры), а деформационные — интегральными, т. е. отражают поведение структуры материала в целом.

Действующим стандартом [3] качество картона для плоских слоев гофрированного картона регламентируется сопротивлением продавливанию и разрушающим усилием при сжатии кольца. Последняя характеристика отражает способность стенки картонной тары сохранять устойчивость при воздействии сжимающей нагрузки и во многом определяет потребительские ее свойства. Однако известно [4], что в процессе изготовления и последующей эксплуатации тары картон подвергается значительным растягивающим усилиям. Способность картона сопротивляться растяжению пока не нашла отражения в отечественной практике

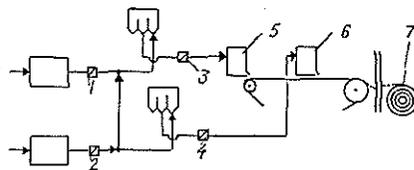
оценки его механических свойств. Частично это учтено лишь в стандарте на гофрированный картон [2], согласно которому с 01.01.94 вводится норма на величину удельного сопротивления растяжению по линии рилевки.

Формирование характеристик деформативности и прочности исследована нами совместно с НИЛ Котласского ЦБК в технологическом потоке КДМ-4 [1]. При проведении эксперимента вырабатывали картон с массой  $1 \text{ м}^2$  175 г. Композиция основного слоя картона включала сульфатную небеленую хвойную целлюлозу и нейтрально-сульфитную листовенную полуцеллюлозу. Покровный слой изготавливали из сульфатной целлюлозы того же вида, но с более высокой степенью помола. Таким образом, по композиции исследуемый картон относится к крафт-лайнерам.

Следует заметить, что на разных предприятиях композиционный состав имеет свои особенности, что, в свою очередь, обуславливает особенности технологии и свойств готовой продукции. Поэтому к вопросу о деформативности и прочности картона нужно подходить, учитывая свойства конкретных полуфабрикатов и применяемую технологию. То же касается и возможности классификации картона для использования в составе тары различного назначения.

Отбор проб осуществляли в семи точках технологического потока (см. рисунок). При этом учитывали время прохождения массы по потоку. Лабораторные образцы соответствовали готовой продукции по массе  $1 \text{ м}^2$ , композиции и относительному содержанию основного и покровного слоев: двухслойные, картон основного и покровного слоев. Для более достоверной оценки свойств картона проведено 14 отборов в течение полутора месяцев.

Схема расположения точек отбора проб в технологическом потоке КДМ: 1 — нейтрально-сульфитная целлюлоза после варки; 2 — сульфатная небеленая целлюлоза из сгустителя; 3, 4 — масса из баков постоянного уровня соответственно потоков основного и покровного слоев; 5, 6 — масса из напорных ящиков потоков основного и покровного слоев; 7 — картон с наката машины



Для оценки деформативности образцов картона лабораторного и производственного изготовления использовали характеристики, полученные по результатам испытаний на растяжение и изгиб: модуль упругости при растяжении, модуль в области предразрушения, деформация разрушения, работа разрушения, жесткость при изгибе и модуль упругости при изгибе. При испытаниях на растяжение с постоянной скоростью регистрировали зависимость «напряжение — деформация» ( $\sigma - \epsilon$ ), которая, как показано в [5], может служить основой для комплексной оценки упруго-пластических и прочностных свойств целлюлозно-бумажных материалов. Обработку кривых  $\sigma - \epsilon$  при испытании на растяжение проводили по методике, изложенной в работе [10], на изгиб — [6].

Прочностные свойства картона оценивали стандартными показателями (сопротивление продавливанию, разрушающее усилие при сжатии кольца), а также использовали характеристики разрывной длины и разрушающего напряжения (Последние отражают предельные значения прочности материала при растяжении).

Средние значения полученных характеристик прочности и деформативности всех видов образцов представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, при сравнении образцов, изготовленных до и после размолла, наблюдается закономерный рост значений прочно-

Таблица 1

## Изменение характеристик прочности и деформативности картона-лайнера в технологическом потоке КДМ

Вид образца	Спро- тивле- ние продав- ливанию $P$ , кПа	Разру- шающее усилие при сжа- тии коль- ца, $K$ , Н	Разрыв- ная длина $L$ , м	Разру- шающее напря- жение $\sigma_p$ , МПа	Модуль упруго- сти при растя- жении $E_1$ , МПа	Модуль в обла- сти пред- разру- шения $E_2$ , МПа	Дефор- мация разру- шения $\epsilon_p$ , %	Работа разру- шения $A_p$ , мДж	Жест- кость при де- формации $E_1$ , мН·см <sup>2</sup>	Модуль упруго- сти при изгибе $E_{изг}$ , МПа
Поступающая масса: основного слоя покровного слоя двухслойная	459	268	4300	27	4950	791	1,4	106	664	2450
	58	—	3550	14	2550	583	1,0	13	—	—
	584	338	4700	29	5050	773	1,6	126	1043	2700
Масса из бака постоянного уровня: основного слоя покровного слоя двухслойная	638	325	5750	37	4350	862	2,0	195	671	3000
	100	—	6650	34	5050	1192	1,3	25	—	—
	843	419	6500	44	6500	1135	1,8	142	1083	3750
Масса из напорного ящика: основного слоя покровного слоя двухслойная	679	342	6100	42	3600	957	2,2	221	646	3200
	96	—	6450	33	4900	1132	1,3	24	—	—
	885	436	6650	47	5200	1076	2,3	178	1037	3800
Картон направленный: машинного поперечного	—	—	8600	51	4200	1500	2,0	226	1675	3250
	619	233	—	—	2200	320	2,4	140	565	1750

стных характеристик. Наибольшее влияние размол оказывает на прочность образцов покровного слоя. Сопротивление продавливанию в этом случае увеличивается на 72, разрывная длина — на 87 %, а разрушаю-

щее напряжение — в 2,4 раза. Такой характер изменения прочности прежде всего связан с более высокой степенью помола массы, из которой формируется покровный слой картона. Значения показателей прочности образцов основного слоя картона с увеличением степени помола также возрастают: сопротивление продавливанию — на 39, разрушающее усилие при сжатии кольца — на 21, разрывная длина — на 34 и разрушающее напряжение — на 81 %.

Прочностные свойства двухслойных образцов несомненно зависят от прочности отдельных слоев, но вклад каждого из них будет различным. Явной аддитивности свойств как в численном, так и в относительном их изменении под действием технологических факторов не наблюдается. Из стандартных показателей, полученных для двухслойных образцов, наибольшее влияние размол оказывает на сопротивление продавливанию. Отмечено его увеличение на 44 %. Разрушающее усилие при сжатии кольца возрастает на 24 %.

Также оценивали влияние размола на деформативность образцов картона. В целом и в этом случае наблюдается увеличение значений характеристик. Однако, если для образцов покровного слоя заметен значительный рост исследуемых величин (например, модуль упругости при растяжении, модуль в области предразрушения и работа разрушения увеличиваются примерно в 2 раза по сравнению с одноименными характеристиками у образцов из неразмолотой массы), то для основного слоя картона увеличение происходит в значительно меньшей степени. Так, модуль в области предразрушения возрастает на 9, модуль упругости при изгибе — на 24 %. Значение жесткости при изгибе практически не изменяется, а модуль упругости при растяжении уменьшается на 12 %. Относительное увеличение характеристик деформативности двухслойных образцов картона после размола также несколько ниже прочностных показателей.

Таким образом, можно предположить, что свойства покровного слоя оказывают большее влияние на формирование деформативности крафт-лайнера, чем на его прочность. В то же время следует заметить, что при сопротивлении различным видам нагрузок ведущая роль несомненно принадлежит основному слою картона.

Сравнение показателей образцов картона, изготовленных из массы, отобранной из баков постоянного уровня (точки отбора 3 и 4) и из напорных ящиков основного и покровного слоев (точки отбора 5 и 6) дает возможность оценить влияние, оказываемое на исследуемые характеристики разбавлением целлюлозной суспензии оборотной водой и добавлением находящегося в последней мелкого волокна.

Установлено отрицательное влияние данного фактора на прочность образцов покровного слоя. Значение всех характеристик прочности для этих образцов снижается на 3...4 %. Добавка мелкого волокна при разбавлении регистровой водой положительно влияет на прочность образцов основного слоя и двухслойных, вызывая увеличение значений показателей на 4...6 %.

Характеристики деформативности образцов, изготовленных из разбавленной оборотной водой массы, изменяются неоднозначно. У образцов покровного слоя отмечено некоторое уменьшение модуля упругости при растяжении и модуля в области предразрушения. Значения общей деформации и работы разрушения остаются постоянными. Деформационные показатели образцов основного слоя и двухслойных изменяются более значительно, чем показатели прочности. Разбавление обуславливает снижение одних характеристик (например, модуля упругости при растяжении, жесткости при изгибе образцов обоих типов, модуля в области предразрушения образцов основного слоя) и увеличение дру-

Таблица 2  
Изменение коэффициента вариации показателей прочности и деформативности картона-лайнера в технологическом покое КДМ

Вид образца	Коэффициент вариации для показателей										
	Л	К	L	$\sigma_p$	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	$\varepsilon_p$	A <sub>p</sub>	EI	E <sub>изг</sub>	
Поступающая масса: основного слоя покровного слоя двухслойная	14,6	8,6	8,8	10,4	17,5	22,6	11,6	18,5	12,6	10,8	
	26,2	—	—	59,0	45,3	34,7	14,5	39,7	—	—	
	13,4	8,6	8,1	11,7	18,6	23,8	13,7	18,3	8,9	14,3	
Масса из бака постоянного уровня: основного слоя покровного слоя двухслойная	7,4	10,3	6,7	9,6	18,4	18,2	7,6	19,6	14,3	15,0	
	19,8	—	—	29,3	39,4	32,4	11,0	28,9	—	—	
	9,7	8,7	9,3	4,6	21,1	19,2	13,1	13,4	15,7	9,1	
Масса из напорного ящика: основного слоя покровного слоя двухслойная Картон	7,5	10,9	7,6	10,1	10,3	11,9	11,0	20,6	16,9	14,0	
	24,6	—	—	29,6	41,3	25,3	13,6	42,9	—	—	
	8,1	8,4	8,2	6,9	20,2	21,4	11,0	14,2	16,6	9,9	
	5,5	7,1	5,9	6,7	12,3	12,0	6,3	8,3	25,9	13,0	

гих (деформации разрушения, работы разрушения, модуля упругости при изгибе образцов основного слоя и двухслойных).

Полученные результаты позволяют говорить о различном влиянии добавления мелочи оборотной воды на прочность и деформативность исследуемых образцов. Причем, большее влияние этот фактор оказывает на формирование деформационных свойств.

Характеристики деформативности и прочности подвергали статистическому анализу с целью оценки их изменчивости. Показателем изменчивости является коэффициент вариации. Его значения для разных характеристик и видов образцов представлены в табл. 2. Выявлено, что коэффициенты вариации деформационных показателей картона производственного изготовления, за исключением деформации разрушения, выше, чем прочностных. Это позволяет сделать вывод о меньшей стабильности показателей деформативности, поскольку в производственных условиях их формирование не принимается во внимание, а уро-

вень — не регулируется. Следовательно, неизбежны их значительные колебания для одного вида картона, удовлетворяющего по прочности требованиям стандарта. Прежде всего это относится к упруго-пластическим свойствам картона-лайнера, входящего в состав гофрированной тары жесткостного типа.

Значения коэффициента вариации характеристик деформативности и прочности лабораторных образцов по потоку несколько возрастают, но тенденции большей изменчивости деформационных показателей сохраняется.

### Выводы

1. Основные технологические факторы производства картона для плоских слоев гофрированного картона оказывают различное влияние на формирование его деформационных и прочностных свойств.

2. Процесс размола полуфабрикатов больше влияет на уровень деформативности.

3. Внесение в массу с оборотной водой мелкого волокна вызывает снижение значений характеристик деформативности и прочности у образцов покровного слоя картона.

4. Свойства покровного слоя оказывают преимущественное влияние на формирование деформативности картона.

5. Характеристики деформативности образцов картона машинного и лабораторного изготовления обладают большей изменчивостью по сравнению с прочностными показателями. Причиной этого является, прежде всего, то, что технологический режим производства установлен и регулируется для обеспечения регламентируемого уровня стандартных показателей качества.

6. При оценке качества картона для плоских слоев следует учитывать его последующее применение для изготовления прочной либо жесткой тары. Для первого вида определяющими будут прочностные свойства, для второго — деформационные.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Влияние качества целлюлозных полуфабрикатов на характеристики картона / В. И. Комаров, А. В. Гурьев, Г. И. Чижов и др. // Тез. докл. Российского научно-техн. семинара «Новые достижения в технологии волокнистых полуфабрикатов», г. Коряжма Архангельской области. 9—10 сент. 1992 г.— М., 1992.— С. 22—23. [2]. ГОСТ 7376—89. Картон гофрированный. Общие технические условия.— Введ. 01.01.92. до 01.01.96.— М.: Изд-во стандартов, 1989. [3]. ГОСТ 7420—89. Картон для плоских слоев гофрированного картона. Технические условия.— Введ. 01.01.91. до 01.01.96.— М.: Изд-во стандартов, 1990. [4]. Данилевский В. Д. Картонная и бумажная тара.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 216 с. [5]. Комаров В. И. Анализ зависимости «напряжение — деформация» при испытаниях на растяжение целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн.— 1993.— № 2—3.— С. 123—131.— (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Комаров В. И., Фляте Д. М. Жесткость бумаги при изгибе // Бум. пром-сть.— 1973.— № 6.— С. 3—4. [7]. Личман В. Ф., Высота А. М. Жесткость и прочность как основа определения надежности картонной тары // Системы управления качеством продукции и автоматизация целлюлозно-бумажного производства: Сб. науч. тр.— Киев: УкрНИИБ, 1991.— С. 12—15. [8]. Личман В. Ф. Два подхода при одном научном решении классификации картонной тары и тарного картона по нагрузкам // Бум. пром-сть.— 1990.— № 7.— С. 12—15. [9]. Определение требований к картонной таре / Е. А. Мысякова, П. Н. Варенцов, В. Н. Судакова и др. // Совершенствование технологии тарного картона и картонной тары: Сб. тр. ВНИПИЭИлеспром.— М., 1986.— С. 17—20. [10]. Хабаров Ю. Г., Комаров В. И. Оценка последовательности разрушения целлюлозных волокнистых материалов // Бум. пром-сть.— 1973.— № 6.— С. 2—3.

УДК 547.458.81 : 539.261

И. С. ГЕЛЕС, М. В. МЕЛЕХ, Ю. М. КЛЕМАНСКИЙ,  
М. А. КОРЖОВА, Г. М. ЛЕВКИНА

Петрозаводский государственный университет

## ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ КОРЫ ЕЛИ, СОСНЫ И ЛИСТВЕННИЦЫ

Определен групповой химический состав образцов корки. Показаны близость их ИК-спектров и различия в параметрах надмолекулярной структуры целлюлозы. Установлено незначительное влияние удаления экстрактивных веществ на ИК-спектры препаратов из корки.

The group of chemical composition of cortex specimens is determined. The similarities of their UK spectra and distinction in supermolecular cellulose structure parameters are revealed. Some insignificant influence of extractives separation on UR spectra of cortex preparations is established.

Содержание коры у таких широко распространенных древесных пород, как сосна и ель, составляет 6...12 %, а у лиственницы — 18 %. Являясь значительной частью биомассы дерева, кора изучена несравненно хуже древесины. Особенно это касается ее целлюлозной составляющей, надмолекулярная структура которой освещена в единичных работах [2, 3]. Степень упорядоченности целлюлозы корковой части ели и сосны ниже по сравнению с лубом и, тем более, древесиной этих пород. По коре лиственницы такая информация отсутствует.

Цель данной работы — изучить химическими и физическими методами основную часть коры — корку, доля которой у сосны и лиственницы достигает 70...80 %.

Корку ели, сосны и лиственницы измельчали до частиц размером 0,2...0,5 мм, после чего брали пробы на химический анализ и получение таблеток для рентгенографии и ИК-спектроскопии. В качестве контрастного материала теми же методами исследовали скорлупу ореха масличной пальмы.

Химический состав определяли на основании общепринятых методов, модифицированных с учетом специфики анализируемого материала.

Рентгенографирование проводили с помощью аппарата ДРОН-2,0 в  $\text{CuK}_\alpha$ -излучении, монохроматизированном кристаллом пиролитического графита, помещенного в первичном пучке. Трубка БСВ-27. Режим работы трубки — 20 кВ, 17 мА. Ширина щели перед коллиматором и счетчиком квантов 2 мм. Информацию выводили на диаграммную ленту, скорость движения которой составляла 600 мм/ч. Скорость вращения счетчика 1 град/мин. Рентгенографирование таблеток и чешуй проводили в геометрии «на отражение» в интервале 6...50° по шкале 2 $\theta$ . Результаты отдельных замеров для каждого образца усредняли.

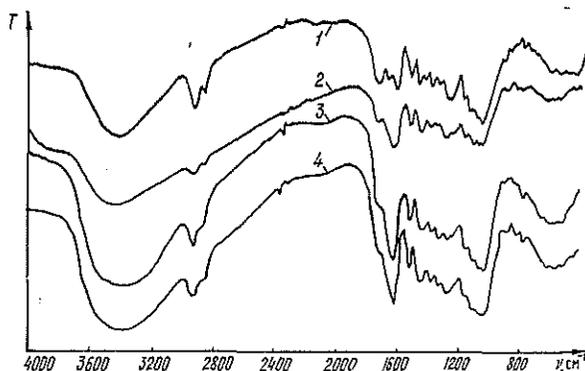
Режим регистрации ИК-спектров на приборе «Specord 75-I»: ширина щели 2,5; скорость регистрации 1 см<sup>-1</sup>/с; усиление 4, постоянная пера самописца 30 с.

Сравнение группового состава показывает, что корка ели отличается наибольшим содержанием экстрактивных веществ разных классов. Особенно выделяется она количеством водозэкстрактивных, в первую очередь растворимых в горячей воде. Интересным является тот факт,

что корка хвойных характеризуется повышенным присутствием компонентов, растворимых в диэтиловом эфире, тогда как в древесине ели и лиственницы количество их обычно не превышает 2 %, сосны — 4...6 %. В этилацетате растворяется на 15 % больше веществ по сравнению с диэтиловым эфиром. Из сопоставления данных можно сделать заключение, что в этилацетат переходит лишь небольшая часть спирторастворимых соединений (вариант последовательной экстракции). У лиственницы по сравнению с сосной и елью в корке несколько иное соотношение между различными группами экстрактивных веществ. В отличие от корки хвойных скорлупа ореха масличной пальмы содержит меньше экстрактивных веществ, особенно водорастворимых компонентов. Достаточно большие различия выявляются в составе углеводов. В скорлупе ореха присутствует меньше «галактана», «арабана», «глюкана» и несравненно больше «ксилана», чем в корке хвойных. Однако ее доля в расчете на неэкстрагированную навеску составляет менее 25 %.

Все проанализированные образцы отличаются высоким содержанием «лигнинна», составляющим более половины их массы. Очевидно, он будет оказывать существенное влияние на характер ИК-спектров и аморфную компоненту рентгенограмм. Целлюлоза, содержание которой относительно невелико (24...31 %), определяет характер рентгенограмм и ИК-спектров.

Исходя из данных о количестве веществ, извлекаемых при последовательной экстракции, можно ожидать некоторых изменений в ИК-спектрах этих образцов по сравнению с исходными. Нужно отметить, что ИК-спектры корки разных пород, представленные на рисунке, очень близки между собой, особенно у сосны и ели. Некоторые отличия наблюдаются на спектрах корки лиственницы при частоте  $1720\text{ см}^{-1}$  и в области  $1260\text{...}1370\text{ см}^{-1}$ , на этих же участках спектра имеются различия между коркой сосны, ели и скорлупой ореха масличной пальмы. Удаление при последовательной экстракции 15,3...20,6 % различных групп веществ (табл. 1) практически мало сказывается на ИК-спектрах. Происходит некоторое размытие его в области  $2850\text{...}2920\text{ см}^{-1}$ , а у скорлупы ореха полностью исчезает пик при  $2850\text{ см}^{-1}$ . Кроме того, в спектрах корки хвойных снижается интенсивность полосы  $1370\text{ см}^{-1}$ . В целом нужно отметить, что информативность ИК-спектров таких объектов, как корка хвойных пород, оказалась недостаточной даже для констатации факта удаления 20 % веществ от исходной мас-



ИК-спектры исходных образцов корки: 1 — скорлупа ореха масличной пальмы; 2 — лиственница; 3 — ель; 4 — сосна

Таблица 1  
Групповой химический и углеводный состав препаратов, %

Компоненты	Корка			Скорлупа ореха масличной пальмы
	сосны	ели	листвен- ницы	
Исходный препарат				
Зольные вещества	2,08	7,60	3,14	2,87
Вещества, экстрагируемые водой:				
холодной	1,70	2,77	2,59	1,20
горячей (с температурой 98 °С)	7,45	13,83	8,52	3,03
Вещества, экстрагируемые этил- ацетатом	8,80	8,40	6,96	6,97
Вещества, последовательно экст- рагируемые*:				
диэтиловым эфиром	7,72	7,63	6,06	5,67
этанолом	4,55/4,20	6,16/5,69	6,49/6,10	4,03/3,80
горячей водой	5,67/5,01	8,41/7,32	3,56/3,14	3,45/3,13
Сумма экстрактивных веществ при последовательной экстракции	16,93	20,64	15,30	12,60
Препарат, прошедший последовательную экстракцию				
Лигнин	55,60	46,44	60,85	47,31
Полисахариды по РВ	38,73	43,02	—	46,93
Моносахариды (в пересчете на полисахариды)**:				
галактоза	4,31	3,76	4,06	0,48
глюкоза	28,98	31,79	24,13	19,89
манноза	3,82	5,44	8,57	2,41
арабиноза	4,21	4,85	5,51	1,10
ксилоза	5,00	5,79	5,73	24,75
Сумма моносахаридов (в пере- счете на полисахариды)	46,32	51,63	48,00	48,63

\* В числителе приведены данные для проэкстрагированного диэтиловым эфиром, этанолом и горячей водой препарата; \* в знаменателе — для исходного абс. сухого.

