

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

2

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. Н. Коваленко**, акад. **В. А. Кучерявый**, проф. **Н. В. Лившиц**,
проф. **Е. Г. Мозолева**, доц. **О. А. Неволнин**, акад. **А. Н. Обливин**
акад. **В. И. Онегин**, акад. **А. Р. Редин**, д-р биол. наук **Л. П. Рысин**,
проф. **В. П. Рябчук**, проф. **Е. Д. Сабо**, проф. **В. И. Санев**, акад. **О. А. Терентьев**, проф. **Н. И. Федоров**, проф. **В. Я. Харитонов**, д-р с.-х. наук
Г. А. Чубисов, акад. **Г. М. Шугов**, проф. **В. В. Щелкунов**, проф.
А. А. Эльберт.

Ответственный секретарь **Р. В. Беликова**.

«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» № 2

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

Сдан в набор 18.05.94. Подписан в печать 18.10.94.
Форм. бум. 70 × 108^{1/8}. Бумага мелованная. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 12,776. Усл. кр.-отт. 12,776. Уч.-изд. л. 15,51. Тираж 1 000 экз. Заказ 1424.
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

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

| | |
|--|----|
| В. А. Усольцев, И. В. Мельникова, З. Я. Нагилов, С. В. Теликин. Оценка массы крон сосны с использованием биологически обусловленных взаимосвязей | 7 |
| Н. А. Бабич. Продуктивность культур сосны на Европейском Севере | 14 |
| Л. А. Варфоломеев, А. П. Рыбинская. Об агроэкологической сущности переработки отходов окорки древесины на органические удобрения | 18 |
| Т. В. Якушева, Е. Н. Кузнецов, А. В. Грязькин. Динамика роста молодого поколения ели под пологом древостоев и на вырубках | 24 |
| А. И. Уерин. Организация лесокультурной площадки на основе парцеллярной структуры эдафических условий | 29 |
| Т. Я. Турчин. Оценка и прогноз успешности порослевого возобновления дуба в пойменных лесах Дона | 32 |
| | |
| ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ | |
| С. И. Морозов. Методика решения задачи удара колеса о рельс в стыках | 35 |
| П. М. Мазуркин. Производительность лесозаготовительной машины | 42 |
| П. М. Мазуркин. Бюджетная эффективность проектируемых лесозаготовительных машин | 46 |
| В. И. Кучерявый. Моделирование ресурса деталей лесных машин по критерию трещиностойкости | 52 |
| Р. Л. Коровкин, В. В. Казанцев. Динамическое воздействие тепловоза ТУ7 на переносные конструкции элементов временных путей | 55 |

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

| | |
|---|----|
| В. Г. Туршиев, А. Е. Алексеев, Е. В. Пастухова. Повышение эффективности использования кусковых отходов лесопиления | 60 |
| И. С. Мемзов. Оптимизация раскряса древесины на комплектные изделия | 65 |
| Ю. А. Варфоломеев, Е. Г. Костина. Воздействие антисептиков на рост растений и генерацию ими активных форм кислорода | 69 |
| А. Е. Елксеев. О построении процесса производства пилопродукции с учетом способности древесины к деформированию | 74 |
| С. В. Ершов. О двух подходах в расчете колебаний вращающегося диска пилы | 78 |

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

| | |
|---|-----|
| Б. П. Ерыхов, М. Я. Натанзон, И. В. Попов. Оценка сухого трения методом крутильных колебаний | 85 |
| Ю. Г. Хабаров, С. В. Манахова. О взаимодействии лигносульфонowych кислот с катионом железа (+3) | 93 |
| И. С. Гелес, Г. М. Левкина. Влияние морфологии трахенд сосны и ели на результаты сульфитной варки и свойства получаемой небеленой целлюлозы | 96 |
| Ф. Х. Хакимова, Т. Н. Ковтун, И. Г. Изюмов. Древесина тополя как сырье для целлюлозного производства | 102 |
| И. Я. Қиселев. Механизм формальдегидной денатурации ферментов | 108 |

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

| | |
|--|-----|
| Л. Б. Иванов. Показатели использования экономического потенциала предприятия | 111 |
| Н. М. Гончарова. Роль интеграции в развитии лесопромышленного комплекса | 114 |

МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

| | |
|--|-----|
| И. С. Мелехов. Некоторые аспекты преподавания лесных знаний на лесозаготовительных факультетах международной сферы | 118 |
|--|-----|

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

| | |
|---|-----|
| Е. И. Хавкина. Один из методов динамического анализа механизмов лесных погрузчиков | 122 |
| Э. Н. Сабуров, А. Н. Орехов. Исследование теплоотдачи в циклонных камерах большой относительной длины | 124 |
| В. К. Любов, В. А. Дьячков, В. И. Шмаков, Ф. Э. Финкер. Исследование тепло-технических характеристик гидролизного лигнина | 135 |
| А. А. Кулыгин. Влияние температурных условий на созревание семян каштана конского и ясеня зеленого | 137 |
| А. И. Барабин. Об обильном урожае шишек ели на севере европейской части России в 1989 г. | 139 |

НЕКРОЛОГИ

| | |
|---|-----|
| Коллеги по работе, друзья. Чупка Эдуард Имерихович | 142 |
| С. И. Морозов, А. В. Веретенников. Читательская конференция «Лесного журнала» | 143 |