\*\* Для корки сосны, ели, лиственницы качественно определена одна уоновая кислота, для скорлупы ореха масличной пальмы — две.

сы. Очевидно, вследствие наложения и совпадения ИК-спектров экстрактивных веществ и доминирующих компонентов — лигнина и целлюлозы, удаление первых не оказывает существенного влияния на общий характер распределения частот и их интенсивность.

Образцы корки в виде чешуй и таблеток рентгенографировали под большими углами и из экспериментальных данных рассчитывали такие параметры, как положение отражения (002) в  $2\theta$  (град), его полуширина  $l$  (град) и степень кристалличности  $K$  по интегральному методу [4]. При сравнении параметров надмолекулярной структуры целлюлозы корки видно (табл. 2), что в зависимости от вида препарата наиболее заметны различия в степени кристалличности. Это объясняется тем, что таблетки дают усредненные характеристики, в то время как внутренняя сторона чешуй, обращенная в сторону пучка, приближается к лубу. Это различие сохраняется для корки всех трех пород. Как следует из данных табл. 2, нативная целлюлоза чешуй корки лиственницы характеризуется наибольшей дефектностью. Препараты корки ели в виде таблеток имеют большую степень кристалличности по сравнению с сосной и лиственницей, у которых значение структурных параметров практически одинаково. Скорлупа ореха масличной пальмы с меньшим, чем у корки хвойных содержанием целлюлозы характеризуется несколько большей величиной степени кристалличности. Экстракция неодинаково влияет на параметры надмолекулярной структуры: у

Таблица 2

## Параметры надмолекулярной структуры препаратов

Характеристика препарата	$2\theta_{002}$ , град	$l_{002}$ , град	$K_{ср}$
Корка ели			
Чешуйки	22,3	3,0	0,33
Таблетки из опилок: исходных	22,2	3,0	0,26
после экстракции этилацетатом	22,4	2,9	0,28
Корка сосны			
Чешуйки	22,3	3,0	0,39
Таблетки из опилок: исходных	22,1	3,0	0,23
после экстракции этилацетатом	22,2	3,0	0,23
Корка лиственницы			
Чешуйки	22,3	3,2	0,25
Таблетки из опилок: исходных	22,0	3,1	0,23
после экстракции этилацетатом	22,2	3,1	0,25
Скорлупа ореха масличной пальмы			
Таблетки из опилок: исходных	21,8	*	0,25
после экстракции этилацетатом	21,8	3,2	0,25

\* Для таблеток из исходных опилок скорлупы ореха масличной пальмы  $l$  — очень размыт.

ели и лиственницы удаление аморфных компонентов приводит к увеличению степени кристалличности, у сосны и скорлупы ореха эта величина не изменяется. В то же время для последнего из указанных объектов даже экстрагирование всего 7 % веществ сказалось на дифрактограмме — пик (002) стал более четким, что позволило рассчитать его полуширину.

Как показали исследования, рентгенограммы корки имеют размытый характер с достаточно четкими пиками оксалата кальция. У скорлупы ореха масличной пальмы дифрактограммы еще более размыты, в том числе у рефлекса (002). Экстракция части аморфных компонентов несколько улучшает рентгенограмму, влияя в той или иной степени на основные параметры. В целом можно отметить низкую степень кристалличности у всех проанализированных образцов корки ели, сосны, лиственницы и скорлупы ореха масличной пальмы и пониженные размеры областей когерентного рассеяния, о чем говорит величина  $l_{002}$ .

Таким образом, комплексное изучение корки основных лесообразующих пород России показало, что ИК-спектроскопия недостаточно информативна, что, очевидно, можно объяснить наличием близких по строению функциональных групп у нерастворимых и растворимых компонентов. Метод рентгеноструктурного анализа показал достаточно высокую эффективность и позволил выявить определенные особенности надмолекулярной структуры целлюлозы корки. Прямой связи между содержанием целлюлозы и степенью кристалличности у препаратов из корки исследованных нами пород установить не удалось, хотя при расширении пределов ее изменения такая тенденция несомненно проявляется.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Мартынов М. А., Вылегжанина К. А. Рентгенография полимеров.— М.: Химия, 1972.— 93 с. [2]. Мелех М. В., Петрова В. В., Гелес И. С. Исследование целлюлозы коры методами рентгеноструктурного анализа // Химия древесины.— 1987.— № 6.— С. 52—58. [3]. Петрова В. В., Мелех М. В. Изучение структурного состояния целлюлозы коры и древесины сосны, по сравнению с елью, методами рентгенографии // Химия и технология переработки древесины и коры.— Петро-заводск, 1990.— С. 67—74. [4]. Jaume G., Knolle H. Beitrag zur empirischen röntgenographischen Bestimmung des Kristallinitätsgrades cellulosischen Stoffe // Das Papier.— 1964.— V. 18, N 6.— S. 249—255.

Поступила 23 ноября 1992 г.

УДК 676.017.42

В. И. КОМАРОВ

Архангельский государственный технический университет

### ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГИБЕ

Представлена гипотеза упруго-пластического деформирования в зоне сжатия при изгибе образцов целлюлозно-бумажных материалов. Показана возможность использования треугольно-трапецидальной эпюры для расчета слоя структуры материала, в котором возникает предельное состояние.

A hypothesis of the resilient-plastic deforming of pulp-and-paper sample materials in the zone of compression when bending has been set up. The possibility of applying the triangle-trapezium orthographic epure projection for the calculation of the material structure layer in which strain occurs is revealed.

Жесткость при изгибе является важной характеристикой качества печатных и упаковочных видов бумаги, а также картона, предназначенного для изготовления тары. Низкая жесткость при изгибе необходима для таких материалов, как санитарно-гигиенические и специальные упаковочные виды бумаги, нотная бумага и др. [6, 15, 17, 19, 21, 22].

Существует достаточно много методов определения жесткости при изгибе. При их реализации измеряют следующие величины: сгибающее усилие; угол изгиба; прогиб; сгибающе-надламывающий угол; сумма величин работы, вызывающей упругие и пластические деформации; резонансная частота; модуль упругости или жесткость при изгибе. Обзор методов представлен в работах [9, 25, 27]. В настоящее время по данным фирмы «Lorentzen and Wettre» [28] наибольшее применение за рубежом нашли следующие: 1) метод измерения жесткости при деформировании на заданный угол консольно-закрепленного образца под воздействием силы, приложенной к его концу (используют для большинства видов бумаги); 2) резонансный метод, который позволяет определять жесткость при деформировании образца только в упругой области; 3) четырехточечный метод для испытания очень жестких материалов типа гофрированного картона. В отечественной практике для определения жесткости картона и бумаги используют в основном стандартный метод [5], заключающийся в определении силы, приложенной к свободному концу консольно-закрепленного образца и изгибающей его на определенный угол, а также метод, основанный на измерении деформации под воздействием заданной силы при испытании консольно-закрепленного образца. Его широко применяют в лабораторной практике [13].

Отметим, что при испытании образцов бумаги и картона на жесткость при изгибе с использованием статических методов, которые ими-

тируют реальные условия переработки и применения этих материалов, проявляются не только упругие, но и пластические деформации. Одними из первых эту проблему обсуждали Брехт, Бликштадт и Мюллер [24, 26]. Для лучшего понимания обсуждаемого вопроса приведем основные положения.

Расчет деформации изгиба консоли, когда не учитывается собственный вес образца, в общем случае приводит С. П. Тимошенко [20]. Пренебрегая влиянием поперечной силы на кривизну образца, представим зависимость между радиусом кривизны  $r$  и изгибающим моментом  $M$  в виде

$$1/r_{(x)} = M_{(x)}/EI, \quad (1)$$

где  $E$  — модуль упругости при изгибе;

$I$  — момент инерции поперечного сечения образца,

$$I = b\delta^3/12; \quad (2)$$

$b$  — ширина образца;

$\delta$  — толщина образца.

Отсюда получим для изогнутой оси образца дифференциальное уравнение второго порядка

$$\frac{M_{(x)}}{EI} = \frac{d^2y/dx^2}{[1 + (dy/dx)^2]^{3/2}}. \quad (3)$$

Для практических целей найдем уравнение изогнутой линии в виде

$$y = f(x), \quad (4)$$

где  $f$  — стрела прогиба образца.

Так как  $(dy/dx)^2 \ll 1$ , то приближенное дифференциальное уравнение имеет вид

$$\frac{M_{(x)}}{EI} = d^2y/dx^2 \quad (5)$$

или

$$\frac{P(l-x)}{EI} = d^2y/dx^2, \quad (6)$$

где  $P$  — нагрузка на образец (действующая сила);

$l$  — длина образца.

После двукратного интегрирования получим выражение для определения стрелы прогиба:

$$f = y(l) = Pl^3/3EI; \quad (7)$$

$$EI = Pl^3/3f. \quad (8)$$

Приведенные выше уравнения являются приближенными, так как бумага — анизотропный упругопластический материал [2, 7, 10].

При изгибе образца под влиянием постоянно действующей нагрузки, в зависимости от ее величины и свойств структуры бумаги или картона возможны три вида деформирования; эпюры нормальных напряжений для которых показаны на рис. 1:

1) напряжение, приложенное к крайним сжатым и растянутым волокнам, ниже или равно пределу упругости при данных видах деформирования. В этом случае в сжатой и растянутой зонах образца возникают только упругие деформации (эпюра 1);

2) напряжение, приложенное к крайним сжатым и растянутым волокнам, несколько выше предела упругости. В сжатой и растянутой

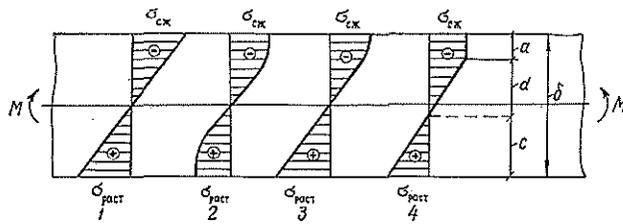


Рис. 1. Действительные (1—3) и упрощенная (4) эпюры нормальных напряжений

зонах возникают упруговязкие (замедленноупругие) деформации (эпюра 2);

3) напряжение крайнего растянутого волокна ниже или равно пределу упругости, а напряжение крайнего сжатого волокна выше предела упругости при сжатии (эпюра 3).

Испытания на изгиб проводят по схеме прибора ЖБИ-1. Для дальнейших рассуждений примем, что бумага является упруговязкопластическим материалом, который при изгибе в растянутой зоне сечения стержня работает упруго вплоть до разрыва крайних волокон, а в сжатой — упругопластически [21]. Ф. П. Белянкин [3] предложил для расчетов такого материала использовать упрощенную эпюру (эпюра 4). В работе [8] указывается на экспериментально установленный факт, когда в случае упругопластического изгиба закон плоских сечений сохраняется. Поэтому деформации линейно зависят от координаты  $y$ . Зона пластических деформаций распространяется внутрь сечения.

Для определения размеров  $a$ ,  $d$ ,  $c$  для эпюры 4 воспользуемся следующими уравнениями [18]:

$$ba\sigma_{сж} + b\frac{d}{2}\sigma_{сж} - b\frac{c}{2}\sigma_{раст} = 0;$$

$$a + d + c = \delta;$$

$$\sigma_{сж}/\sigma_{раст} = d/c,$$

где  $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_{раст}$  — соответственно напряжения при сжатии и растяжении.

Решая эти уравнения совместно, получаем

$$a = \delta \frac{n_0 - 1}{n_0 + 1}; \quad (9)$$

$$d = \delta \frac{2}{(n_0 + 1)^2}; \quad (10)$$

$$c = \delta \frac{2n_0}{(n_0 + 1)^2}; \quad (11)$$

$$n_0 = \sigma_{раст}/\sigma_{сж}. \quad (12)$$

Таким образом, зная  $\sigma_{раст}$  и  $\sigma_{сж}$ , можно оценить образование предельного состояния в зоне сжатия при изгибе образца.

В работе [9] было показано, что модуль упругости  $E_{изг}$ , рассчитанный по уравнению

$$E_{изг} = \frac{12EI}{\delta\delta^3}, \quad (13)$$

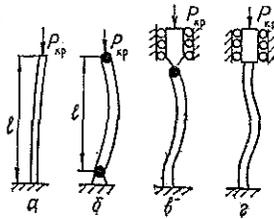
во всех исследуемых случаях меньше модуля упругости  $E_1$ , определенного резонансным методом. Дальнейшие исследования показали, что эта закономерность наблюдается и при сравнении  $E_{изг}$  и  $E_1$ , получен-

ного обработкой кривой «напряжение — деформация» при испытании на растяжение [11, 12]. Обнаруженный эффект может быть интерпретирован двояко: во-первых, при изгибе напряжения растяжения и сжатия в крайних слоях образца превышают предел упругости; во-вторых, предел упругости при сжатии крайнего слоя ниже предела упругости при растяжении, что вызывает образование предельного состояния только в сжатой области. В этом случае в области сжатия после достижения максимального напряжения в крайнем слое плоскости листа может возникнуть чрезмерная деформация, но не в результате каких-либо остаточных изменений, а путем возникновения бокового перемещения, называемого потерей устойчивости. Классический случай обсуждался в работе [16]. Для прямого стержня, а в случае целлюлозно-бумажных материалов — отдельного волокна определенной длины, закрепленного на одном конце и свободного на другом, критическая нагрузка, вызывающая потерю устойчивости

$$P_{кр} = \pi^2 EI / 4l^2 \quad (14)$$

Из этого уравнения видно, что при определенной длине волокна потеря устойчивости регламентируется лишь жесткостью и не зависит от предела текучести материала. Возможные способы крепления стержней показаны на рис. 2. Взаимодействие волокна в структуре бумаги или картона имеет более сложный характер.

Рис. 2. Критическая нагрузка для потери устойчивости упругих прямых стержней при различных  $P_{кр}$ : а —  $P_{кр} = \pi^2 EI / 4l^2$ ; б —  $P_{кр} = \pi^2 EI / l^2$ ; в —  $P_{кр} = 20,2 EI / l^2$ ; г —  $P_{кр} = 4\pi^2 EI / l^2$



Определение реальных напряжений, возникающих в крайних слоях при испытании на изгиб образцов целлюлозы, бумаги и картона — задача крайне сложная. Принимая, что гипотеза плоских сечений справедлива и при изгибе целлюлозно-бумажных материалов, для расчета напряжений в зоне растяжения может быть использовано уравнение Навье

$$\sigma = M / W, \quad (15)$$

где  $M$  — изгибающий момент;

$W$  — момент сопротивления поперечного сечения образца,  $W = b\sigma^2 / 6$ .

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что напряжение  $\sigma_{раст}$ , возникающее в крайнем слое образца, подвергнутого изгибу, в несколько раз ниже, чем предел упругости  $\sigma_1$  материала при испытании на растяжение.

В зоне сжатия при испытании на изгиб механическое поведение целлюлозно-бумажных материалов гораздо сложнее. Экспериментально установлено, что модуль упругости  $E_1$  материала при испытании на растяжение выше модуля упругости при изгибе  $E_{изг}$ . Можно предположить, что

$$E_{изг} = (E_1 + E_{сж}) / 2, \quad (16)$$

где  $E_{сж}$  — модуль упругости при сжатии материала в плоскости листа.

Таблица 1

Материал	F, мН	l, см	δ, см	σ <sub>раст</sub> , кПа	σ <sub>л</sub> , МПа, при рас- стяже- нии	
						при изгибе
Картон машинного производства с массой 1 м <sup>2</sup> , г:	175	62,5	2,5	0,0295	2,16	19,0
	200	62,5	2,5	0,0370	1,37	17,2
Сульфатная небеленая целлюлоза* со сте- пенью помола, °ШР:	16	3,12	2,5	0,0161	0,15	2,2
	25	3,12	2,5	0,0124	0,25	10,3
	40	3,12	2,5	0,1140	0,30	12,6
	60	3,12	2,5	0,1020	0,38	13,3

\* Образцы лабораторного изготовления с массой 1 м<sup>2</sup> 75 г.

Отметим парадоксальность поведения целлюлозно-бумажных материалов при сжатии в плоскости листа. Под действием напряжений, в 1000 раз меньших тех, при которых на растяжение материал работает упруго, в зоне сжатия, видимо, возникает предельное состояние. Для расчета величины  $n_0$  (см. уравнение (12)) может быть использовано отношение

$$n_0 = E_1/E_{сж}. \quad (17)$$

В табл. 2 приведены уравнения для расчета коэффициентов  $K_1$  —  $K_3$  и значения коэффициентов при фиксированных  $n_0$ , что позволяет получить зависимость  $K = f(n_0)$ , которая изображена на рис. 3.

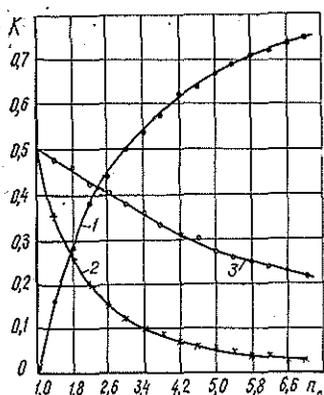
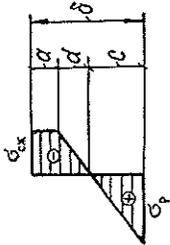


Рис. 3. Диаграмма расчета коэффициентов  $K$  в зависимости от  $n_0$ :  $K_1$  (1);  $K_2$  (2);  $K_3$  (3)

В табл. 3 представлены данные испытаний образцов следующих материалов: картон для гладких слоев гофрированного картона (крафт-лайнер); сульфатная небеленая целлюлоза лабораторного изготовления с массой 1 м<sup>2</sup> 75 г и книжно-журнальная некаландрированная бумага для офсетной печати (1 — хвойная сульфатная целлюлоза + листовенная сульфатная целлюлоза + хвойная химикотермомеханическая масса (ХТММ) + листовенная ХТММ; 2 — листовенная сульфатная целлюлоза + хвойная ХТММ + листовенная ХТММ; 3 — хвойная сульфатная целлюлоза + листовенная сульфатная целлюлоза + хвойная ХТММ + листовенная ХТММ + термомеханическая масса (ТММ); 4 — листовенная сульфатная целлюлоза + хвойная ХТММ + листовенная ХТММ + ТММ;

Таблица 2

Эпюра нормальных напряжений*	Коэф-фици-ент	Значения коэффициентов при $n_0$															
		1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	
	$K_1$	0,17	0,28	0,38	0,44	0,50	0,54	0,58	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71	0,72	0,74	0,75	
	$K_2$	0,35	0,26	0,20	0,15	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
	$K_3$	0,48	0,46	0,42	0,41	0,38	0,36	0,33	0,31	0,30	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22

\*  $E_{сж} = 2 E_{н.т} - E_1$  (18);  $a = \delta \frac{n_0 - 1}{n_0 + 1} = K_1 \delta$  (19);  $d = \delta \frac{2}{(n_0 + 1)^2} = K_2 \delta$  (20);  $c = \delta \frac{2 n_0}{(n_0 + 1)^2} = K_3 \delta$  (21);  
 $n_0 = \sigma_{раст} / \sigma_{сж} = E_1 E_{сж}$  (22)

Таблица 3

Материал	при изгибе					при растяжении				
	$\frac{\delta EI}{\times 10^6} \times \frac{m}{m}$	$\frac{EI}{mH} \times \frac{cm^2}{cm^2}$	$F_{изг}$ , МПа	$F_{ск}$ , МПа	$r_0$	$\frac{a}{\left(\frac{\delta EI}{\times 10^6}\right)} \times \frac{\%}{\%}$	$\frac{\delta E}{\times 10^6} \times \frac{m}{m}$	$\sigma$ , МПа	$F_{II}$ , МПа	
Картон машинного производства с массой 1 м <sup>2</sup> , г:	175	1500,0	4790	4139	1,3	13	251	19,0	5441	
	200	2290,0	3630	2699	1,7	26	342	17,2	4566	
	16	42,8	828	631	1,6	23	179	2,2	1025	
Сульфатная небеленая целлюлоза со степенью помола, °ШР:	25	68,6	2920	666	7,8	77	125	10,3	5174	
	40	72,5	3880	1454	4,3	62	115	12,6	6306	
	60	60,8	4410	2164	3,1	51	106	13,3	6656	
Книжно-журнальная бумага для офсетной печати с композицией по волокну:	1	116	2577	1666	2,1	35	110	13,0	3488	
	2	117	54,0	2700	2084	1,6	126	14,2	3316	
	3	132	68,4	2372	1870	1,5	126	10,9	2874	
	4	111	78,2	4582	4220	1,2	114	17,8	4944	
	5	124	97,8	4058	3811	1,1	125	12,1	4305	

5 — хвойная сульфатная целлюлоза + лиственная сульфатная целлюлоза + хвойная ХТММ). Полученные нами экспериментальные данные показывают, что математический аппарат, разработанный для подвергаемых изгибу упругопластических материалов, можно использовать и для оценки предельного состояния в зоне сжатия при испытании целлюлозно-бумажных материалов на изгиб.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Аким Э. М. Обработка бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 232 с. [2]. Бабурин С. В., Киприанов А. И. Реологические основы процессов целлюлозно-бумажного производства.— М.: Лесн. пром-сть, 1983.— 192 с. [3]. Белаянкин Ф. П. Пластические деформации дерева при изгибе // Тр. 1-й Всесоюз. конф. по прочности

авиаконструкций, 1936. [4]. Беркман Е. М., Вишневецкий С. М., Иоффе Л. О. Словарь целлюлозно-бумажного производства.— М.: Лесн. пром-сть, 1969.— 299 с. [5]. ГОСТ 9582—75. Бумага и картон. Метод определения жесткости при статическом изгибе.— Введ. 01.01.77. Продл. до 01.01.97. [6]. Данилевский В. А. Картонная и бумажная тара.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 216 с. [7]. Ерыхов Б. П. Неразрушающие методы исследования целлюлозно-бумажных и древесных материалов.— М.: Лесн. пром-сть, 1977.— 246 с. [8]. Иоселевич Г. В., Лебедев П. А., Стреляев В. С. Прикладная механика.— М.: Машиностроение, 1985.— 575 с. [9]. Комаров В. И. Исследование жесткости бумаги при изгибе: Дис. ... канд. техн. наук.— Л.: ЛТА, 1972.— 160 с. [10]. Комаров В. И. К вопросу измерения модуля упругости бумаги // Химическая переработка древесины: Науч. тр. ЛТА.— 1972.— № 152.— С. 62—66. [11]. Комаров В. И., Личутина Т. Ф. Влияние производственных процессов на деформационные свойства сульфатной небеленой целлюлозы // Состояние и перспективы развития технологии и оборудования ЦБП: Материалы Всесоюз. научно-техн. конф., 29 сент.— 1 окт. 1981 г.— Л.: ЛТА, 1982.— С. 87. [12]. Комаров В. И., Личутина Т. Ф. Оценка качества сульфатной небеленой целлюлозы // Бум. пром-сть.— 1984.— № 8.— С. 11—12. [13]. Комаров В. И., Фляте Д. М. Определение жесткости бумаги при изгибе // Целлюлоза, бумага и картон.— 1971.— № 30.— С. 11—13. [14]. Комаров В. И., Чижов Г. И., Пузырев С. С. Деформативность механической массы // Бум. пром-сть.— 1989.— № 10.— С. 14—15. [15]. Конопов Б. Е., Ландау Г. Е., Погребов Е. М. Гофрированный картон.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 216 с. [16]. Макклиток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение материалов.— М.: Мир, 1970.— 443 с. [17]. Остреров М. Н. и др. Факторы, определяющие качество прохождения бумаги через печатную машину // Целлюлоза, бумага, картон.— 1993.— № 1.— С. 26—27. [18]. Пановко Я. Г. К расчету деревянных изгибаемых элементов с учетом пластических деформаций в сжатой зоне // Тр. МАДИ.— 1937.— № 7.— С. 78—91. [19]. Силенко П. Н. Динамика бумажного листа в транспортных системах полиграфических машин: Дис. ... докт. техн. наук.— М.: МГАП, 1993.— 161 с. [20]. Тимошенко С. П. Теория упругости.— Л.; М.: ОНТИ, 1937. [21]. Фляте Д. М. Свойства бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 680 с. [22]. Фролов М. В. Структурная механика бумаги.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 272 с. [23]. Яценко В. Ф. Прочность и ползучесть слоистых пластинок (сжатие, растяжение, изгиб).— Киев: Наукова Думка, 1966.— 204 с. [24]. Brecht W., Blicstad F. // Papierfabrikant.— 1940.— Vol. 38.— S. 17. [25]. Brecht W., Muller F. Ueber die Steifigkeitsprüfung von Papier, Karton und Pappen // Das Papier.— 1960.— Vol. 14.— S. 7—9. [26]. Kleinert R. Steifigkeitsmessverfahren für Papier, Karton und Pappe // Zellstoff und Papier.— 1971.— N 8.— S. 228—232. [27]. Paper Testing and Process Optimization // Catalog 1994.— Lorentzen and Weitre, 1994.— 201 p.

Поступила 21 марта 1994 г.

УДК 547.992.3 : 541.64

Т. Э. СКРЕБЕЦ, А. Ю. ГУРЬЕВ, Н. В. РЯБЕВА, К. Г. БОГОЛИЦЫН

Архангельский государственный технический университет

## ТЕРМОДИНАМИКА ПОВЕДЕНИЯ ЛИГНИНА В РАСТВОРИТЕЛЯХ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Проведен аналитический обзор современных литературных данных по термодинамике взаимодействия различных препаратов лигнина с неорганическими, смешанными и органическими растворителями.

An analytical study into modern publication data on the thermodynamics of interaction between different lignin preparations and inorganic, mixed and organic solvents has been carried out.

Для интенсификации процессов делигнификации древесины растворителями различной природы, сознательного и рационального выбора растворителя для лигнина необходимы данные о характере взаимодействия лигнина как полифункционального компонента древесины с неорганическими, органическими и смешанными растворителями. Объективную, независимую от гипотез и моделей, картину поведения таких

систем может дать их характеристика с помощью основных термодинамических функций (энтальпии, энергии Гиббса и энтропии) и других термодинамических параметров.

### *Особенности лигнина, обусловленные его природой*

Природный лигнин, представляющий из себя трехмерный сетчатый полимер, должен подчиняться общим закономерностям образования и существования высокомолекулярных соединений, в том числе, и закономерностям взаимодействия с низкомолекулярными жидкостями (растворителями). Образование растворов лигнина связано с процессами адсорбции, набухания, сольватации, ассоциации и др. Применяя к ним законы термодинамики, можно оценивать термодинамическое сродство растворителя к полимеру, понять причины сродства, определить температурные границы термодинамической устойчивости бинарной системы полимер — растворитель и связать термодинамические параметры растворения со структурой полимера (фазовым состоянием, молекулярной массой, гибкостью цепей и др.). Однако лигнин является одним из наиболее трудных для изучения природных полимеров вследствие того, что в результате его биогенеза происходит образование полифенольных разветвленных полимеров, не имеющих регулярного чередования повторяющихся единиц в отличие, например, от целлюлозы или белков [17]. Любой из выделенных препаратов лигнина отличается от лигнина в древесине (протолигнина), поскольку последний входит в состав сложного комплекса клеточной стенки, неоднородного как по морфологической и субмикроскопической структуре, так и по характеру взаимосвязи компонентов на молекулярном и надмолекулярном уровнях [8].

Лигнин является многофункциональным полимером, содержащим различные функциональные группы: ароматические кольца, гидроксильные, карбонильные, винильные группы, простые эфирные группы и др., состав которых зависит от многих факторов [9]. Поскольку макромолекула лигнина обладает трехмерной пространственной структурой, то различные функциональные группы могут быть в разной степени доступны для реагирующего агента, в том числе и растворителя.

Еще одной особенностью лигнина как полимера является тот факт, что лигнин обладает свойствами полиэлектролита.

Таким образом, перечисленные особенности лигнина, характеризующие его как пространственный гетероцепной хаотически смешанный природный полимер [8], в значительной степени должны влиять на термодинамику поведения его в различных растворителях.

### *Растворители лигнина*

Известные и применяемые в настоящее время растворители лигнина можно подразделить на две большие группы.

Первая группа растворителей, используемых в процессе делигнификации древесины, включает в себя неорганические и смешанные растворители: водные растворы гидроксида, сульфида, карбоната и сульфита натрия, оксида серы (IV), а также смеси вода — этанол, вода — уксусная кислота и др. [10, 17]. Процесс растворения лигнина в этом случае влечет за собой деструкцию и, зачастую, химическое взаимодействие протолигнина с растворителем. Регенерированные из растворов препараты лигнина значительно отличаются от лигнина в древесине как по физическим, так и по химическим свойствам.

Ко второй группе растворителей, применяющихся для выделения лигнина из древесины с целью получения его малоизмененных препаратов, относятся органические растворители: диоксан, диметилформамид (ДМФА), диметилсульфоксид (ДМСО), спирты и др. [3]. Раство-

ренный в них лигнин может сохранять близкие к протолигнину физико-химические свойства. Однако, как правило, эти «мягкие» реагенты способны растворить небольшую часть лигнина, находящегося в древесине.

*Основные термодинамические характеристики системы лигнин — растворитель и структура лигнина*

Для получения полной термодинамической картины бинарной системы лигнин — растворитель необходимо определить значения трех основных параметров, характеризующих состояние этой системы: изменение энтальпии ( $\Delta H$ ), изменение свободной энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) и изменение энтропии ( $\Delta S$ ). Первая попытка была предпринята Брауном [21] в 1967 г. для сульфатного лигнина в ДМСО, ДМФА, диоксане. Однако значения искомым параметрам были им найдены не по экспериментально измеренным тепловым эффектам взаимодействия лигнина с растворителями, а из величин логарифмов активностей растворителей.

К. П. Мищенко с сотрудниками применили [12, 13] принципиально иной подход. Изучая энергетику взаимодействия сульфатного и медно-аммиачного лигнина, а также диоксанлигнина с диоксаном при температуре 25 °С [13], они впервые использовали калориметрический метод для измерения тепловых эффектов в такого рода системах и показали, что он достаточно чувствителен и точен. Ими установлено, что растворимые в диоксане сульфатный лигнин и диоксанлигнин имеют аналогичные зависимости теплот взаимодействия от массовой доли лигнина: экзотермичность процесса возрастает с увеличением содержания диоксана в системе до концентрации, при которой происходит образование энергетически насыщенного сольватного слоя. Для нерастворимого в диоксане медно-аммиачного лигнина экзотермичность процесса возрастает незначительно при добавлении малых количеств диоксана, но если доля лигнина в смеси составит 0,9, процесс становится эндотермичным. Поскольку измеренные тепловые эффекты взаимодействия являются суммарными величинами, трудно четко представить роль каждого компонента и структурные изменения в системе, располагая только  $\Delta H$ . Поэтому уже в первых работах [12, 13] для получения полной термодинамической характеристики системы лигнин — растворитель кроме калориметрии использован метод статической сорбции паров растворителя [15], позволяющий на основании экспериментальных данных рассчитывать  $\Delta G$  (растворитель — диоксан [12]). Затем получали  $\Delta S$  из известного уравнения

$$\Delta H = \Delta G - T\Delta S,$$

где  $T$  — температура, К.

На рис. 1 показаны зависимости изменения основных термодинамических параметров системы лигнин — растворитель от состава. Для системы сульфатный лигнин — диоксан (рис. 1, а) все кривые, отражающие изменение термодинамических функций, лежат в отрицательной области. Это указывает на самопроизвольность процесса растворения сульфатного лигнина в диоксане. Медно-аммиачный лигнин нерастворим в диоксане, и из рис. 1, б видно, что экзотермичный процесс имеет место при добавлении к лигнину небольших (до массовой доли 0,2) количеств диоксана. Проникновение значительных количеств растворителя в плотную трехмерную структуру медно-аммиачного лигнина сопровождается поглощением энергии (увеличением энтальпии). Таким образом, данные работ [12, 13] наглядно показывают, что в системах с одним и тем же растворителем (в данном случае диоксаном) структура лигнина существенно влияет на изменение термодинамических пара-

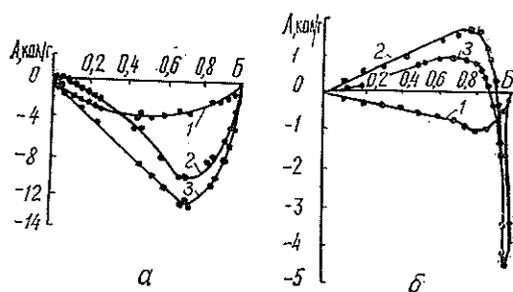


Рис. 1. Зависимости изменения свободной энергии Гиббса  $\Delta G$  (1), энтропии  $\Delta S$  (2) и энтальпии  $\Delta H$  (3) смещения диоксиана и лигнина от состава в системах сульфатный лигнин — диоксан (а) и медно-аммиачный лигнин — диоксан (б) (по оси А —  $\Delta H$ ,  $T\Delta S$ ,  $\Delta G$ ; Б — состав системы в весовых долях)

метров. Экзотермичность процесса взаимодействия разных типов лигнина с диоксаном возрастает при увеличении содержания в них фенольных и карбоксильных групп (соответственно 3,24 и 2,26 мг-экв/г для сульфатного и 1,74 и 0,00 мг-экв/г для медно-аммиачного лигнина).

Такой же вывод был сделан при исследовании взаимодействия технических лигнинов с водой [2], оценка которого была также проведена калориметрическим методом и по изотермам сорбции паров (табл. 1).

Таблица 1  
Функциональный состав и энтальпия взаимодействия с водой технических лигнинов [6]

Образец	Массовая доля функциональных групп, %			— $\Delta H$ , кДж/кг
	Кислые	Карбоксильные	Фенольные	
ШСВ-БИ-81С	11,4	2,2	9,2	59,4
Л-63	9,5	1,2	8,3	69,8
ГЛ	2,4	0,0	2,4	47,4
Л-ШСВ-БС-77-ПН <sub>3</sub> -80	12,3	3,0	9,3	80,6

В табл. 1 использованы следующие обозначения: ШСВ-БИ-81С — шлам, полученный при биохимической очистке сточных вод сульфатцеллюлозного производства Байкальского завода; Л-63 — сульфатный лигнин, выделенный из черного щелока углекислотой под давлением; ГЛ — гидролизный лигнин; Л-ШСВ-БС-77-ПН<sub>3</sub>-80 — лигнин, выделенный из шлама сточных вод путем дополнительных обработок с целью освобождения от волокна и минеральных веществ.

Исследование взаимодействия лигнина механического размола (ЛМР восстановленный и метилированный) и моделей веществ с водными растворами NaOH показывает [20], что в этом случае основными реагирующими группами являются также спиртовые и фенольные гидроксилы. В реакциях лигнина, не содержащего фенольных и спиртовых OH-групп, наблюдается довольно значительный тепловой эффект (—59,0 кДж/кг) [19]. Авторы объясняют это вкладом в энтальпию процесса карбонильных групп эфирного кислорода, а также конформационными и конфигурационными изменениями макромолекулы лигнина, которая в растворе приобретает высокую подвижность и может реализовывать большее число микросостояний. Подтвердив известные данные [5, 25] о том, что процесс взаимодействия ЛМР с водными растворами NaOH при температуре 25...46 °С имеет «кинетический» характер и протекает в две стадии, авторы [20], однако, не смогли по измеренным тепловым эффектам предложить корректную схему взаимодействия

лигнина с растворителем. Они нашли, что первая (быстрая) стадия взаимодействия является обратимой, и объяснили ее образованием фенолята. Вторая (медленная) необратимая стадия, продолжающаяся более 24 ч, по мнению авторов, включает в себя не только химические процессы, но и изменение физической структуры глобулы лигнина.

В работе [6] также отмечается, что при изучении процессов взаимодействия лигнина с различными растворителями надо учитывать кинетические факторы, которые позволяют получить более строгую картину многостадийного процесса.

В. М. Резников с соавторами [18] предлагает рассматривать растворимость лигнина как функцию содержания кислорода.

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что структура лигнина, его функциональный состав бесспорно относятся к одним из основных факторов, от которых зависит термодинамика поведения его в растворителях.

### Термодинамическое качество растворителей лигнина

Термодинамическое качество растворителя определяется величиной термодинамического сродства его к полимеру [16], в данном случае к лигнину. Критериями термодинамического сродства, а следовательно, и направленности процесса, являются свободная энергия Гиббса смешения ( $\Delta G$ ) и химический потенциал ( $\Delta\mu_i$ ). Причем  $\Delta G < 0$ ,  $\Delta\mu_i < 0$  и чем больше абсолютные значения этих величин, тем больше термодинамическое сродство между полимером и растворителем и, соответственно, выше термодинамическое качество растворителя.

Мерой термодинамического сродства растворителя к полимеру служат второй вириальный коэффициент  $A_2$ , связанный с осмотическим давлением раствора  $\pi$  и  $\Delta\mu_i$  [16], и параметр взаимодействия Флори-Хаггинса  $\chi_1$ . Идеальный растворитель имеет  $A_2 = 0$ ,  $\chi_1 = 0,5$ , хороший —  $A_2 > 0$ ,  $\chi_1 < 0,5$ , плохой —  $A_2 < 0$ ,  $\chi_1 > 0,5$ .

В ранних работах [23, 24] было установлено, что растворяющая способность растворителя по отношению к лигнину — функция плотности энергии когезии и способности растворителя к образованию водородных связей. Шурх [24] определил, что максимальная растворяющая способность наблюдается у растворителей, параметр Гильдебранда [22] которых, определяемый как корень квадратный из величины плотности энергии когезии, равен  $10 \dots 11$  (кал/см<sup>3</sup>)<sup>0,5</sup>. В этом диапазоне растворяющая способность по отношению к лигнину увеличивается с ростом тенденции растворителя к образованию водородных связей, мерой которой служит сдвиг в ИК-спектре полосы — ОД при смешении растворителя с СН<sub>3</sub>ОД [23]. Однако впоследствии было высказано предположение [12, 21] о недостаточности параметра Гильдебранда для характеристики растворимости лигнина, поскольку термодинамические пара-

Т а б л и ц а 2

Молекулярные массы  
и вторые вириальные коэффициенты  
в растворах крафт-лигнина [21]

Растворитель	$\bar{M}_n$	$A_2 \cdot 10^4$
Диоксан	1520/1920	0,7/отрицат.
Диметилформамид	990/980	4,5/2,5
Диметилсульфоксид	740/860	12,5/8,5

Примечание. В числителе данные при температуре 65 °С, в знаменателе — 39 °С.

метры растворения определяются скорее изменениями в структуре растворителя, чем природой взаимодействия лигнина — растворитель.

Браун [21] рассчитал вторые вириальные коэффициенты, характеризующие взаимодействие сульфатного лигнина с ДМСО, ДМФА и диоксаном. Сравнение  $A_2$  с молекулярными массами  $\bar{M}_2$ , определенными в соответствующих растворителях (табл. 2), показывает, что если растворитель становится «лучше», то ассоциация лигнина уменьшается. Это, в свою очередь, приводит к снижению молекулярной массы. Здесь же рассчитан параметр  $\chi_1$  для тех же растворителей. Из рис. 2 видно, что  $\chi_1$  зависит от концентрации лигнина в растворе. Для ДМСО и ДМФА эти зависимости идентичны и при максимальной исследованной концентрации лигнина практически приближаются к 0,5. Для диоксана  $\chi_1 < 0,5$  только при малых концентрациях лигнина, но с ростом концентрации параметр  $\chi_1$  превышает это значение.

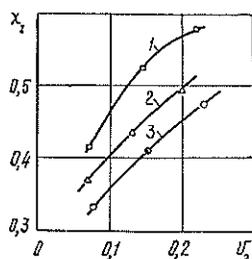


Рис. 2. Параметр взаимодействия Флори — Хаггинса как функция объемной доли  $v_2$  лигнина в различных растворителях; 1 — диоксан; 2 — ДМФА; 3 — ДМСО

Таким образом, термодинамическое качество растворителя для лигнина в ряду ДМСО > ДМФА > диоксан ухудшается, что подтверждают рассчитанные значения  $A_2$  и  $\chi_1$ . Это объясняется природой растворителя, в частности, диэлектрической проницаемостью и дипольным моментом [14], которые обусловлены строением молекулы.

Оценка термодинамического качества ДМФА и диоксана для диоксанлигнина, проведенная при исследовании температурной зависимости характеристической вязкости растворов лигнина, также показала, что лучшим растворителем для лигнина является ДМФА [1], причем, с повышением температуры качество обоих растворителей ухудшается, так как ДМФА — лигнин и диоксан — лигнин относятся к системам, характеризующимся нижней критической температурой растворения. То же самое можно сказать и о системе ДМСО — лигнин [7]. Полученные значения второго вириального коэффициента показывают, что ДМСО явля-

Таблица 3

Донорные числа  
и энтальпии взаимодействия щелочного  
лигнина с органическими  
растворителями при температуре 298 К [19]

Растворитель	$DN \text{ SbCl}_5$	$-\Delta H,$ кДж/кг
Нитрометан	2,7	49,4
Ацетонитрил	14,1	65,3
Метиловый спирт	18,9	60,7
Ацетон	17,0	69,1
Диоксан	20,0	77,0
Диметилформамид	26,6	118,5
Диметилсульфоксид	29,8	102,6
Пиридин	33,1	119,3
Этилендиамин	50,0	304,4

ется хорошим растворителем для лигнина, однако добавка даже небольшого (до 5 % масс.) количества воды резко ухудшает его качество ( $A_2$  становится величиной отрицательной).

Следовательно, можно сказать, что способность растворителей к растворению лигнина определяется электронодонорно-акцепторными свойствами системы. Еще одним доказательством этому служит полученная в работах [4, 19] корреляция между энтальпией взаимодействия лигнина с растворителями и величиной донорного числа ( $DN_{sbCl_5}$ ) [11] растворителя. Обнаружено, что при взаимодействии лигнина с полярными растворителями  $\Delta H$  по абсолютной величине возрастает в ряду ацетон < диоксан < ДМФА < пиридин < этилендиамин (табл. 3). Если  $DN_{sbCl_5} < 20$ , то  $\Delta H$  мало зависит от природы растворителя и определяется, по-видимому, влиянием его на конформационные и конфигурационные характеристики лигнина. Смещение лигнина со стерически затрудненными и малополярными растворителями (изопропиловый и *n*-бутиловый спирты, бутилацетат, толуол) сопровождается незначительными тепловыми эффектами. Растворимость лигнина в них мала, очевидно, из-за плохой совместимости компонентов.

### Выводы

1. Структура и функциональный состав лигнина являются одним из основных факторов, определяющих термодинамику поведения его в различных растворителях, однако экспериментальные попытки доказать это положение имеют частный характер и не позволяют систематизировать имеющийся материал.

2. Взаимодействие лигнина с растворителем определяется электронодонорно-акцепторными свойствами системы. Термодинамическое качество растворителя для лигнина тем выше, чем более он полярен. Корреляция  $\Delta H$  лигнина с величиной донорного числа растворителя позволяет разработать шкалу термодинамического качества растворителей для различных препаратов лигнина.

3. Для характеристики взаимодействия лигнина с растворителем недостаточно знать изменение какой-либо одной термодинамической функции: необходимо располагать данными об изменении всех основных термодинамических функций ( $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$ ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Влияние температуры на термодинамические свойства растворов лигнина / А. П. Карманов, В. Ю. Беляев, В. Д. Давыдов, В. А. Демин // Химия древесины.— 1991.— № 1.— С. 69—73.
- [2]. Влияние фенольных и карбоксильных групп лигнина на его термодинамические свойства / И. И. Осовская, И. В. Кудрявцева, А. Д. Иванченко и др. // Международ. конф. «Проблемы окислительно-восстановительных превращений компонентов древесины», 9—12 июня 1992 г.: Тез. докл.— Архангельск, 1992.— С. 101—102.
- [3]. Грушников Ю. П., Елкин В. В. Достижения и проблемы химии лигнина.— М.: Наука, 1973.— 296 с.
- [4]. Гутман В. Химия координационных соединений в неводных растворах / Под ред. К. Б. Яцимирского; Пер. с англ.— М.: Химия, 1971.— 220 с.
- [5]. Исследование кинетики процесса поглощения щелочи диоксан-лигнином / Г. В. Чуйко, Э. И. Чупка, А. В. Оболенская, В. М. Никитин // Химия древесины.— 1971.— Вып. 10.— С. 133—136.
- [6]. Калориметрическое исследование взаимодействия целлюлозы и лигнина с растворителями / Г. М. Полторацкий, В. Е. Гусев, Н. Н. Волкова и др. // Десятое всесоюз. совещание по термическому анализу, Ленинград, сент. 1989 г.: Тез. докл.— Л., 1989.— С. 163.
- [7]. Карманов А. П., Давыдов В. Д., Богомолов Б. Д. Свойства разбавленных растворов и структурные особенности некоторых препаратов лигнина // Химия древесины.— 1981.— № 4.— С. 50—57.
- [8]. Клеточная стенка древесины и ее изменения при химическом воздействии.— Рига: Зинатне, 1972.— 510 с.
- [9]. Лигнины (структура, свойства и реакции) / Под ред. К. В. Сарканена и К. Л. Людвиг; Пер. с англ.— М.: Лесн. пром-сть, 1975.— 632 с.
- [10]. Непенни Н. Н. Технологии целлюлозы.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— Т. 1.— 625 с.
- [11]. Особенности сольватации лигнина, лигносульфонатов, гуминовых кислот / А. П. Гурбатова, Е. П. Коновалова,

Г. В. Наумова и др. // Шестая всесоюз. конф. по термодинамике орган. соединений, Минск, 24—26 апреля 1990 г.: Тез. докл.—Минск, 1990.—С. 236. [12]. Пилюгина Л. Г., Васильева Т. М., Мищенко К. П. Взаимодействие сульфатного и медно-аммиачного лигнинов с диоксаном при 25° // Журн. приклад. химии.—1972.—№ 9.—С. 2017—2023. [13]. Пилюгина Л. Г., Васильева Т. М., Мищенко К. П. О возможности применения калориметрического метода исследования при взаимодействии лигнина с органическими растворителями // Современные методы исследования в химии лигнина: Материалы Всесоюз. семинара, Архангельск, 3—7 июля 1968 г.—Архангельск, 1970.—С. 93—99. [14]. Справочник химика.—М.: Химия, 1964.—Т. 2.—1168 с. [15]. Тагер А. А. Термодинамическая устойчивость систем полимер—растворитель и полимер—полимер // Высокомолекулярные соединения.—1972.—Т. 14 (А), № 12.—С. 2690—2706. [16]. Тагер А. А. Физикохимия полимеров.—М.: Химия, 1978.—544 с. [17]. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина: химия, ультраструктура, реакции.—М.: Лесн. пром-сть, 1988.—512 с. [18]. Шорыгина Н. Н., Резников В. М., Елкин В. В. Реакционная способность лигнина.—М.: Наука, 1976.—368 с. [19]. Энтальпии взаимодействия лигнина с органическими растворителями / Г. М. Тельшева, В. Г. Цветков, Г. Н. Лебедева, Е. П. Коновалова // Химия древесины.—1987.—№ 2.—С. 81—83. [20]. Якобсон М. К., Эрншь П. П., Закис Г. Ф. Микрокалориметрическое исследование взаимодействия лигнина механического размола березовой древесины с растворами щелочи // Химия древесины.—1976.—№ 2.—С. 88—95. [21]. Brown W. Solution properties of lignin. Thermodynamic properties and molecular weight determination // J. Appl. Pol. Sc.—1967.—Vol. 11.—P. 2381—2396. [22]. Hildebrandt J. H., Scott R. L. The solubility of nonelectrolytes.—Reinhold: N. Y., 1950.—378 p. [23]. Lindberg J. J. The physicochemical properties of thioliignins and related compounds. 1. H-bond formation of spruce thioliignins and some monomeric quaiacyl derivatives in dioxane-carbon tetrachloride mixtures // Paper Timber.—1955.—V. 5.—P. 206—208. [24]. Schuerch C. Fr. The solvent properties of liquids and their relation to the solubility, swelling, isolation and fractionation of lignin // J. Am. Chem. Soc.—1952.—Vol. 74.—P. 5061—5067. [25]. Screation R. M., Mason S. G. Sorption of alkali on spruce lignin, holocellulose and wood // Svensk papperstidn.—1957.—H. 60, N 10.—P. 379—387.

Поступила 10 января 1994 г.

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.155 : 630\*378.3

Е. С. РОМАНОВ

Архангельский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДА К РЫНОЧНЫМ ОТНОШЕНИЯМ  
НА ЛЕСОСПЛАВЕ

Показаны изменения в договорных отношениях поставщиков сплавной древесины с речным флотом и формировании тарифов, а также ситуация в леспромхозах, которые не могут обойтись без лесосплава.

The changes in contract relations of floating timber suppliers and inland water transport have been revealed. These changes also include tariff formation as well as the situation in industrial forestries that cannot do without timber-rafting.

До 1990 г. в лесной промышленности СССР, включая лесосплав, особую роль играли цены франко-вагон станция назначения и франко-пункт приплава. Они были усредненными. Расстояние доставки продукции до покупателя не влияло на выручку отправителя (леспромхоз, сплавконтора), который оплачивал тариф за фактическое расстояние, но затем получал возмещение.

Предприятие, ставшее самостоятельным, отгружая продукцию покупателю, перекладывает на него оплату транспорта. Но при известном увеличении расстояния и стоимости перевозки покупатель вообще может отказаться от приобретения лесопродукции.

Сплавная древесина, доставленная речным флотом, например в Архангельск, теперь имеет разную стоимость в зависимости от того, где она была сдана речфлоту для буксировки. Рентабельность сплавных леспромхозов, расположенных по р. Северной Двине, тем ниже, чем выше по течению реки леспромхозы сдают лес для проплава. Возникает ситуация с образованием дифференциальной ренты. При некоторых расстояниях проплава сплавная древесина будет неконкурентоспособной по сравнению с сухопутной. Все это подорвет лесосплав и леспромхозы, примыкающие к сплавным рекам, а заодно и речной флот лишится перевозок. Снабжение сырьем крупных лесоперерабатывающих предприятий в устьях Северной Двины, Онеги, Вычегды и других рек еще более осложнится.

Можно предположить, что такая специфическая отрасль, как лесосплав, не может обойтись без государственного регулирования цен, кредитных льгот и др. Далее рассмотрена современная ситуация в звеньях лесосплавного процесса на примере Северной Двины.

Многие десятилетия Северолес (в 1992 г. концерн, с 1993 г. — акционерная компания) и Северное речное пароходство (СРП) ежегодно в апреле заключали «Навигационный договор на буксировку древесины в плотах в Северодвинском бассейне». Ниже приведено краткое содержание договора.

Грузоотправителями являются предприятия, которые самостоятельно ведут все расчеты за буксировку древесины. В 1992 г. это были: 10 леспромхозов\* (по Вычегде — 3, Северной Двине — 6, Пинеге — 1),

\* В дальнейшем предприятия названы леспромхозами (ЛПХ), сплавконторами (СПК), а не комплексными ЛПХ, комплексными лесосплавными предприятиями (КЛСП) ради упрощения и потому, что в 1992—1993 гг. они, даже формально, уже не были комплексными.

4 сплавконторы, 3 объединения (Котласлес, Верхнетоемсклес, Двинослав), а в 1993 г. — 11 леспромхозов и 5 сплавконтор, которые «делегировали акционерной компании право на заключение договора».

В договоре указывают объемы буксировки (в тоннах) всего и по грузоотправителям и выделяют объемы мая. В 1992 г. общий объем по договору был 1946, в 1993 г. — 1425 тыс. т, в мае 905 и 907 тыс. т.

Стороны принимают график предъявления плотов зимней сплотки. Плоты отбуксировываются по акцептованным декадным заявкам. Перед этим их предъявляют к осмотру, составляя накладную со сводными спецификациями на древесину и такелаж, схемами расположения секций и такелажа; оформляют акты осмотра. Время приема паромом плота к буксировке фиксируется только после внесения ему платы за провоз и сборов.

Поскольку плоты идут без проводников (плотоагентов) и на них нет средств управления, Северолес принимает на себя возмещение паромодству его расходов по прохождению трудных участков, остановкам и т. п. Вывод плота на судовой ход оплачивает его владелец (отправитель) по ставкам аренды флота. Оговариваются условия ремонта плотов, несения на них сигналов. Определяются пункты отстоя при шторах и для временной передержки плотов (в целях более равномерной работы флота).

Приречные предприятия Северолеса (сплавконторы, леспромхозы) обязаны непрерывно (без выходных дней) по требованию СРП производить ремонт плотов на трассе независимо от того, кто является конкретным отправителем плота. За предприятиями-участниками договора закреплены дистанции рек для ликвидации аварий (указаны границы). Сбор и вылов аварийной древесины входят в обязанности Северолеса. Затраты на ремонт плота получателем в конечном пункте приплыва паромодство оплачивает получателю по его калькуляции.

Места и другие условия постановки плотов регулируются договором порта (Архангельского, Котласского) с получателями плотов, а в Архангельске также с Беломорской СПК, которая занимается постановкой плотов ЛДК, ЦБК, лесобазам и др.

В договоре 1992 г. была определена материальная ответственность паромодства за потери древесины по его вине. Расчеты за буксировку производились по согласованному тарифам.

В заключение в договоре — 1992 было сказано, что концерн Северолес «передает исполнение» этого договора «своим предприятиям, которые непосредственно занимаются с паромодством всеми вопросами и несут в полном объеме ответственность».

В апреле 1993 г. вместо развернутого договора было принято соглашение о продолжении прошлогоднего договора с изменениями и уточнениями. Были исключены параграфы, в которых предусматривалось возмещение отправителями расходов на содержание контрольной тяги, сигнальные фонари, а также ответственность сторон за невыполнение планов. Если за древесину, сданную и принятую по акту на месте аварии, а также всю разнесенную, не подтвержденную актами сдачи, до 1992 г. предусматривались твердые ставки возмещения паромодством, то в 1993 г. — возмещение «по фактическим затратам на освоение этой древесины с представлением паромодству сметы расходов».

Из приведенного видно, что:

договор — 1992 был чисто хозрасчетным документом, хотя и принят 16 апреля, т. е. уже после либерализации цен и целого квартала работы в новых условиях вхождения в рынок;

договор — 1993, формально не отменяя прежних подходов, не внес ничего нового, как будто навигация 1992 г. и I квартал 1993 г. не дали никаких уроков. Это объясняется, скорее всего, тем, что одна из

сторон — Северолес — оказалась, по-существу, «не у дел», а предприятия не готовы в отдельности ставить условия пароходству.

В отношениях с пароходством особую роль играют тарифы на буксировку плотов. В 1990 г. был введен очередной, обновленный Прейскурант № 14-01 тарифов на речные перевозки, в котором видное место отведено буксировке плотов. Схема поиска тарифа в прейскуранте такова.

По справочнику расстояний между пунктами начала буксировки и приплава находят расстояние для конкретного плота, например, от запани Рочегда до Архангельска — 347 км. По типу и габаритам плота определяют его объем. Пусть его длина 415 м, ширина 80, осадка 1,5 м, коэффициент полнодревесности для сортиментов 0,39 (для хлыстов 0,35). Отсюда объем плота 19 422 м («тарифная норма»).

По указателю схем находят, что для магистральной реки (здесь — Северная Двина; реки Пинега, Вага, Онега по прейскуранту считаются малыми) при объеме плота более 10 000 м<sup>3</sup> в Северном речном пароходстве тариф следует принимать по схеме 5. По этой схеме при длине плота от 301 до 450 м тариф равен 41 к./м<sup>3</sup>, а за весь плот 7963 р. Для такого же плота, но из хлыстов, тариф следует принять «на две схемы выше», т. е. по схеме 7 — 49 к./м<sup>3</sup>.

Очевидно, что тарифы даже по тому времени были низкими. В 1991 г. их повышали в рамках прейскуранта: до 01.08.91 г. добавляли 2 схемы, затем уже 9 схем. В 1992 г. увеличение шло по сравнению с тарифами после 01.08.91 г. кратно: с 18.03.92 г. в 6 раз, с 18.05.92 г. еще в 2 раза, с 01.10.92 г. еще в 2,5 раза. На навигацию 1993 г. был установлен повышающий коэффициент 280 к тарифам Прейскуранта № 14-01. Так, для нашего примера тариф 1993 г. равен  $0,41 \cdot 280 = 114,8$  р./м<sup>3</sup>, а за буксировку плота 2 229 645 руб.

Следует оговориться, что коэффициентом 280 учтены и те расходы, которые прежде Северолес возмещал пароходству сверх тарифа: за контрольную тягу, по сигнальным фонарям и др., т. е. фактическое увеличение было несколько меньше 280 раз.

Таким образом, в 1991—1993 гг. тарифы строились так же, хотя и были резко увеличены. Освоение же аварийной (по вине пароходства) древесины возмещалось не по ставкам, а по фактическим затратам, но с представлением смет. Эти отношения несут на себе явные следы перехода от одной системы к другой. В перспективе расчеты будут, по-видимому, все более индивидуализированными (между пароходством и каждым грузополучателем).

В Архангельской области есть ряд леспромхозов, которые в силу большой удаленности от железных дорог не могут в ближайшее время самостоятельно, без сплава, выйти на рынки. К их числу относятся леспромхозы Верхнетоемсклес. Еще недавно, в 1989—1990 гг., они поставляли свыше 1,2 млн м<sup>3</sup> древесины ежегодно. Однако и тогда у них наметился спад объемов производства: в 1989 г. — 7,0; в 1990 — 4,5; в 1991 — 16,0; в 1992 — 4,5 %. Как видно, причиной спада был не «рынок»; более того, в первом году реальных реформ (1992 г.) спад даже несколько замедлился. Застойные явления в экономике СССР, низкая эффективность новой техники, ее высокая капиталоемкость, падение трудовой и технологической дисциплины — все это началось задолго до рыночных реформ. Вместе с сокращением молевого сплава это ставило предприятия Верхнетоемсклес в сложное положение.

В 1992 г. Верхнетоемсклес был преобразован в одноименное акционерное общество открытого типа. Его учредителями стали Архангельский областной комитет по управлению имуществом и шесть предприятий района. Правление АО состоит всего из 18 человек; имеются только два отдела — финансовый и материально-технического снабжения; закрыты даже производственный и экономический отделы.

Передав леспромхозам все функции по организации производства, руководство АО сосредоточилось на реализации и снабжении. В отделе МТС 10 человек — более половины аппарата; есть представители в Архангельске, Котласе. По-видимому, именно это привлекает леспромхозы остаться в АО.

Реализация продукции — самая «рыночная» функция. Удаленные от покупателей леспромхозы, даже имея отличную продукцию, могут не продать ее по высоким ценам. Верхнетоемские леспромхозы — традиционные поставщики хвойных балансов Архангельскому ЦБК, но их не устраивают цены комбината. Еще менее выгодные условия предлагают лесозаготовителям покупатели фанерного сырья. В том и другом случаях возможно прекращение поставок.

Считается, что лесопильным заводам Архангельска остро не хватает пиловочника, однако лишь три завода заключили контракты с Верхнетоемсклесом. Вероятно, есть более выгодные для лесопильщиков, хотя и не всегда солидные, каналы (распиловка давальческого сырья и т. п.). Сказываются нежелание делиться с лесозаготовителями валютой и другие факторы. Становится очевидным, что прежние хозяйственные связи, о разрушении которых сожалеют противники реформ, были неестественными, навязанными силой административного режима.

Весьма удаленные от железных дорог леспромхозы все же решаются на постройку своих автодорог для перевозки готовой лесопродукции на станции МПС. Необходимо предостеречь лесозаготовителей: они, на наш взгляд, преувеличивают спрос на свою продукцию. С добавлением расходов на перевозку к станции она может оказаться убыточной, а бюджетная поддержка рано или поздно прекратится.

Характерная ситуация складывается на крупнейшей молевой реке Архангельской области — Пинеге. Областная комиссия по чрезвычайным обстоятельствам своим постановлением от 3 февраля 1993 г. разрешила проводить молевой сплав по Пинеге еще в течение 1993—1995 гг. На эти цели в навигацию 1993 г. выделен целевой беспроцентный кредит Холмогорской сплавконтуре и беспроцентная квота на поставку 1 млн м<sup>3</sup> экспортной деловой древесины.

В молевом сплаве по Пинеге участвовали шесть леспромхозов: Выйский, Сосновский, Лавельский, Карпогорский, Усть-Покшеньгский, Пинежский. Древесину принимала в устье Пинеге Холмогорская сплавконтра. С переходом на договорные цены, а затем и их либерализацией Лавельский, Усть-Покшеньгский и Пинежский леспромхозы, а затем и Карпогорский переключились на вывозку к железной дороге с целью установить прямые контакты с покупателями. Два леспромхоза — Выйский и Сосновский — не последовали их примеру, по-видимому, только потому, что технически и экономически не имеют такой возможности.

Леспромхозам и сплавконтрамам следует стать акционерами крупных лесопереработчиков: ЦБК, ЛДК, а также лесобаз. При этом каждый леспромхоз, сплавконтрама может состоять в нескольких АО.

Существование АК Северолес как органа, стоящего над всеми, большинством или какой-то совокупностью предприятий лесного комплекса, возможно лишь при условии, если Северолес докажет предприятиям, что решать те или иные вопросы (проектирование, капитальное строительство, снабжение, а может быть, и реализация) через него выгоднее, чем без него. Этот вопрос надо решать непременно «снизу», привлекая предприятия, собирая их вокруг себя, а не путем российских актов или указов «сверху». Именно здесь, в формировании оргструктур, должно проявиться преимущество экономических методов перед административно-распорядительными.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 533.6

Э. Н. САБУРОВ, А. Н. ОРЕХОВ

Архангельский государственный технический университет

РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЦИКЛОННЫХ КАМЕР БОЛЬШОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДЛИНЫ

Приведено полуэмпирическое решение задачи о движении газа в пристенном пограничном слое струйного потока на боковой поверхности рабочего объема циклонных камер большой относительной длины.

The semi-empirical problem solution of gas movement in the near wall boundary layer of flow on the side surface of working volume of cyclone chambers of major relative length has been given.

Результаты исследований [7], позволившие выявить особенности аэродинамики циклонных камер большой относительной длины, могут быть положены в основу построения схемы расчета их основных аэродинамических характеристик. В частности установлено, что в таких камерах периферийная зона течения является основной областью рабочего объема. Для большей части длины на границе пристенного пограничного слоя периферийной зоны течения выполняется условие  $\partial v / \partial r = 0$  ( $v$  — полная скорость потока;  $r$  — текущий радиус). В большей степени это условие относится к варианту течения, при котором вблизи границы пристенного пограничного слоя можно считать  $v$  величиной, практически не зависящей от  $r$  (рис. 1), и в меньшей степени — с ярко выраженным максимумом  $v$  на его границе. (Интересно, что примерно в средних и примыкающих к ним сечениях камеры [7] условие  $v = \text{const}$  может быть распространено практически до оси рабочего объема.) Скорость же потока на границе пристенного пограничного слоя зависит от продольной координаты и, как было установлено в опытах, в небольшой степени от относительной длины камеры.

Отмеченные особенности позволяют, схематизируя течение в периферийной зоне, представить его в виде своеобразного струйного потока на криволинейной поверхности с изменяющейся по направлению движения скоростью на внешней границе пристенного пограничного слоя

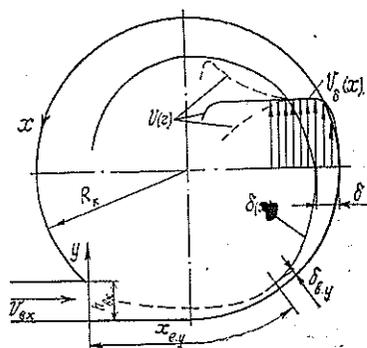


Рис. 1. Схема движения потока у боковой поверхности цилиндрической камеры большой относительной длины

(скоростью небольшого по радиальной протяженности участка квазипотенциального течения). Радиальная протяженность участка в общем случае переменна по длине камеры. Движение потока происходит по винтообразной траектории под влиянием продольного и поперечного градиентов давления. Вводимая в камеру струя газа взаимодействует одновременно с криволинейной стенкой и уже вращающимся потоком газов, а в некоторых случаях, и с другими вводимыми в рабочий объем струями. В части рабочего объема, который ограничен поперечными сечениями, расположенными примерно по кромкам шлицев, происходит сложный процесс смешения струйных течений. Поток здесь не симметричен относительно оси камеры. Входная струя, совершив примерно пол-оборота до кромки второго шлица, отклоняется от плоскости ввода и распространяется дальше по направлению к торцам камеры. Причем основная часть газа при разностороннем его вводе и выводе перетекает к выходному торцу, а при одностороннем — к глухому. Течение здесь становится осесимметричным и упорядоченным.

Таким образом, для рассматриваемого струйного течения можно выделить условно входной (не расчетный) и основной (расчетный) участки. На входном участке поток имеет сложную кинематическую структуру, однако длина его сравнительно невелика.

На рис. 1 показана принятая в работе схема движения струйного потока у боковой поверхности относительно длинной циклонной камеры. Координата  $x$  направлена вдоль поверхности камеры по траектории потока,  $y$  — нормально к ней. Начало координат совмещено со срезом шлица. Граница, разделяющая входной и основной участки, имеет координату  $x_{в.у}$ . Толщина пристенного пограничного слоя  $\delta$ , соответствующая координате  $x_{в.у}$ , минимальна и равна  $\delta_{в.у}$ .

Следовательно, если ограничить рассмотрение задачи основным участком течения, охватывающим практически весь рабочий объем циклонной камеры, то для анализа можно использовать систему уравнений плоского турбулентного пограничного слоя несжимаемого газа на криволинейной поверхности с постоянным радиусом продольной кривизны  $R_w$  [9]:

$$\rho v_x \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v_y \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( 1 + \frac{y}{R_w} \right) v_x \right] = - \frac{\partial p}{\partial x} + \left( 1 + \frac{y}{R_w} \right) \frac{\partial \tau}{\partial y} + \frac{2\tau}{R_w}; \quad (1)$$

$$\frac{\rho v_x^2}{R_w \left( 1 + \frac{y}{R_w} \right)} = \frac{\partial p}{\partial y}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( 1 + \frac{y}{R_w} \right) v_y \right] = 0, \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность потока;  
 $v_x, v_y$  — продольная (вдоль оси  $x$ ) и поперечная (вдоль оси  $y$ ) составляющие полной скорости потока;  
 $p$  — статическое давление;  
 $\tau$  — напряжение трения.

Радиус  $R_w$  можно рассчитать по общезвестной формуле кривизны винтовой линии. Для определения  $R_w$  вдоль поверхности движения струйного потока могут быть использованы результаты работы [7]. Следует отметить, что при решении системы уравнений (1)–(3)  $R_w$  можно считать величиной постоянной, независимой от  $x$ . В рассматриваемой задаче на основном участке камеры при относительной дли-

не рабочего объема  $\bar{L}_k = 3,5$  ( $\bar{L}_k = L_k/D_k$ ;  $D_k = 2R_k$  — диаметр рабочего объема;  $R_k$  — радиус рабочего объема камеры) отношение  $R_w/R_k$  изменялось от 1,04 до 1,06, при  $\bar{L}_k = 21,5$  и разностороннем вводе и выводе газов — от 1,04 до 1,19, одностороннем — от 1,04 до 1,09.

Ввиду относительной малости нормальной составляющей скорости потока можно при  $v_x = v$  и  $v_{x\delta} = v_\delta$  граничные условия записать в виде

$$y = 0; \quad v_x = v_y = v = 0; \quad \tau = \tau_w; \quad (4)$$

$$y = \delta; \quad v_x = v = v_\delta; \quad (\partial v / \partial y)_{y=\delta} = 0; \quad \tau = 0, \quad (5)$$

где  $\tau_w$  — напряжение трения на боковой поверхности камеры;  
 $v_\delta$  — скорость потока на границе пограничного слоя.

Для дальнейшего анализа задачи необходимо аппроксимировать профиль касательного напряжения трения в пограничном слое, т. е. найти функцию  $\tau(y)$  или  $\bar{\tau}(\eta)$  ( $\bar{\tau} = \tau/\tau_w$ ,  $\eta = y/\delta$  при соответствующих граничных условиях).

В первом приближении, вероятно, целесообразно использовать имеющиеся способы приближенного определения коэффициента  $\tau(y)$ . В работе [9] для плоского пограничного слоя на непроницаемой поверхности при градиентном течении и граничных условиях

$$\eta = 0; \quad \bar{\tau} = 1; \quad \frac{\partial}{\partial \eta} (\bar{\tau}) = \phi; \quad (6)$$

$$\eta = 1; \quad \bar{\tau} = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \eta} (\bar{\tau}) = 0 \quad (7)$$

получена полиномиальная аппроксимация  $\tau(\eta)$  вида

$$\bar{\tau} = 1 - 3\eta^2 + 2\eta^3 + \phi\eta(1 - \eta)^2, \quad (8)$$

$$\text{где } \phi = \frac{\delta}{\tau_w} \frac{\partial p}{\partial x}.$$

Аппроксимация (8) использована в дальнейших расчетах.

В работе [13] показано, что на границе пристенного пограничного слоя на криволинейной поверхности существует сложная зависимость статического и скоростного давлений от значения и знака радиуса ее кривизны и координаты  $x$ . (Поэтому лишь для отдельных задач [5, 6] оказывается возможным использовать уравнение Бернулли.) Аналогичное явление наблюдается и в камерах большой относительной длины. В настоящей работе для вогнутой поверхности рабочего объема циклонных камер при  $R_w = \text{const}$  установлено, что

$$k_r = \frac{p_\delta}{0,5\rho v_\delta^2} = k_0 \bar{x}^{-0,184}, \quad (9)$$

где  $k_r$  — геометрический параметр;  
 $p_\delta$  — статическое давление на границе пограничного слоя;

$k_0 = 340 \bar{f}_{\text{вх}}^{1,64} \bar{d}_{\text{вых}}^{-0,96} \bar{L}_k^{-0,6}$  — геометрический комплекс;

$\bar{f}_{\text{вх}} = 4f_{\text{вх}}/\pi D_k^2$  — относительная площадь входа;

$\bar{d}_{\text{вых}} = d_{\text{вых}}/D_k$  — относительный диаметр выходного отверстия;

$\bar{x} = x/h_{\text{вх}}$  — безразмерная координата;

$h_{\text{вх}}$  — высота входных шлицев.

Преобразуем уравнение (1) с помощью (2) и (3), а также зависимости (9) к виду

$$\int_0^{\delta} \frac{\partial}{\partial x} \left(1 + \frac{y}{R_w}\right) v^2 dy + v v_y \left(1 + \frac{y}{R_w}\right)^2 \Big|_0^{\delta} + k_r \left(v_{\delta} \frac{dv_{\delta}}{dx} + \frac{v_{\delta}^2}{2} \frac{dk_r}{dx}\right) \int_0^{\delta} \left(1 + \frac{y}{R_w}\right) dy + \int_0^{\delta} \left(1 + \frac{y}{R_w}\right) \frac{\partial}{\partial x} \left[ \int_{\delta}^y \frac{v^2}{R_w} \left(1 + \frac{y}{R_w}\right)^{-1} dy \right] dy = \frac{\tau}{\rho} \left(1 + \frac{y}{R_w}\right)^2 \Big|_0^{\delta} + \frac{2}{\rho R_w} \int_0^{\delta} \tau \left(1 + \frac{y}{R_w}\right) dy. \quad (10)$$

Правую часть уравнения (10) с помощью (6) и (8) представим в форме

$$\frac{\tau}{\rho} \left(1 + \frac{y}{R_w}\right)^2 \Big|_0^{\delta} + \frac{2}{\rho R_w} \int_0^{\delta} \tau \left(1 + \frac{y}{R_w}\right) dy = \frac{\tau_w}{\rho} + \frac{2\tau_w}{\rho R_w} \int_0^{\delta} \left[1 - 3\left(\frac{y}{\delta}\right)^2 + 2\left(\frac{y}{\delta}\right)^3 + \frac{\delta}{\tau_w} \frac{dp}{dx} \frac{y}{\delta} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2\right] \left(1 + \frac{y}{R_w}\right) dy, \quad (11)$$

а затем проинтегрируем (10) по  $y$  от 0 до  $\delta$  с учетом граничных условий задачи и замены  $dp/dx$  на  $dp_{\delta}/dx$ , возможность которой подтверждена опытными данными:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \int_0^{\delta} v^2 dy - v_{\delta} \left(1 + \frac{\delta}{R_w}\right) \frac{\partial}{\partial x} \int_0^{\delta} v dy + k_r \left(\delta + \frac{\delta^2}{2R_w}\right) \left(v_{\delta} \frac{dv_{\delta}}{dx} - 0,092 \frac{v_{\delta}^2}{x}\right) + \frac{\delta v_{\delta}^2}{R_w} \left(1 + \frac{\delta}{R_w}\right)^{-1} \left(1 + \frac{\delta}{2R_w}\right) \frac{\partial \delta}{\partial x} = \\ = -\frac{\tau_w}{\rho} \left(1 - \frac{\delta}{R_w} - 0,3 \frac{\delta^2}{R_w^2}\right) - 0,662 k_r \left(0,167 \frac{\delta}{R_w} + 0,067 \frac{\delta^2}{R_w^2}\right) \frac{1}{x}. \end{aligned} \quad (12)$$

Заметим, что при интегрировании ввиду относительной малости отношение  $y^2/2R_w$  ( $R_w \neq y$ ) принято равным нулю.

Величина  $k_r$  в уравнении (12) может изменяться от 0,2 до 5,0 при варьировании  $\bar{L}_x$  от 1,25 до 21,5,  $\bar{f}_{вх}$  — от 0,02 до 0,21 и  $d_{вмх}$  — от 0,43 до 0,62.

Если ввести в рассмотрение толщину вытеснения  $\delta^* = \int_0^{\delta} (1 - v_x/v_{\delta}) dy$  и толщину потери импульса  $\delta^{**} = \int_0^{\delta} (v_x/v_{\delta}) (1 - v_x/v_{\delta}) dy$ , то уравнение (12) можно привести к виду

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \bar{\delta}^{**} + \frac{1}{v_{\delta}} \frac{d v_{\delta}}{dx} \left(2\bar{\delta}^{**} + \bar{\delta}^* - 0,662\bar{\delta} k_r \frac{1}{x}\right) - \frac{\bar{\delta}}{R_w + \bar{\delta}} \frac{d \bar{\delta}}{dx} = \\ = \frac{c_f}{2} \left(1 + \frac{\bar{\delta}}{R_w} - 0,3 \frac{\bar{\delta}^2}{R_w^2}\right) - 0,662\bar{\delta} k_r \frac{1}{x} \left(0,167 \frac{\bar{\delta}}{R_w} - 0,067 \frac{\bar{\delta}^2}{R_w^2}\right). \end{aligned} \quad (13)$$

В предельном случае (при  $\bar{R}_w \rightarrow \infty$ ,  $k_r \rightarrow 0$ , [13]) уравнение (13) переходит в общеизвестное интегральное соотношение для плоского пограничного слоя пластины [9].

Уравнение (12) содержит три неизвестных величины:  $\delta$ ,  $v_{\delta}$  и  $\tau_w$ . Кроме того, для его решения необходимо знать распределение скорости

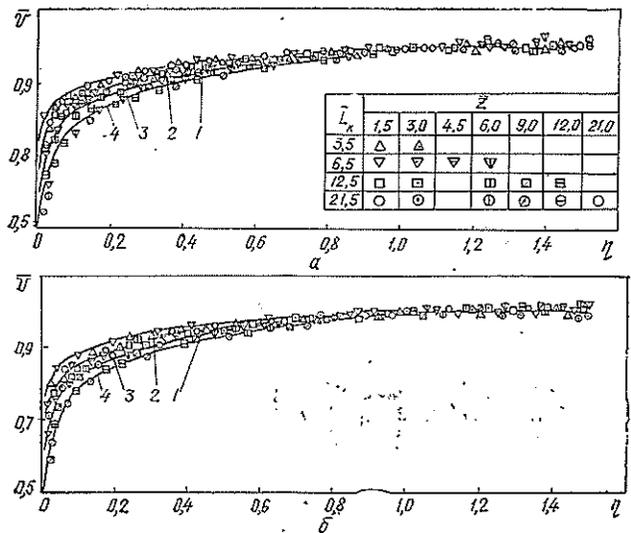


Рис. 2. Сопоставление опытных данных с аппроксимационной зависимостью (14) для камер с разносторонним (а) и односторонним (б) вводом и выводом газов при различных значениях  $n$ : 1—1/18; 2—1/14; 3—1/12; 4—1/9

в пределах пограничного слоя. Как видно из рис. 2, распределение  $v$  на расчетном участке течения вполне удовлетворительно может быть аппроксимировано общеизвестной формулой вида

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{y}{b}\right)^n \text{ или } \bar{v} = \eta^n. \quad (14)$$

Здесь  $n$  в общем случае является величиной, зависящей от  $\bar{x}$ .

На рис. 3 приведены опытные данные, относящиеся к камерам различной относительной длины и различным безразмерным координатам сечений замеров  $\bar{z} = z/D_k$  ( $z$  — расстояние от торца камеры, ближайшего к сечению ввода газов, до сечения замеров).

Как видно из рис. 2 и 3, значения показателя  $n$ , определенные по опытным данным, имеют довольно существенный разброс. Особенно значительно  $n$  изменяется в зависимости от  $\bar{x}$  (при  $\bar{x} < 50$ ). В основной части расчетной зоны интенсивность его изменения вдоль  $x$  значительно меньше. Однако и здесь явно просматривается общая тенденция увеличения  $n$  с ростом  $\bar{x}$ , обусловленная раскруткой потока. Следует за-

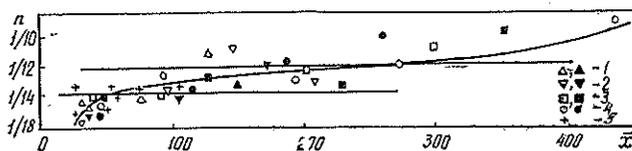


Рис. 3. Изменение показателя степени  $n$  в аппроксимационной зависимости (14) вдоль траектории движения потока: 1— $\bar{L}_k = 3,5$ ; 2—6,5; 3—12,5; 4—21,5; 5—данные опытов Т. Г. Загоскиной, Э. Н. Сабурова. (Светлые значки относятся к камерам с разносторонним вводом и выводом газов, темные — с односторонним.)

метить, что представленные на рис. 3 данные авторов относятся к диапазонам чисел Рейнольдса  $Re_\delta = v_\delta \delta / \nu$  ( $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости потока) и  $Re_{вх} = v_{вх} D_k / \nu_{вх}$  ( $v_{вх}$  — скорость потока во входных шлицах;  $\nu_{вх}$  — коэффициент кинематической вязкости при входных условиях), которые равны соответственно  $(2,5 \dots 9,9) \cdot 10^3$  и  $(4,8 \dots 6,7) \cdot 10^5$ . В рассматриваемой инженерной задаче (в пределах имеющегося разброса опытных данных для расчетной зоны течения) можно принять  $n$  величиной постоянной и равной  $1/12$ . В камерах с односторонним вводом и выводом газов показатель степени остается постоянным до сечений застойной зоны.

Имеющиеся в литературе данные [2—4, 6, 11] свидетельствуют о том, что величина показателя  $n$  на вогнутой стенке меньше, чем на пластине (в том же диапазоне чисел  $Re_\delta$ ). Это связывают с интенсификацией процессов переноса. В одних работах, например [2], показатель  $n$  принят равным  $1/12$ , в других [4, 6] —  $1/14$ . В работах [10—12] даны следующие диапазоны изменения  $n$ :  $1/10 \dots 1/20$ ;  $1/5 \dots 1/14$ ;  $1/12 \dots 1/14$ . Из рис. 3 видно, что в коротких камерах с  $x = 15 \dots 100$  следует, вероятно, считать  $n = 1/14$ , как и сделано в работах [4—6]. В более точных расчетах (в том числе и имеющих конечной целью определение интенсивности теплоотдачи на криволинейной поверхности), скорее всего, в дальнейшем по мере накопления опытных данных для различных условий следует подобрать и использовать функцию  $n(x)$  или же, как это часто делается, расчет выполнять по участкам  $x$ , принимая в пределах каждого из них в качестве расчетного средние значения  $n$ .

Для определения  $\tau_w$  также можно использовать полученные нами опытные данные. На рис. 4 они представлены в виде зависимости коэффициента сопротивления трения  $c_f = 2\tau_w / \rho v_\delta^2$  от числа Рейнольдса  $Re_\delta$ . Опытные данные хорошо выражаются зависимостью

$$c_f = 0,019 Re_\delta^{-2/13} L_k^{0,174}. \quad (15)$$

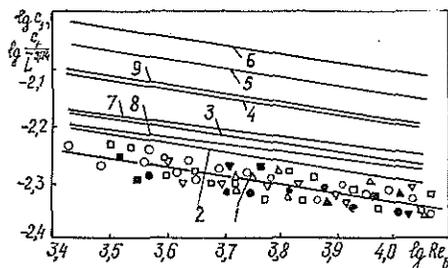


Рис. 4. Расчетные значения, полученные по формуле (15), для отношения  $c_f / L_k^{0,174}$  (1) и коэффициента сопротивления трения на боковой поверхности при различных значениях  $L_k$ : 2—1,67; 3—2,60; 4—6,50; 5—12,50; 6—21,50

Формула (15) справедлива при  $Re_\delta = (2,5 \dots 9,9) \cdot 10^3$ . Отклонение опытных точек от обобщающей зависимости (кривая 1) не превышает  $\pm 6,9\%$ , что для рекомендаций подобного рода следует считать вполне удовлетворительным.

На рис. 4 также приведено сопоставление величин  $c_f$ , вычисленных по формуле (15) с рекомендациями для обычных (коротких) камер с торцевым выводом газов (кривая 7) [5], циклонных камер с периферийным выводом газов (кривая 8) [6], а также с дополнительно приведенными данными для пластины, обтекаемой полуограниченной струей (кривая 9) [8]. Из представленных данных видно, что при небольших длинах циклонных камер величины  $c_f$ , вычисленные по уравнению

(15), в среднем на 8,7 % меньше, чем по рекомендациям [5] (кривые 2 и 7 при  $\bar{L}_k = 1,67$ ), и на 3,6 % больше, чем по рекомендациям [6] (кривые 3 и 8 при  $\bar{L}_k = 2,6$ ), и отличаются между собой незначительно. С ростом  $\bar{L}_k$  коэффициент  $c_f$  увеличивается и при  $\bar{L}_k \geq 6$  превышает соответствующие значения для пластины (кривая 9) [8].

Масштабная скорость, входящая в уравнения (10), (12) является скоростью потока на границе пограничного слоя и может быть определена по уравнению

$$\bar{v}_\delta = \frac{v_\delta}{v_{вх}} = 6\bar{L}_k^{-0,183} \bar{x}^{-0,57}. \quad (16)$$

На рис. 5 приведено сопоставление зависимости (16), представленной в виде

$$\bar{v}_m = 6\bar{x}^{-0,57}, \quad (17)$$

с опытными данными.

В уравнении (17)  $\bar{v}_m = v_m/v_{вх}$ ;  $v_m = v_\delta \bar{L}_k^{0,183}$ . Отклонение опытных точек от обобщающей кривой, полученной по уравнению (17), не превышает  $\pm 11$  %.

С учетом (14)—(16) дифференциальное уравнение движения газа в пристенном пограничном слое струйного потока (12) на вогнутой боковой поверхности рабочего объема относительно длинной циклонной камеры может быть представлено в виде

$$\begin{aligned} & \left[ 0,066 - 0,923 \frac{\bar{\delta}}{R_w} + \frac{\bar{\delta}(R_w - 0,5\bar{\delta})}{R_w(R_w - \bar{\delta})} \right] \frac{d\bar{\delta}}{d\bar{x}} + \left[ 0,451 + 0,526 \frac{\bar{\delta}}{R_w} + \right. \\ & \left. + 0,662k_r \left( 1 - \frac{\bar{\delta}}{2R_w} \right) \right] \frac{\bar{\delta}}{\bar{x}} = \frac{c_f}{2} \left( 1 + \frac{\bar{\delta}}{R_w} - 0,3 \frac{\bar{\delta}^2}{R_w^2} \right) - \\ & - 0,662k_r \left( 0,167 \frac{\bar{\delta}}{R_w} - 0,067 \frac{\bar{\delta}^2}{R_w^2} \right) \frac{\bar{\delta}}{\bar{x}}, \quad (18) \end{aligned}$$

где  $\bar{R}_w = R_w/h_{вх}$  — безразмерный радиус кривизны поверхности.

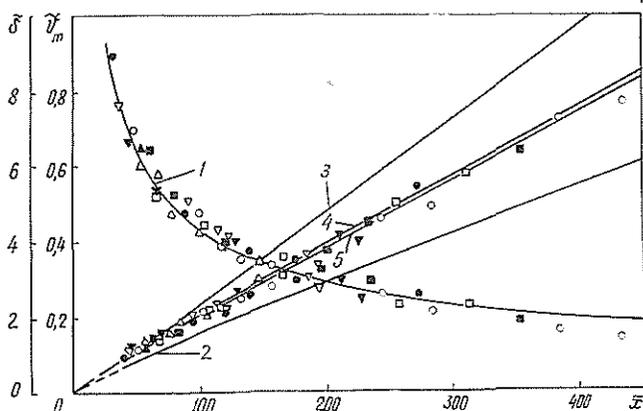


Рис. 5. Сопоставление расчетных и опытных данных по толщине пристенного пограничного слоя  $\delta$  и скорости потока на его границе  $v_m$ , определенные по различным формулам: 1 — формула (17); 2 — (19); 3 — (20); 4 — (21); 5 — (22). (Обозначения приведены на рис. 3)

Уравнение (18) численно решено на ЭВМ методом Рунге — Кутта. При этом в число  $Re_\delta$  введена поправка на  $\bar{\delta}$ , т. е. число  $Re_\delta$  принято переменным по ходу движения струйного потока и вычислено через  $Re_{вх}$  для каждого  $x$ . Выполнено четыре варианта решения: без учета и с учетом изменения трения поперек пограничного слоя в условиях градиентного и безградиентного течений.

Таблица 1

Расчетные значения безразмерной толщины пограничного слоя  $\bar{\delta}$  при переменных  $x$  и  $\bar{R}_w$  ( $L_k = 12$ ,  $Re_{вх} = 4 \cdot 10^5$ )

$\bar{x}$	$\bar{\delta}$ при $\bar{R}_w$					
	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0	18,0
25	0,119	0,125	0,130	0,137	0,143	0,147
50	0,241	0,251	0,262	0,274	0,286	0,296
75	0,361	0,378	0,394	0,412	0,430	0,444
100	0,482	0,504	0,526	0,550	0,574	0,592
125	0,600	0,629	0,657	0,687	0,717	0,740
150	0,716	0,754	0,788	0,824	0,860	0,888
175	0,830	0,876	0,917	0,961	1,003	1,035
200	0,940	0,997	1,046	1,097	1,145	1,183
225	1,047	1,115	1,174	1,232	1,287	1,329
250	1,151	1,232	1,300	1,367	1,429	1,476
275	1,251	1,346	1,424	1,500	1,570	1,622
300	1,347	1,457	1,547	1,633	1,710	1,768
325	1,440	1,565	1,668	1,764	1,850	1,913
350	1,529	1,672	1,787	1,895	1,989	2,058
375	1,615	1,775	1,904	2,024	2,127	2,202
400	1,697	1,876	2,019	2,151	2,264	2,345
425	1,776	1,973	2,132	2,278	2,401	2,488
450	1,852	2,069	2,243	2,403	2,536	2,631

Таблица 2

Расчетные значения безразмерной толщины пограничного слоя  $\bar{\delta}$  при переменных  $x$  и  $\bar{L}_k$  ( $\bar{R}_w = 7$ ,  $Re_{вх} = 4 \cdot 10^5$ )

$\bar{x}$	$\bar{\delta}$ при $\bar{L}_k$					
	3	6	9	12	15	18
25	0,073	0,100	0,117	0,130	0,141	0,150
50	0,151	0,203	0,237	0,262	0,283	0,300
75	0,230	0,307	0,357	0,394	0,424	0,449
100	0,310	0,412	0,477	0,526	0,564	0,596
125	0,392	0,518	0,598	0,657	0,704	0,743
150	0,474	0,623	0,718	0,788	0,843	0,888
175	0,557	0,730	0,838	0,917	0,980	1,032
200	0,640	0,836	0,957	1,046	1,116	1,173
225	0,724	0,941	1,076	1,174	1,250	1,313
250	0,808	1,047	1,194	1,300	1,382	1,450
275	0,893	1,152	1,310	1,424	1,512	1,585
300	0,977	1,256	1,426	1,547	1,641	1,717
325	1,062	1,360	1,540	1,668	1,767	1,847
350	1,147	1,463	1,653	1,787	1,890	1,975
375	1,231	1,565	1,764	1,904	2,012	2,099
400	1,316	1,666	1,873	2,019	2,131	2,222
425	1,400	1,766	1,981	2,132	2,248	2,341
450	1,483	1,865	2,088	2,243	2,362	2,458

В качестве примера в табл. 1—3 приведены некоторые из результатов решения уравнения (18) для градиентного течения при  $\bar{\tau}(\eta)$  в диа-

Таблица 3

Расчетные значения безразмерной толщины пограничного слоя  $\bar{\delta}$  при переменных  $\bar{x}$  и  $Re_{вх}$  ( $\bar{R}_w = 7$ ,  $\bar{L}_k = 12$ )

$\bar{x}$	$\bar{\delta}$ при $Re_{вх} \cdot 10^{-5}$					
	1	2	4	8	12	16
25	0,157	0,143	0,130	0,118	0,112	0,108
50	0,315	0,287	0,262	0,238	0,226	0,217
75	0,475	0,432	0,394	0,359	0,339	0,327
100	0,633	0,577	0,525	0,478	0,453	0,436
125	0,791	0,721	0,657	0,598	0,566	0,545
150	0,948	0,864	0,787	0,717	0,679	0,654
175	1,103	1,006	0,917	0,836	0,792	0,762
200	1,256	1,146	1,046	0,954	0,903	0,869
225	1,407	1,285	1,173	1,070	1,014	0,976
250	1,556	1,422	1,299	1,186	1,124	1,082
275	1,702	1,557	1,424	1,300	1,233	1,187
300	1,845	1,690	1,546	1,414	1,341	1,291
325	1,986	1,821	1,667	1,525	1,448	1,394
350	2,123	1,949	1,786	1,636	1,553	1,496
375	2,258	2,075	1,904	1,744	1,657	1,597
400	2,389	2,198	2,019	1,852	1,759	1,696
425	2,518	2,319	2,132	1,957	1,861	1,794
450	2,643	2,437	2,243	2,061	1,960	1,891

пазонах изменения  $\bar{x}$ ,  $\bar{L}_k$ ,  $\bar{R}_w$ ,  $Re_{вх}$ , близких к опытным значениям. Из табл. 1—3 видно, что расчетные значения  $\bar{\delta}$  увеличиваются с ростом  $\bar{x}$ ,  $\bar{L}_k$  и  $\bar{R}_w$ . Однако степень влияния этих характеристик на  $\bar{\delta}$  различна. Как и следовало ожидать, толщина пограничного слоя уменьшается с ростом числа  $Re$ .

Обобщение результатов решения методом множественного корреляционного анализа позволило получить расчетные формулы для определения толщины пристенного пограничного слоя струйного потока на боковой поверхности относительно длинной циклонной камеры с торцевым выводом газов. Без учета члена  $2\tau/R_w$  в уравнении (1) расчетное соотношение для  $\bar{\delta}$  имеет вид

$$\bar{\delta} = 0,019k_0^{-0,51} \bar{R}_w^{0,21} Re_{вх}^{-0,12} \bar{x}^{0,935}. \quad (19)$$

При постоянном значении касательного напряжения трения поперек пограничного слоя ( $\tau(y) = \tau_w = \text{const}$ )

$$\bar{\delta} = 0,02k_0^{-0,563} \bar{R}_w^{0,113} Re_{вх}^{-0,135} \bar{x}^{1,034}. \quad (20)$$

С учетом изменения касательного напряжения трения поперек пограничного слоя при нулевом продольном градиенте давления ( $\phi = 0$ )

$$\bar{\delta} = 0,02k_0^{-0,542} \bar{R}_w^{0,153} Re_{вх}^{-0,129} \bar{x}^{0,990}. \quad (21)$$

С учетом изменения касательного напряжения трения поперек пограничного слоя в условиях существования продольного градиента давления ( $\phi \neq 0$ )

$$\bar{\delta} = 0,02k_0^{-0,544} \bar{R}_w^{0,155} Re_{вх}^{-0,129} \bar{x}^{0,986}. \quad (22)$$

Заметим, что при коэффициенте корреляции, равном 0,99, отклонение  $\bar{\delta}$  определенного по уравнениям (19)—(22), от значений, полученных при решении дифференциального уравнения (18), составляет  $\pm 3,8\%$ . Формулы (19)—(22) справедливы в диапазоне изменения геометрического параметра  $k_0 = 0,61 \dots 3,39$ .

Следует заметить, что принятое априори положение о возможности использования при решении условия  $\bar{R}_w = \text{const}$  подтверждено полученными расчетными соотношениями. В пределах диапазонов опытного изменения  $R_w/R_k$  влияние  $\bar{R}_w$  на  $\bar{\delta}$  не превышает  $\pm 3\%$ .

На рис. 5 приведено сопоставление расчетных и опытных данных по безразмерной толщине пристенного пограничного слоя. (На рис. 5 обозначено  $\bar{\delta} = \delta/k$ , где в комплексе  $k = f(k_0, \bar{R}_w, \text{Re}_{\text{вк}})$  параметры  $k_0$ ,  $\bar{R}_w$  и  $\text{Re}_{\text{вк}}$  находятся в соответствующих формулам (19)—(22) степенях.) Представленные данные позволяют сделать вывод о том, что предложенная схема расчета и использованный метод учета влияния изменения касательного напряжения трения поперек пограничного слоя дают вполне удовлетворительные результаты.

Полученные расчетные соотношения справедливы на основном участке, начало которого определяется координатой  $\bar{x}_{\text{в.у}}$ , являющейся одновременно и длиной входного участка. Нахождение  $\bar{x}_{\text{в.у}}$  представляет определенные сложности и, вероятно, в дальнейшем потребует специального исследования. В выполненных выше расчетах и в дальнейшей обработке опытных данных принимали значение  $\bar{x}_{\text{в.у}} = 15$ , что соответствует и рекомендациям [1, 6]. Значения  $\bar{v}_{\text{в.у}}$  и  $\bar{\delta}_{\text{в.у}}$  при известном  $\bar{x}_{\text{в.у}}$  можно определить в первом приближении по уравнениям (16) и (22).

#### Выводы

1. Решена задача о движении газа в пристенном пограничном слое струйного потока на боковой поверхности рабочего объема циклонных камер большой относительной длины.

2. Полученные формулы могут быть использованы при аэродинамических расчетах циклонных камер большой относительной длины и решении задачи конвективного теплообмена на боковой поверхности их рабочего объема.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Карпов С. В., Сабуров Э. Н. О расчете движения газов и теплоотдачи на периферии циклонного потока // Инж.-физ. журн.— 1986.— Т. 51, № 6.— С. 902—908. [2]. Кортиков Н. Н. Расчет сопротивления и теплоотдачи струй с помощью интегрального соотношения Кармана // Теплофизика высоких температур.— 1980.— Т. 18, № 4.— С. 788—793. [3]. Лукьянович Т. К. Исследование аэродинамики периферийной зоны циклонно-вихревых камер: Дис. ... канд. техн. наук.— Л., 1975.— 137 с. [4]. Сабуров Э. Н., Карпов С. В., Осташев С. И. Теплообмен и аэродинамика закрученного потока в циклонных устройствах / Под ред. Э. Н. Сабурова.— Л.: ЛГУ, 1989.— 276 с. [5]. Сабуров Э. Н., Карпов С. В. Циклонные устройства в деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве / Под ред. Э. Н. Сабурова.— М.: Экология, 1993.— 368 с. [6]. Сабуров Э. Н., Леухин Ю. Л. Аэродинамика и теплообмен закрученного потока в цилиндрической камере // Инж.-физ. журн.— 1985.— Т. 48, № 3.— С. 369—375. [7]. Сабуров Э. Н., Орехов А. Н. Экспериментальное исследование аэродинамики циклонной камеры большой относительной длины // Лесн. журн.— 1992.— № 2.— С. 123—132.— (Изв. высш. учеб. заведений). [8]. Сакипов Э. Б. Теория и методы расчета полуограниченных струй и настильных факелов.— Алма-Ата: Наука, 1978.— 204 с. [9]. Федяевский К. К., Гиневский А. С., Колесников А. В. Расчет турбулентного пограничного слоя несжимаемой жидкости.— Л.: Судостроение, 1973.— 256 с. [10]. Штым А. Н., Рудницкий В. А. Исследование пристенной зоны циклонно-вихревой камеры в приближении полуограниченной струи // Эффективность тепловых энергетических процессов.— Владивосток: Дальневосточ. политехн. ин-т, 1980.— Вып. 2.— С. 103—114. [11]. Щукин В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1980.— 240 с. [12]. Щукин В. К., Халатов Л. А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах.— М.: Машиностроение, 1982.— 200 с. [13]. Giles J. A., Hays A. P., Sawyer R. A. Turbulent wall jets on logarithmic spiral surfaces // Aeronaut. Quart.— 1966.— Vol. 17.— P. 201—215.

## ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 630\*902.1

Г. И. РЕДЬКО

С.-Петербургская лесотехническая академия

**ПОЛКОВНИК КОРПУСА ЛЕСНИЧИХ В. Е. ФОН ГРАФФ**  
(к 150-летию степного лесоразведения в России)

В степном массивном и полезащитном лесоразведении России исторический приоритет несомненно принадлежит лесоводству.

В возвышенной извечно безлесной степи — на водоразделе рек Азовского моря и левых притоков Днепра — в Приазовье Донецкого края — успех казенного массивного степного лесоразведения навсегда связан с именем Виктора Егоровича фон Граффа, основателя первого в России образцового и учебного степного Великоанадольского лесничества со школой сельских лесников. Все последующие поколения лесоводов чтят В. Е. фон Граффа как выдающегося деятеля отечественного лесоводства. Кроме 156 га выращенного леса и нескольких опубликованных статей [2—11], мы имеем мало сведений о его жизни и деятельности. Между тем в истории лесоводства сложно найти аналог подвигу, совершенному Виктором Егоровичем. Его современники считали, что вряд ли можно было служить любимому делу, народу с большим усердием, чем это делал В. Е. фон Графф. Об этом свидетельствуют и сохранившиеся в Центральном государственном историческом архиве России (С.-Петербург) сотни его рапортов-отчетов, не востребованные, к сожалению, никем в течение 150 лет [17, 18].



Родившийся в 1820 г. в г. Овруче в семье штабс-капитана российской армии, немец по отцу, итальянец по матери, православный по вероисповеданию, русский по воспитанию и образованию (С.-Петербург), после 23 лет работы на Украине считавший себя украинцем и лишь за 6 лет до смерти присягнувший на верность России, Виктор Егорович превыше всего, даже собственного здоровья и своих близких, ставил профессиональный долг, честность, высокую нравственность.

Изучив имевшийся опыт степного древовозращения в межунических колониях, Графф не только впервые испытал многие агротехнические приемы в возвышенной степи, но и разработал целый комплекс новых их модификаций, обеспечивающих успех лесоразведения. Трех-, четырех- и даже пятикратная глубокая обработка целинной залежи в течение нескольких лет, посевы семян в разные сроки (весной, летом, осенью и даже зимой), утепление посевных гряд разного рода покрытия-

ми, система живых изгородей разной ширины и высоты из кустарников и древесных пород, посадки не только в них, но и по посевным грядам через каждую сажень крупномерных саженцев древесных пород, ежегодная стрижка изгородей, заблаговременная копка ям для посадки саженцев, окуливание на зиму и защита стволиков высаженных деревьев от зайцев, покрытие земли у основания стволиков выполотыми сорняками, поливы и уход за каждым посаженным деревом, отряхивание ожеледи и снега с деревьев, истребление медведок, мышевидных грызунов, облавы на зайцев, волков и пр.— только все это вместе взятое, да и то подчас после нескольких попыток, обеспечивало успех выращивания леса в степи.

Вначале очень не хватало семян, хотя Графф получал их почти из всех губерний европейской части России, организовывал сбор в ближайших к лесничеству губерниях, а примерно с 1850 г. большую часть заготавливал уже в собственных посадках. Осенью 1843 г. ему прислали семена 13 древесных и кустарниковых пород, а весной 1844 г. — семена и саженцы еще 40 пород. В извечно безлесной степи практически почти все породы были интродуцентами. Прежде всего Графф испытал породы, которые росли на юге России естественным путем. Это липа мелколистная, осокорь, белый и сереющий тополя, ива белая, боярышник обыкновенный, бузина черная, шеллога, терновник, божье дерево, малорослая вишня, таволга, раkitник, дрок красивый, дереза, зиновать, малорослый миндаль или дикий персик. В Великоанадольском лесничестве он разводил породы, растущие и в других губерниях России: березу, сосну, рябину, ясень крымский, можжевельник, шелковицу, иудейское дерево, дзелькву, бук, граб, черный пирамидальный тополь, боярышник азароловый, лох узколистный, магалекскую вишню, бузину красную, акацию желтую, жимолость татарскую, сирень, пузырники, скумпию, держи-дерево, персик, абрикос, вишню, крыжовник, яблони, груши, сливы.

Из иноземных пород испытывались акация белая, каштан конский, гледичия, тополь каролинский, айлант, грецкий и черный орехи, софора японская, укусное дерево, смородина золотоцветная, птелея трехлистная. К 1858 г. были подведены первые итоги выращивания в Великоанадольском рассаднике древесных и кустарниковых пород упомянутых трех категорий (соответственно 12, 33 и 10 пород). Набиралось еще 30 пород, разведение которых не давало более или менее положительных результатов. Всего же Графф испытывал и вел фенологические наблюдения примерно за 100 древесными и кустарниковыми породами. Он открыл много новых растений, среди них два древесных: *Prunus divericatissime* и *Caragana Deresa* [23].

Виктор Егорович создал два постоянных питомника, временные школы лесных деревьев, постоянные школы фруктовых пород, белой шелковицы, растений для арборета и живых изгородей, школы тополевых и ивовых отрезков, постоянные насаждения в открытой степи, арборет, фруктовый сад, огород аптечных растений, цветники, клумбы, фруктовые и хронологические отделения, а также парк, образцы засаженного огорода, лугов, полей.

В 1847 г. был начат отпуск на сторону из рассадника сеянцев и саженцев древесных и кустарниковых пород, а также кольев и черенков ив и тополей. Всего за 1847—1866 гг. было отпущено, преимущественно бесплатно, государственным крестьянам, духовенству, казенным заведениям, для обсадки общественных дворов и частным лицам более 1,7 млн шт. При цене 2 к. за штуку общая стоимость посадочного материала могла бы составить 34 тыс. р. [13].

Граффу пришлось постоянно заниматься вопросами борьбы с засухами, пыльными черными бурями, заморозками, ожеледью, навалами

снега и прочими неблагоприятными явлениями природы, а также с зайцами, хомяками, сусликами, мышевидными грызунами, саранчой, бирючиной сумеречницей, а в 1853 г. выдержать натиск совершенно непредвиденного врага — эпизоотии маленькой бабочки — грушанки темной, личинки которой сплошь поедали листья всех растений.

Виктор Егорович по натуре был пытливым, страстным исследователем. На протяжении всего времени работы в Великоанадольской степи он вел фенологические и метеорологические наблюдения, закладывая многочисленные опыты в питомниках, школах и постоянных насаждениях, испытывая различные агротехнические приемы степного лесоразведения. Директор лесного департамента Н. М. Ламсдорф, посетив в 1844 г. Великоанадольское лесничество, писал в своем отчете, что в опыте Граффа обработка одной десятины по наставлению ученого лесничего Йенша, а другой по способу менонитов дает различные результаты, ибо при одинаковых времени и степени обработки во втором случае сберегается на каждой десятине до 8 человек и до 20 лошадей. А один из пунктов распоряжения Н. М. Ламсдорфа гласил: «Для необходимого единства (в подготовке лесников) я полагал бы возложить на поручика Граффа при центральном училище лесоводства испытывать: различные способы возделывания почвы, новоизобретаемые орудия, производить опыты посадок и посевов, и обо всех оказавшихся результатах и наблюдениях предоставлять ежегодный краткий отчет, который по просмотре в специальном по лесной части комитете должен был отчасти служить руководством, в особенности для отдельных училищ» [12].

Уже в 1841 г., принимая участие в первом лесоустройстве Лисинского учебного лесничества, фон Графф впервые выполнил геоботаническое описание Лисинского лесничества и собрал обширный гербарий, часть которого сохранилась до настоящего времени в академии. Графф оставил также большой гербарий растений Великоанадольской степи, демонстрировавшийся в 1872 г. на Всероссийской промышленной выставке в Москве и представленный туда сыном Граффа.

По инициативе и под покровительством зятя Николая I — Его императорского высочества герцога Лейхтенбергского в Великоанадольском лесничестве в 1850—1852 гг. была построена метеорологическая обсерватория. Организатор магнитных и метеорологических обсерваторий и станций в России, первый директор основанной в 1849 г. Главной геофизической обсерватории в С.-Петербурге акад. А. Я. Купфер снабдил Великоанадольскую обсерваторию полным комплектом метеорологических приборов и инструментов и для помощи Граффу обучил метеорологическим наблюдениям выпускника Лисинского егерского училища В. Г. Григорьева. Результаты метеорологических наблюдений Графф ежегодно, начиная с 1847 г., отправлял в Главную геофизическую обсерваторию и, в свою очередь, регулярно получал ежегодные обзоры погоды в России.

В. Е. фон Графф собрал большую библиотеку, создал музей при лесничестве. В 1867 г. они были разукрупнены и переданы Петровской земледельческой и лесной академии и Лисинскому егерскому училищу.

Кроме лесоразведения в Великоанадольском образцовом и учебном лесничестве, Графф постоянно выполнял специальные поручения Лесного департамента. В 1848 г. он обследовал состояние лесоразведения на юге России, дал ему оценку и составил план развития. Графф разработал и техническое наставление к производству работ при степном лесоразведении, а позже «Инструкцию по управлению учебными степными лесничествами и вообще о древовозращении в южных губерниях России» [14]. По настоянию Граффа были усилены работы на Алешков-

ских песках, а близ г. Алешек открыта школа сельских лесников на 30 крестьянских мальчиков. Значительно увеличены и упорядочены работы на Плахтеевской, Тараклийской, Александровской, Новодмитриевской и Архангельской плантациях, а также в Бердянском, Бендерском и Аккерманском образцовых лесничествах. Тогда же Графф предлагал образовать при Лесном департаменте Главное управление лесоразведения в южной России. Предложение не было принято, однако одному из вице-инспекторов было поручено курировать степное лесоразведение.

В 1849 г. Граффу было поручено организовать лесоразведение на землях Беловодского коннозаводского округа Харьковской губернии. В течение 1849—1851 гг. с помощью своих учеников-лесников он заложил там 18 лесных питомников и организовал в них выращивание семян и саженцев для закладки степных плантаций. Графф составил проекты реконструкции имевшихся при заводах запущенных садов и парков, проявив отличные знания по садоводству и паркостроению. Для дальнейшего развития лесоразведения он предлагал учредить при каждом конном заводе образцовые лесные плантации площадью не менее 1000 десятин каждая, открыть школы лесников или же при заводских училищах особые отделения на 20 учеников.

Таким образом, почти на полстолетия раньше знаменитой экспедиции В. В. Докучаева лесоразведением вблизи будущего Деркульского опытного участка занимался фон Графф. 10 декабря 1852 г. Лесной департамент предписал устроить питомник в Хреновом. Позже там была учреждена низшая лесная школа, а затем лесной техникум. На землях Деркульского коннозаводского округа Графф проектировал полосное чередование облесенных пространств с сельскохозяйственными полями казенных крестьян, а также их водохозяйственное обеспечение. Практически эта идея была реализована лишь экспедицией В. В. Докучаева в комплексе агромелиоративного ландшафтного обустройства трех степных опытных участков.

Подготовка кадров для степного лесоразведения — это еще одна из малоизвестных сторон неутомимой деятельности В. Е. фон Граффа. Одновременно с образцовым степным лесничеством была учреждена и первая в России школа сельских лесников. За 23 года в ней было подготовлено около 170 лесников. Об уровне их образования можно судить по тому, что первые 10 лесников (выпуск 1857 г.) обучались 13 лет, специалисты второго выпуска — 11 лет, а с 1859 г. был установлен 4-летний срок обучения, в том числе один год только для практических работ в лесничестве. Воспитанники Граффа работали в Екатеринославской, Таврической, Херсонской, Харьковской, Полтавской, Киевской, Саратовской, Самарской и Астраханской губерниях, а также в Бессарабской области. Многие из них сдавали экзамены на звание кондуктора и работали лесниками. Спустя 20 лет после закрытия Великоанадольской школы сельских лесников, в 1888 г., была учреждена низшая лесная школа, которой в 1910 г. было присвоено имя профессора Виктора Егоровича фон Граффа. В 20-х гг. текущего столетия эта школа преобразована в Великоанадольский лесной техникум, широко известный среди лесоводов стран СНГ.

В. Е. фон Графф в Великоанадольскую степь приехал в 1843 г. как поручик, юдин, а уехал в 1866 г. как полковник корпуса лесничих, оставив коллектив из 38 человек. В различное время его сотрудниками были выпускники С.-Петербургского лесного института Л. Гржегоржевский, Г. Война, Л. Г. Барк, выпускники Лисинского егерского училища Л. Никифоров, Я. Цетва, В. Г. Григорьев, А. Тимофеев, К. Н. Алексеев, Петров, Иванов, Несмеянов, Ямпольский. Для Граффа были важны, особенно в первые годы работы, помощь и советы более опытных не-

посредственных начальников и коллег. Это министр государственных имуществ граф П. Д. Киселев, директор Департамента сельского хозяйства А. И. Левшин, отличившийся в 30-е годы лесоразведением близ Одессы, директор Лесного департамента Н. М. Ламсдорф, управляющий Екатеринославской палатой государственных имуществ И. И. Гладкий, губернский лесничий той же губернии Н. И. Кранц, губернский лесничий Таврической губернии Н. Мальгин, известные лесоводы Ф. К. Арнольд, И. Г. Войнюков, Е. А. Петерсон, А. Ф. Рудзкий. Будучи страстным ботаником, Графф общался и вел переписку с известными профессорами Х. Х. Стевенем, Н. С. Турчаниновым, А. Фишером, И. Г. Кеппенем, с известным лесоводом Ф. К. Майером и др. Он пользовался и советами патриарха степного лесоразведения И. И. Корниса, а также запасного лесничего, выпускника форст-института 1819 г. И. И. Лумберга, на племяннице которого был женат.

Чрезвычайно трудные условия жизни и работы в полупустынной степи, постоянные материальные затруднения, физические и нравственные страдания подорвали здоровье Виктора Егоровича. По заключению губернского врача уже в 1862 г. он был практически нетрудоспособен. За 23 года работы он ни разу не пользовался отпуском, даже сразу после окончания лесного института. Главным же ударом для него было решение о закрытии возлюбленного его детища — Великоанадольского учебного степного лесничества со школой сельских лесников.

«Несчастье мое в том, что меня мало понимают или не хотят понять те, которые должны бы понимать меня. Трудно служить с большею ревностью, хотя ревность и честность я никогда не принимаю за особые достоинства. Кто человек, тот должен быть таков: познавший Бога по делам Его, будь справедлив и люби ближнего, делай добро и предупреждай зло, служи делу, а не человеку, служи народу, а не одному лицу — вот законы для человека...», — писал Графф в одном из своих конфиденциальных писем управляющему Екатеринославской палаты государственных имуществ Компанейщикову 20 декабря 1862 г. [16]. Именно этот новый управляющий (с 1857 г.) вкупе с новым директором Лесного департамента и новым министром государственных имуществ и не хотели понять В. Е. фон Граффа.

По воспоминаниям В. Т. Собичевского, больной, измученный душевно и сильно озлобленный против людской несправедливости В. Е. фон Графф в 1866 г. приехал в Москву на должность ординарного профессора Петровской земледельческой и лесной академии. Виктор Егорович искренне желал познакомить учащуюся в академии молодежь с дорогой его сердцу Анadolью, которую он считал лучшей практической школой русских лесоводов, так как она приучала их к постоянному труду и упорной борьбе с мачехой-природой [15].

В 1873 г. Лесной департамент констатировал, что Великоанадольское образцовое степное лесничество как богатое собрание образцов тридцатилетних, большей частью удачных, опытов, добытых трудами фон Граффа, которые в общей сложности составляли до 273 десятин разведенных в степях лесонасаждений (172 десятины в Великоанадольской плантации и ее отделениях — 26 в Гавриловском рассаднике и до 75 в Большемихайловской даче), может служить довольно прочным основанием для перехода от опытных работ к существенному разведению леса в южных степях России.

Конечно, далеко не все вопросы проблемы разведения леса в степях были решены Граффом. Много было ошибочных решений и у его преемников Л. Г. Барка, Х. С. Полянского, стремившихся максимально удешевить степное лесоразведение.

В послужном списке Граффа Лесной департамент подчеркивал его добрую нравственность, весьма хорошие познания в ботанике. Много,

раз получал он благодарности и денежные награды за отличия по службе. «Плантация во всех отношениях делает честь поручику Граффу и дает ему полное право на возмездие. Рассадник может служить примером для всех прочих. Все сделано правильно и отчетливо. По рассказу его видно, что он вразумился предметом с усердием и любовью к делу заниматься оным. Его следует поощрить и преподать все средства к увеличению плантации и размножению лесов на здешних степях...», — писал министр государственных имуществ П. Д. Киселев в 1846 г. [12].

За усердие и ревностную службу Графф был всемилостивейше пожалован орденами Святого Станислава 3-й и дважды 2-й степеней, в том числе с императорской короной, в 1865 г. — орденом Святой Анны 3-й степени. В память о войне 1853—1856 гг. он награжден светлой бронзовой медалью на Андреевской ленте. А вот что говорили о нем современники. «Нет ни одного русского лесничего, который бы не уважал глубоко имени Граффа и не был бы вполне убежден в громадности заслуг его... Виктор Егорович, как человек, преданный делу целиком, без всякого ограничения и без всякой побочной мысли, дорожит успехами этого дела более, чем самыми ближайшими для обыкновенного человека личными и семейными интересами», — свидетельствовал А. Ф. Рудзкий в 1864 г. [20]. А. Битный о Граффе писал: «...История борьбы этого замечательного человека с тысячью самых разнообразных препятствий в высшей степени поучительна, как для пояснения всей трудности дела, так и для указания того, чего может достигнуть, даже при неблагоприятной обстановке, человек с глубоким желанием, твердой волею и страстной любовью к делу» [1, с. 284].

«Дело облесения Новороссийских степей на вечные времена будет тесно, неразрывно связано с именем фон Граффа, его основателя, а жизнь и деятельность навсегда останутся примером постоянного самоотвержения, неослабной энергии, неутомимого трудолюбия и безграничной бескорыстной преданности лесному делу», — так закончил свои воспоминания о Граффе проф. В. Т. Собичевский [15].

«Надо быть там на месте, чтобы видеть собственными глазами Великоанадольский лес, чтобы понять все величие степного лесоразведения, составляющего нашу гордость... Рассказывают, что фон Графф, уезжая из лесничества в Москву на должность профессора, обнимал выращенные им деревья, прощаясь с ними, как с детьми своих многолетних забот и волнений...», — писал М. К. Турский [21].

30 сентября 1910 г. в Великоанадольском лесничестве торжественно был открыт памятник Граффу на средства, собранные членами С.-Петербургского лесного общества. Вот что говорил тогда Н. Г. Шольц: «...В лице В. Е. фон Граффа русское лесное дело впервые сказало слово зрелого русского лесоведа» [22].

««Не по величине площади, засаженной мною, судите о моих успехах, а по тому, как привилось мое дело в крае; дивизиею солдат и я, пожалуй, окончу в неделю десятилетнюю работу, и все-таки я ничего не сделаю, покамест крестьяне не убедятся в пользе лесоразведения и не станут им заниматься. А когда это делается, закройте мое заведение, оно будет лишним», — так говорил Виктор Егорович фон Графф, и в его словах — лучший урок всем думающим или делающим на пользу степному лесоразведению», — считал А. Ф. Рудзкий [19].

Чтобы убедиться в том, насколько привилось в степном крае дело Граффа, достаточно проехать, а лучше пролететь над Донецкой, Днепропетровской и Запорожской областями Украины. Мы увидим густую, почти полную сеть полезащитных и других видов лесных насаждений, обрамление всех железных и автомобильных дорог лесными посадками, облесенные овражно-балочные территории. Сегодня 70 % всех лесов Донецкой области имеют искусственное происхождение. Только в тече-

ние 1961—1990 гг. здесь было создано 86 тыс. га лесных культур. Защитные лесные насаждения на не пригодных для сельского хозяйства землях занимают 33 тыс. га. В зеленых зонах городов и поселков находится 62 тыс. га лесов. Все это наследство Виктора Егоровича фон Граффа, живой памятник ему и многим поколениям лесоводов, трудившихся во имя будущего.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Битный А. О попытках лесного управления к облесению степей // Журн. Мин. гос. имуществ.— 1864, октябрь.— Ч. 84.— С. 274—294. [2]. Граф В. Е. Два замечательных в физиологическом отношении дерева // Лесн. журн.— 1845.— Ч. 1, кн. 3.— С. 381—282. [3]. Граф В. Е. Наблюдения, проведенные в Великоанадольской образцовой лесной плантации (в Екатеринославской губернии) над влиянием климатических перемен на растительность вообще и на животных в 1848 г. // Лесн. журн.— 1850.— № 36.— С. 283—287; № 37.— С. 290—295; № 38.— С. 297—299. [4]. Граф В. Е. Неблагоприятное влияние 1853 года на Великоанадольскую плантацию и на растительность вообще // Газ. лесоводства и охоты.— 1855.— № 13, приложение.— С. 1—2. [5]. Граф В. Е. То же // Тр. Имп. ВЭО.— 1855.— Т. 3.— С. 33—69. [6]. Граф В. Е. Простонародные названия русских растений Н. Анненкова // Газ. лесоводства и охоты.— 1858.— № 32.— С. 393—394. [7]. Граф В. Е. Замечания на статью «Несколько слов о лесопромышленности в царстве Польском» // Там же.— С. 388—389. [8]. Граф В. Е. Об освоении древесных растений в Великоанадольском разсаднике // Там же.— № 30.— С. 361—366; № 31.— С. 372—378. [9]. Граф В. Е. Сведения о развитии деревьев и кустарников в Великоанадольской плантации (из письма заведующего означенным лесничеством В. фон Граффа к директору комитета) // Зап. комитета акклиматизации Имп. Моск. общ-ва сельск. хоз-ва.— 1858.— Кн. 1.— С. 61—82. [10]. Граф В. Е. Великоанадольское учебное степное лесничество // Журн. Мин. гос. имуществ.— 1863, ноябрь.— Ч. 84, отд. 2.— С. 334—341. [11]. Граф В. Е. *Natura et Cultura* // Зап. Имп. общ. сельск. хоз-ва южной России.— Одесса, 1865.— С. 412—426. [12]. О образцовом разведении лесов в Екатеринославской губернии.— ЦГИА, ф. 387, оп. 1, д. 10422, л. 21—22. [13]. О преобразовании Великоанадольского и Большемихайловского лесничеств.— ЦГИА, ф. 387, оп. 3, д. 24743, л. 10 [14]. О составлении инструкции для лесоразведения в степном крае России.— ЦГИА, ф. 387, оп. 2, ч. 1, д. 23071, л. 75—79. [15]. Протокол чрезвычайного заседания С.-Петербургского лесного общества 25 ноября 1892 г., посвященного чествованию памяти В. Е. фон Граффа // Лесн. журн.— 1893.— Вып. 1.— С. 102—116. [16]. Прапорщик Графф.— ЦГИА, ф. 387, оп. 1, д. 8002, л. 102—104. [17]. Редько Г. И. Степное лесоразведение в Великоанадольском лесхозаге: Учеб. пособие.— Спб.: ЛТА, 1992.— 76 с. [18]. Редько Г. И. Полковник корпуса лесничих.— Киев: Урожай, 1993.— 400 с. [19]. Рудзкий А. Дополнение // Журн. Мин. гос. имуществ.— 1863, декабрь.— Ч. 84, отд. 2.— С. 213—215. [20]. Рудзкий А. По поводу предыдущей статьи // Журн. Мин. гос. имуществ.— 1864, ноябрь.— Ч. 84.— С. 342—345. [21]. Турский М. К. Из поездки в некоторые леса средней и южной России. а) Великоанадольское лесничество // Лесн. журн.— 1884.— Вып. 5, 6.— С. 302—321. [22]. Чернявский Д. Открытие памятника В. Е. фон Граффу в Великоанадольском лесничестве 30 сентября 1910 года // Лесн. журн.— 1911.— Вып. 1—2.— С. 1—25. [23]. Ratzburg J. T. C. *Forstwissenschaftlichen Schriftsteller*—Lexicon.— Berlin, 1872.— 232 с.

УДК 630\*902

В. А. ИСАЕВ

С.-Петербургский государственный технический университет

## ПРОФЕССОР В. Э. ДЕН — ЗАЩИТНИК РУССКОГО ЛЕСА

Имя выдающегося ученого, экономиста-энциклопедиста, профессора Владимира Эдуардовича Дена было широко известно до середины 30-х гг. уходящего века в нашей стране и за рубежом, но впоследствии, по политическим причинам, оказалось почти полностью забытым. Правда, в юбилейном сборнике трудов Ленинградского политехнического института, посвященном 50-летию вуза, была опубликована статья

проф. М. Б. Вольфа «Владимир Эдуардович Ден» [1]. Это в целом очень интересная статья, не лишенная, однако, элементов субъективизма в оценке творчества В. Э. Дена.

В мае 1993 г. Центр по истории науки и техники при кафедре истории С.-Петербургского технического университета совместно с Русским географическим обществом провели научный симпозиум «В. Э. Ден и современная Россия», приуроченный к 125-летию со дня рождения ученого.

Владимир Эдуардович родился 27 (15) декабря 1867 г.; в 1890 г. закончил юридический факультет Московского университета с дипломом первой степени. В 1902 г. защитил диссертацию на тему «Население России по пятой ревизии», получив ученую степень магистра политической экономии и статистики. К этому времени В. Э. Ден уже опубликовал ряд серьезных научных работ по различным областям экономической науки.

В 1902 г. Владимир Эдуардович был избран профессором экономического отделения (факультета) только что открывшегося Петербургского политехнического института, где его стараниями была организована первая в истории России кафедра экономической географии, которую он возглавлял почти 30 лет — до 1931 г. В. Э. Дена по праву можно назвать отцом русской экономической географии. Затем он руководил кабинетом экономической географии, организованным им в начале века и носившим его имя с 1934 г. по 1971 г.

В. Э. Ден — один из основателей Географического института, который впоследствии был преобразован в географический факультет ЛГУ; в 1904 г. избран членом Русского географического общества. В конце 20-х гг. он разработал курс «Экономическая география СССР», выдержавший три издания. Ученый был не только основоположником экономической географии в России, но и крупнейшим статистиком с мировым именем, демографом, историком, глубоким специалистом в ряде важнейших отраслей промышленности, сельского хозяйства, лесного дела и др.

Владимир Эдуардович Ден — личность исключительно многогранная: он прекрасно играл на фортепьяно, написал много романсов, поддерживал дружеские связи с С. В. Рахманиновым; его неоднократно избирали председателем суда чести профессоров Политехнического института.

Одна из важнейших сторон деятельности В. Э. Дена — активная защита родной природы, рациональное использование богатейших природных ресурсов России. Предметом особой его заботы была судьба русского леса.

Первой крупной работой В. Э. Дена, посвященной бережному отношению к лесу, была большая концептуальная статья «Лес и лесное хозяйство России» [2]. В предисловии автора указано, что при написании этой работы он пользовался всеми имеющимися официальными изданиями бывшего Министерства государственных имуществ, Лесного департамента, уникальным изданием «О лесах России» [4].

В. Э. Ден отмечал, что в литературе совершенно не отражены тяжелые социальные условия рабочих, занятых в лесном хозяйстве и промышленности. По мере возможностей он старался осветить эти важнейшие вопросы.

В настоящее время в научной литературе (В. И. Вернадский, А. Л. Чижевский, В. О. Ключевский, А. А. Корнилов, Л. Н. Гумилев, зарубежные ученые А. Тойбни, О. Шпенглер, И. Пригожин и др.) прочно утвердилось точка зрения, согласно которой на формирование этносов и цивилизаций огромное влияние оказывают географическая среда, природные ландшафты. Одним из первых российских ученых В. Э. Ден

убедительно показал, что в формировании русской нации едва ли не решающую роль сыграли лес и многочисленные реки.

В своей работе «Лес и лесное хозяйство России» [2] В. Э. Ден дал краткую, но яркую картину истории использования леса в России, начиная с Петра I, которого считал Великим реформатором, неустанно заботившимся о сохранении и преумножении лесных богатств России.

После Петра I, отмечал проф. В. Э. Ден, отношение к лесу в России резко изменилось. Екатерина II своим указом 1782 г. освободила владельцев леса от всяких обязательств по охране и уходу за ним. Лишь в 1887 г. при Александре III было утверждено положение о сбережении лесов, а в 1888 г. закон об их охране, однако на практике они не соблюдались. Особенно хищническое истребление лесов началось после отмены крепостного права в 1861 г. «Освобожденные» крестьяне не получили леса, и самовольные порубки приобрели массовый характер. В стране быстрыми темпами стал развиваться капитализм; строились промышленные предприятия, железные дороги, складывался общероссийский рынок. Цены на древесину стремительно поднялись, что привело к истреблению огромных лесных массивов.

В. Э. Ден убедительно показал трагические последствия хищнического истребления лесов: ухудшение состава почв, изменение климата в обширных регионах России, обмеление рек, частые неурожаи, появление оврагов, ускорение таяния снега, препятствующее накоплению влаги в почве, вызывающее ее размывание и снижение плодородия. Борьбу с оврагами ученый считал задачей общегосударственной важности. В качестве эффективной меры он предлагал сажать кусты на их склонах, разбивать сады в оврагах, создавать лесозащитные полосы.

Владимир Эдуардович был решительным сторонником государственной собственности на крупные лесные массивы; только при этом условии можно вести лесное хозяйство на научной и рациональной основе. Он отмечал тенденцию к расширению государственных лесовладений во всех странах Запада. Ученый ратовал за многолетний оборот рубки: деление лесного массива на большое число участков, что невозможно в мелких частных лесах. Он считал лесосечное хозяйство более совершенным и предпочтительным по сравнению с выборочным, при котором лес приобретает очень пестрый и неухоженный вид. Особое внимание В. Э. Ден уделял анализу ведения лесного хозяйства в европейской части России. В Лесном институте В. Э. Ден с успехом читал курс «Лес и лесное хозяйство России».

После отмены крепостного права в России повсеместно формируется вольнонаемная лесная стража. На 1 января 1906 г. численность ее составила свыше 22 тыс. человек, но, как отмечал В. Э. Ден, 28 % работников стражи были неграмотными.

Анализ многочисленных материалов проф. В. Э. Дена позволяет сделать вывод, что и после усовершенствований в лесном управлении Россия продолжала серьезно отставать от цивилизованных государств.

Ученый предложил ряд радикальных мер по улучшению организации лесоустроительных, лесокультурных и лесных работ. Он считал необходимым составить план всех казенных лесов и произвести их подробное описание. Только после этого должен определяться способ рубки. Но как сплошные, так и выборочные рубки могли правильно вестись лишь в так называемых устроенных лесах, площадь которых, по данным на 1 января 1906 г., в Европейской России несколько превышала 16 млн десятин (15,3 % всех казенных лесов). Особенно много нестроенных лесных массивов было в Архангельской, Олонецкой, Вологодской, Вятской и Пермской губерниях. Правда, отмечал В. Э. Ден, в 1907 г. правительство приняло ряд энергичных мер по устройству

лесов на севере европейской части России. Многочисленные партии лесоустроителей в короткие сроки выполнили большую работу по лесоустройству. Уже на 1 января 1908 г. площади устроенных лесов в Европейской России составляли 39,3 % (приблизительно 2/5 всех казенных лесов).

Большое внимание проф. В. Э. Ден уделял лесокультурным работам. Он привел интересные данные об истории искусственного лесоразведения в России, начиная с Петра I.

Ученый дал ряд рекомендаций по тушению лесных пожаров, борьбе с вредителями леса, очистке лесосек и лесов от валежника, устройству и ремонту лесных дорог, мостов и гатей, прорубке просек и т. д.

Проф. В. Э. Ден считал, что в частновладельческих лесах хозяйство ведется чрезвычайно примитивно, гораздо хуже, чем в казенных. Он привел слова министра земледелия и государственных имуществ А. С. Ермолова, совершившего в 1895 г. длительную инспекционную поездку по лесам европейской части страны: «Частные леса представляют самую безотрадную картину каких-то пустырей, покрытых негодным, низкорослым и корявым лесом, который без надлежащего ухода никогда не сможет поправиться». В качестве примера хищнического ведения хозяйства в частных лесах В. Э. Ден использовал также статью В. Фааса «Очерк лесов Усвятского имения Витебской губернии» [5].

Свою статью «Лес и лесное хозяйство России» [2] В. Э. Ден несколько раз перерабатывал, и она неоднократно переиздавалась.

Мысли о рациональном использовании лесных богатств России ученый развил в своем классическом курсе экономической географии [3], в первом томе которого «Сельское хозяйство» помещена специальная глава «Лесоводство». В. Э. Ден был убежден, что без правильного ведения лесного хозяйства невозможен решительный подъем и сельского хозяйства. Фундаментальный труд «Сельское хозяйство» и ныне представляет большой интерес для глубокого понимания причин тяжелого положения сельского хозяйства дореволюционной России. Рекомендации В. Э. Дена по рациональному использованию лесных богатств России не утратили своего научного и практического значения. Ныне они приобретают особую актуальность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Вольф М. Б. Владимир Эдуардович Ден // Тр. / Ленинград. политехнич. ин-т.—1949.—№ 1. [2]. Ден В. Э. Лес и лесное хозяйство России // Изв. С.-Петербург. политехн. ин-та.—Спб., 1904.—Т. 2. [3]. Ден В. Э. Курс экономической географии. Ч. 1. Сельское хозяйство. Разд. 5. Лесоводство.—Спб.: Типогр. «Правда», 1908. [4]. О лесах России (к Всемирной Парижской выставке 1900).—Спб., 1900. [5]. Фаас В. Очерк лесов Усвятского имения Витебской губернии // Лесн. журн.—1906.—№ 8.—С. 870.

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630\*920 : 630\*931 : 502.3(049.3)

*Е. Г. ТЮРИН*

Северное предприятие Леспроект

*О. А. НЕВОЛИН*

Архангельский государственный технический университет

## ЦЕННАЯ КНИГА О ЛЕСНЫХ ЗАКОНАХ ПЕТРА I

Вышла в свет книга Г. И. Редько и В. П. Шлапака, написанная по результатам многолетних исследований лесного и природоохранительного законодательства Петра I в первой четверти XVIII столетия\*. Книга состоит из введения, пяти глав и библиографических ссылок. Вместо заключения приведена пророческая речь Петра I, произнесенная им 28 сентября 1714 г. при спуске на воду очередного корабля, которая заканчивалась словами: «Я предчувствую, что россияне когда-нибудь, а может быть еще и при жизни нашей, пристыдят самые просвещенные народы успехами своими в науках, неутомимостью в трудах и величием, твердой и громкой славой». Авторы подробно прокомментировали около 200 указов и писем Петра I по проблемам рационального лесопользования, своевременному воспроизводству лесов, сохранению и преумножению всех природных ресурсов.

В главе I рассматривается охрана природы и использование природных ресурсов в период до Петра I. В глубокую старину, судя по дошедшим до нас историческим материалам, на Руси, как и в других странах Европы, господствовала самая экстенсивная переложная система сельского хозяйства в лесопольной или подсечной формах. До образования централизованного Русского государства в составе разного рода княжеских землевладений были еще большие площадиничейных лесов, которыми пользовалось все население без ограничений.

Попытки охранять леса законом появились в начале текущего тысячелетия. Так, в XI в. при Ярославе Мудром поджог и порубка леса строго наказывались. Позже выдаваемые охранные грамоты утверждали исключительные права рубки только владельцам лесов. К тому времени в лесах появились межевые знаки на охотничьи и бортичные угодья, хотя точных постановлений о размежевании лесов между владельцами еще не существовало. Окончательное юридическое оформление феодально-государственной собственности на леса получила только в Соборном уложении Алексея Михайловича в 1649 г., где был приведен наиболее полный свод средневекового законодательства о лесах, который действовал до начала XVIII столетия.

В главе 2 приведены масштабы истребления лесов в России в конце XVII—начале XVIII вв. В жизни русского народа леса издавна играли большую роль. Из дерева сооружали жилые и хозяйственные бревенчатые строения, величественные храмы, княжеские терема и

---

\* Редько Г. И., Шлапак В. П. Петр I об охране природы и использовании природных ресурсов.— Киев: «Либідь», 1993.— 176 с.

дворцы, нередко окруженные надежными деревянными стенами. Огромное по тем временам количество древесины шло на строительство кораблей и лодок, производство поташа, древесного угля и селитры, отопление жилищ, смоло- и дегтекурение, солеварение, обжиг кирпича, жжение извести и др.

Первые тревожные сведения о сокращении лесных площадей в нашей стране касались южных и центральных областей, однако и на далеком Севере, в таежном урочище Соловецкого монастыря, уже в 1635 г. дозорщики установили, что «плавежного лесу — сечь нечего», он был вырублен.

В XVI в. при Иване Грозном, стремившемся укрепить позиции Московского государства, в Вологде строили десятки судов. На Севере работали водяные пильные мельницы, начиналось строительство корабельных верфей. На с. 19 авторы пишут, что в 1548 г. построена верфь в Соловецком монастыре, одна из пильных мельниц была сооружена в 1553 г. на Северной Двине вблизи с. Вавчуга, что в 80 км от Архангельска. Пионеры отечественного морского кораблестроения Федор и Осип Баженины получили ее в 1671 г. Здесь справедливости ради, надо сказать, что холмогорские купцы, братья Федор и Осип Баженины не были пионерами отечественного морского кораблестроения. Архивные материалы свидетельствуют о том, что еще в XV в. поморы артельно строили морские суда и ходили до Груманта, как в древности называли архипелаг Шпицберген в Северном Ледовитом океане. Длинной эти суда были 11 сажень (24 м) и грузоподъемностью — 12 тыс. пудов (190 т). В порядке уточнения заметим, что пильная мельница, перешедшая Бажениным в 1671 г., одна из старейших в России, была сооружена не на Северной Двине, а на речке Вавчуге. В 1680 г. на ее месте Баженины построили лесопильный завод. В 1693 г. Петр I разрешил им открыть судостроительную верфь. Именно на этой верфи зимой 1702/1703 гг. были построены два фрегата, на которых Петр I отплыл к Соловкам, а затем до Ньючи, волоком отправился до Повенца к Онежскому озеру, по Свири на Ладогу к истокам Невы на штурм шведской крепости Шлиссельбург. Северный лес был традиционным объектом экспорта через Архангельский порт.

Для успешного строительства в Архангельске государственного торгового флота Петр I повелел стольнику Степану Ключкову выяснить, сколько и в каких окрестных местах имеется корабельных лесов.

В главе 3 рассматриваются интересные исторические материалы о корабельных лесах, заповедных породах, бережении засек, попечении дубовых лесов, лесовозобновлении и лесоразведении, аптекарских огородах и ботанических садах, парках, озеленении улиц и дорог. Весь этот обширный перечень проблем нашел отражение в беспокойной деятельности первого русского лесоведа.

Обнаружив недостаток корабельных лесов, Петр I позаботился об их сохранении и преумножении для будущих потребностей российского флота в древесине. Вот почему большинство его лесных законов носило природоохранный характер. При этом многие детали агротехники, встречающиеся в указах и распоряжениях Петра I, не оставляют сомнений в том, что он лично знал искусство пересадки и выращивания деревьев.

Для повышения качества многочисленных проектов в 1719 г. он издал указ об улучшении «прожектного дела» в России, который гласил: «Все прожекты зело исправлены быть должны, дабы отечеству ущерба не чинить. Кто прожекты абы как ляпать будет, того чина лишу и кнутом драть велю». Таким образом, несмотря на большие площади российских лесов, Петр I был убежден, «что без бережи и самые большие леса истребятся могут в краткое время», и поэтому де-

лал все возможное, чтобы отдалить такое время не только от современников, но и от будущих поколений.

Даже неполный перечень разделов из глав 4 и 5 показывает широту познаний Петра I как автора первой общегосударственной лесной инструкции и их актуальность в наше время. Полный текст петровского объявления и правил пользования марциальными водами (глава 5) свидетельствует о всесторонности проведенных авторами интереснейших исторических изысканий. Жаль только, что здесь не нашлось места поведать читателю историю открытия целебного источника и первого санатория в России.

Любознательные читатели узнают, что Петра I не ради любопытства интересовали масштабы истребления лесов. Он чувствовал ответственность перед будущим России, поэтому создавал аптекарские огороды, ботанические сады, садово-парковые ансамбли, занимался посадками и посевами дуба, организовывал подготовку лесных знателей и специалистов-мастеровых.

Написанная в научно-популярном стиле, книга насыщена огромным фактическим материалом, легко читается и, несомненно, заинтересует широкий круг почитателей Российской истории, лесоводов, преподавателей и студентов лесных вузов и техникумов.

В заключение отметим, что лесные законы Петра I, его энергичные меры по выделению и охране корабельных лесов имели большое значение в истории развития лесного хозяйства России. Они явились прочным фундаментом лесоуправления и предопределили хотя и медленное, но единственно верное направление развития отечественного лесного хозяйства.

УДК 581.132(049.3)

А. В. ВЕРЕТЕННИКОВ

Воронежский лесотехнический институт

**МОНОГРАФИЯ О СТРУКТУРЕ И ФУНКЦИЯХ  
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА  
ХВОИ ЕЛИ СИБИРСКОЙ\***

Со значительной долей условности можно утверждать, что биологическая продуктивность растений, в том числе древесных, есть функция фотосинтеза. Поэтому актуальны любые исследования фотосинтетического аппарата, углубляющие представления о его структуре и функциональной активности. Важность подобного рода работ, к которым относится и рецензируемая, возрастает в связи с высокой хозяйственной ценностью объекта исследования, а также со структурными и функциональными особенностями хвой.

Объектом исследования служила хвоя ели сибирской 80-летнего возраста, произрастающей в двухъярусном сосново-еловом насаждении черничного типа леса на иллювиально-гумусово-железистом подзоле на песках, подстилаемых суглинками.

Существенное место в монографии отведено анатомо-морфологической и ультраструктурной организации хвой в онтогенетическом аспекте, ее органогенезу и гистогенезу. Исследователи выявили шесть основных этапов в ходе развития хвой ели: I — заложение листового бугор-

\* Ладапова Н. В., Тужилкина В. В. Структурная организация и фотосинтетическая активность хвой ели сибирской.— Сыктывкар, 1992.— 100 с.

ка; 2 — апикальный рост; 3 — маргинальный рост; 4 — интеркалярный рост; 5 — рост растяжением клеток; 6 — завершение дифференциации тканей после окончания роста хвои. Показано, что мезофилл клеток окончательно формируется на второй год роста хвои, но число слоев его инициалей определяется в год ее заложения. Продолжительность жизни хвои ели сибирской в рассматриваемом регионе (северо-восток европейской части страны) составляет 12...14 лет.

Отдельная глава посвящена фонду пластидных пигментов в хвое, его динамике и состоянию хлорофилл-белково-липоидного комплекса по ходу развития хвои. Сделан вывод, что характер соотношения прочносвязанных с белками форм хлорофилла определяется фазой развития и метеорологическими условиями.

Представлены материалы о суточной и сезонной потенциальной скорости (а не интенсивности) фотосинтеза и зависимости ее от возраста хвои. Показано, что наряду с освещенностью в условиях Севера определяющее воздействие на фотосинтез оказывает температура воздуха и почвы и что наиболее активный фотосинтез присущ хвое первого года жизни. Отмечена тесная связь ее структуры с активностью фотосинтеза.

Выявлены закономерности изменения анатомо-морфологических характеристик хвои ели и функциональной ее деятельности в различных частях кроны деревьев. Показано, что адаптация фотосинтетического аппарата хвои ели сибирской к ослабленному освещению в пределах кроны связана с большим развитием гранулярно-тилакоидной структуры клеток мезофилла хвои, увеличением содержания хлорофилла и более прочной связью последнего с белковым компонентом в процессе формирования ультраструктуры хлоропластов.

Работа окажется полезной лесным ботаникам и физиологам древесных растений, преподавателям и студентам лесных вузов.

К недостаткам рецензируемой монографии следует отнести не совсем логичное расположение материала, а также отсутствие каких-либо сведений о количестве реакционных центров ФС-1 и ФС-2, фотосинтетическом фосфорилировании древесных растений вообще и хвойных пород в особенности, их связи с экологическими факторами.

---

## ЮБИЛЕИ

УДК 06.091.5

## ЮБИЛЕИ ЮРИЯ ЯКОВЛЕВИЧА ДМИТРИЕВА

8 мая 1994 г. исполнилось 75 лет со дня рождения и 55 лет производственной, научной, педагогической и общественной деятельности доктора технических наук, профессора, академика АЕН Российской Федерации, заведующего кафедрой водного транспорта леса, гидравлики и водных ресурсов Марийского политехнического института Юрия Яковлевича Дмитриева.

Ю. Я. Дмитриев родился в семье лесничего Вятской губернии. В 1938 г. после окончания средней школы поступил в Ленинградскую лесотехническую академию. Во время Великой Отечественной войны добровольцем ушел в ряды Балтийского флота защищать Ленинград.

Свою трудовую деятельность Ю. Я. Дмитриев начал в 1953 г. После окончания академии работал на лесосплавных предприятиях треста Камлесосплав начальником участка, главным инженером, директором предприятия и начальником ПТО треста.

В 1957 г. Юрий Яковлевич на педагогической работе в Поволжском лесотехническом, ныне Марийском политехническом институте в должностях, старшего преподавателя, заведующего кафедрой водного транспорта леса и гидравлики, декана лесоинженерного факультета, проректора по научной работе. В течение 3 лет он был ректором Ставропольского политехнического института. Обладая разносторонним производственным опытом и широкой эрудицией, Ю. Я. Дмитриев проявил себя как высококвалифицированный педагог и научный работник. Он воспитал тысячи специалистов лесоинженерного дела, 28 кандидатов и 6 докторов наук.

Основные научные труды Ю. Я. Дмитриева посвящены проблеме повышения эффективности водного транспорта леса: созданию искусственных транспортных потоков внутриречных сооружений; внедрению в производство аспектов береговой плотки и сооружения плотбищ. В его докторской диссертации «Исследование возбужденных гидравлическими струями потоков с целью их использования на лесосплаве» рассмотрена проблема использования потокообразователей на лесосплаве. Особое место занимает цикл работ ученого по комплексной целевой программе «Марийский лес». Им опубликовано свыше 200 научных работ. В их числе четыре учебника (в соавторстве) по специальности «Водный транспорт леса», монографии, статьи; получено 27 авторских свидетельств на изобретения.

Ю. Я. Дмитриев — организатор Отделения наук о лесе АЕН России; возглавляет созданный им при МарПИ Академический научно-исследовательский институт управления лесобиологическим потенциалом регионов России. Юрий Яковлевич поддерживает тесную связь с промышленными предприятиями как председатель Комитета экологии Союза лесопромышленников России и главный консультант по водному транспорту леса Волго-Камского бассейна.

Ю. Я. Дмитриев как участник Великой Отечественной войны имеет боевые правительственные награды. Ему присвоено звание заслуженного деятеля науки и техники Республики Марий Эл и Российской Федерации. Он награжден орденом «Знак Почета» и знаком «Отличник

высшей школы», почетными грамотами правительства Республики Марий Эл, Министерства лесной промышленности, общества «Знание», является почетным гражданином Йошкар-Олы.

Желаем Юрию Яковлевичу крепкого здоровья и творческих успехов в его многогранной деятельности!

Коллектив кафедры водного транспорта  
леса, гидравлики и водных ресурсов Ма-  
рийского политехнического института

УДК 06.091.5

### ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ И ПЕДАГОГ

25 ноября 1993 г. исполнилось 70 лет со дня рождения и 45 лет научной и педагогической деятельности заведующего кафедрой зоологии и охотоведения С.-Петербургской лесотехнической академии, доктора биологических наук, профессора Олега Александровича Катаева.

О. А. Катаев родился в Харькове, окончил среднюю школу в Кирове. После демобилизации из армии, где до конца войны служил в авиации, он поступил на лесохозяйственный факультет Ленинградской лесотехнической академии, с которой навсегда связал свою жизнь. Окончив ее с отличием, О. А. Катаев поступил в аспирантуру. Еще тогда началась педагогическая деятельность Олега Александровича, ставшая главным делом его жизни. В 1952 г. он защитил кандидатскую диссертацию и остался работать на кафедре сначала ассистентом, а затем старшим преподавателем и доцентом. В 1961 г. был назначен заместителем, а затем более 10 лет являлся деканом лесохозяйственного факультета, совмещая эту должность с заведованием кафедрой лесной энтомологии.

Научная деятельность О. А. Катаева началась в студенческие годы с изучения усыхания ельников в Сиверском и Лисинском лесхозах и связанных с ним массовых размножений короедов. Позднее он многократно возвращался к этой теме. Результатом детального изучения проблемы усыхания еловых лесов в северо-западной части ареала ели и сопутствующей этому росту численности короеда-типографа стали несколько крупных и обобщающих проблему работ, в которых вскрыты закономерности процессов в динамике популяций вредителей и их кормовой породы, взаимосвязи с циклами солнечной активности и погодной ситуацией на больших территориях европейской лесной зоны. На основании этих работ в 1983 г. О. А. Катаеву была присвоена степень доктора биологических наук.

В 1950 г. еще в аспирантуре состоялась первая далекая экспедиция О. А. Катаева в Туву, Саяны, где он изучал стволовых вредителей и разработал методы учета их численности в лесах. С этого времени О. А. Катаев начал постоянно сотрудничать с Московской лесопатологической экспедицией, привлекая сотрудников, аспирантов и студентов к поездкам в разные края страны. Это позволило ему впоследствии внести весомый вклад в развитие методов лесопатологических обследований, а также привить большому отряду молодых специалистов любовь к далеким странствиям и исследовательской деятельности, приобрести профессиональные навыки в области лесной энтомологии и лесозащиты. География научных экспедиций, организованных под руководством и при непосредственном участии О. А. Катаева, охватывает почти всю таежную зону — от Калининградской области до Восточной Сибири.

Параллельно он занимался вопросами защиты семян хвойных пород от вредителей, разработал долгосрочный и сверхдолгосрочный прогноз динамики численности хвоегрызущих насекомых с учетом влияния циклов солнечной активности.

Ежегодные экспедиции и детальные наблюдения на постоянных пробных площадях позволили О. А. Катаеву сделать обобщения по совершенствованию учета и прогнозирования численности стволовых насекомых. При этом большое внимание он уделил методическим вопросам изучения популяций короедов и методам изучения состояния повреждаемых древостоев.

В связи с возрастающей техногенной нагрузкой на леса О. А. Катаев вместе с сотрудниками кафедры начинают и успешно развивают обширный цикл работ по проблеме комплексного изучения влияния промышленных выбросов на лесную растительность и особенности формирования энтомокомплексов в этих условиях. Одновременно на кафедре разрабатываются вопросы энтомологического мониторинга в условиях антропогенного воздействия.

Результатом многолетней и разносторонней научной деятельности О. А. Катаева являются более 160 публикаций, в том числе ряд интересных монографий и методических разработок.

Еще в конце 50-х — начале 60-х гг., продолжая заниматься проблемой усыхания еловых лесов и короедами, на материале своих исследований О. А. Катаев с неизменным оператором В. Концевым создал учебные фильмы под единым названием «Вредители леса», куда вошли картины «Биология короедов» и «Короед-типограф». Эти фильмы демонстрировались на Международном фестивале документальных учебных фильмов, были удостоены диплома II степени и вызвали одобрение специалистов в нашей стране и за рубежом. И в дальнейшем одновременно с экспедиционными выездами совершаются киноэкспедиции и создаются учебные фильмы «Сибирский шелкопряд», «В очаге лунчатого шелкопряда», «Пихтовый усач», «Вредители сосновых молодняков», всего более 10 фильмов. Каждый из них неповторим по своей познавательной ценности.

Важнейшей стороной деятельности О. А. Катаева является музейное дело. Благодаря его стараниям коренным образом преобразился существующий в Лесотехнической академии с давних пор уникальный музей лесной энтомологии. Значительно расширены и пополнены коллекции, заменены или реставрированы устаревшие, изготовлены десятки таблиц по разным видам насекомых, ряд из них самим ученым. В музее экспонируется около 5 тысяч видов насекомых, смонтированы десятки коллекций по биологии практически всех основных видов лесных насекомых таежной зоны. Почти заново создан также музей лесных зверей и птиц. О. А. Катаев по праву является одним из активнейших членов Совета учебных музеев нашей страны.

Будучи человеком исключительно активным, Олег Александрович много сил и энергии отдает общественной работе. Он является членом Совета и вице-президентом Российского энтомологического общества при Российской академии наук, где руководит секцией лесной энтомологии. Активно участвует в организации и работе многочисленных научных форумов международного, государственного и регионального уровня, Федеральной службы лесного хозяйства России, методических и специализированных советов вузов и научных учреждений. На протяжении многих лет возглавляет оргкомитет и состоит членом жюри городской олимпиады школьников по биологии.

Многочисленные ученики и коллеги О. А. Катаева отмечают его блестящее педагогическое мастерство, соединяющееся с глубокими и разносторонними знаниями не только своих предметов, но и всей об-

ширной сферы лесохозяйственных и биологических знаний, врожденную культуру и интеллигентность, демократичность и полное отсутствие формализма, интерес и внимание к людям независимо от их положения и ранга, большую доброжелательность. Эти качества сочетаются с принципиальностью и высокой требовательностью к себе и другим, если дело касается научной и просто человеческой этики, профессионального и общественного долга. Друзья и коллеги Олега Александровича знают его как ценителя музыки, литературы, истории, живописи. Все эти черты неизменно привлекают к нему людей всех возрастов. Он постоянно окружен молодежью, полон идей, энергии.

За годы работы в Академии О. А. Катаев подготовил для науки и производства большой отряд выпускников, среди которых много известных деятелей и талантливых ученых и специалистов лесного хозяйства и озеленения. Его аспиранты, успешно защитившие диссертации, работают в С.-Петербурге и Харькове, Минске и Краснодаре, Каире, Софии и Ханое.

Приветствуя Олега Александровича Катаева по случаю юбилея, желаем ему крепкого здоровья, новых творческих успехов, благополучия, талантливых и благодарных учеников, процветания делу, которому он служит.

Коллеги и ученики

---