CONTENTS
FORESTRY

| | |
|--|----|
| <i>V. A. Usoltsev, I. V. Melnikova, Z. Ya. Nagimov, S. V. Terikin.</i> Crown biomass Estimation Based on Biology-Conditioned relationships in Scots Pine | 7 |
| <i>N. A. Babitch.</i> Productivity of Common Pine Stands in the European North | 14 |
| <i>L. A. Varfolomeev, A. P. Rybinskaya.</i> On agroecological Nature of Timber Debarking Residues Conversion into Organic Fertilizers | 18 |
| <i>T. V. Yakusheva, E. N. Kuznetsov, A. V. Gryaz'kin.</i> Growth Dynamics of Spruce Young Generation under Stands Canopy and in Felled Areas | 24 |
| <i>A. I. Ugrin.</i> Regeneration Area Management on the Basis of Parcel Structure of Edaphic Conditions | 29 |
| <i>T. Ya. Turchin.</i> Estimation and Successfulness Forecast of Oak Shoot Regeneration in Flood-Plain Forests of the Don | 32 |

WOODEXPLOITATION

| | |
|---|----|
| <i>S. I. Morozov.</i> Methods of Solving Problems on Wheel Impact on a Rail at Joints | 35 |
| <i>P. M. Mazurkin.</i> Harvesting Machine Capacity | 42 |
| <i>P. M. Mazurkin.</i> Biotechnical Efficiency of Designed Harvesting Machines | 46 |
| <i>V. I. Kucherayvi.</i> Simulation of Forestry Machinery Parts Resource by Crack Resistance Test | 52 |
| <i>R. L. Korovkin, V. V. Kazantsev.</i> Diesel Locomotive TU7 Dynamic Influence on Field Railroad Structure Members | 55 |

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD
AND WOOD SCIENCE

| | |
|---|----|
| <i>V. G. Turushev, A. E. Alexeev, E. V. Pastukhova.</i> Utilization Efficiency Raise of Sawmill Solid Residues | 60 |
| <i>I. S. Mezhev.</i> Optimization of Timber Cutting into Half-Finished Products | 65 |
| <i>Yu. A. Varfolomeev, E. G. Kostina.</i> Wood Preservatives Effect on Growth of Plants and the Latter Generation of Active Forms of Oxygen | 69 |
| <i>A. E. Alexeev.</i> Reduction of Sawn Wood Deforming Capacity by Process Techniques | 74 |
| <i>S. V. Ershov.</i> On Two Approaches to Calculation of Rotary Saw Disk Oscillations | 78 |

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

| | |
|--|-----|
| <i>B. P. Erykhov, A. Ya. Natanson, I. V. Popov.</i> Evaluation of Dry Friction by Torsional Vibration Technique | 85 |
| <i>Yu. G. Khabarov, S. V. Manakhova.</i> Interaction of Lignosulphonate Acids and Ferrum (+3) | 93 |
| <i>I. S. Geles, G. M. Levkina.</i> Influence of Pine and Spruce Tracheid Morphology on the Results of Sulphite Pulp Cooking and the Properties of Unbleached Pulp Obtained | 96 |
| <i>F. Kh. Khakimova, T. N. Kovtun, I. G. Izumov.</i> Sunk Wood as Pulp Raw Materials | 102 |
| <i>I. Ya. Kisejlov.</i> Mechanism of Formaldehyde Denaturation of Ferments | 108 |

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- L. B. Ivanov.* Indicators of Using Economic Potential of an Enterprise 111
- N. M. Goncharova.* Role of Integration in the Development of Timber Industry 114

METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING

- I. S. Melekhov.* Some Aspects of Forest Science Teaching at Forestry Economics Faculties of International Sphere 118

SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE

- E. I. Khanikin.* One of Dynamics Analysis Methods of Forest Leaders 122
- E. N. Saburov, A. N. Orekhov.* Research into Heat Output in Cyclone Chambers of Large Relative Length 124
- V. K. Lyubov, V. A. Dyachkov, V. I. Shmakov, F. Z. Finker.* Research into Thermotechnical Properties of Hydrolysis Lignin 135
- A. A. Kulygin.* Effect of Temperature Conditions on Seed Ripening of Horse Chestnut and Green Ash 137
- A. I. Barabin.* On Abundant Harvest of Spruce Cones in the North of European Part of Russia in 1989 139

OBITUARIES

- Colleagues on the Staff, Friends.* Eduard I. Chupka 142

- S. I. Morozov, A. V. Veretennikov.* Readers' Conference of "Lesnoi Zhurnal" 143

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*524.39 + 630*174.754

В. А. УСОЛЬЦЕВ, И. В. МЕЛЬНИКОВА, З. Я. НАГИМОВ,
С. В. ТЕЛИКИН

Уральская государственная лесотехническая академия

ОЦЕНКА МАССЫ КРОН СОСНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
БИОЛОГИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

Дана оценка массы хвоя и скелета кроны посредством множественных регрессионных уравнений. Показана большая эффективность совместного учета факторов, косвенно отражающих особенности ксилемного и флоэмного транспорта.

Estimation of pine-needles biomass and the crown skeleton by numerous regression equations has been given. A great effectiveness of joint account of the factors indirectly reflecting the features of xylem and phloem transport compared to coupled connections has been shown.

Масса и поверхность листьев дерева функционально связаны с двумя потоками влаги — восходящим ксилемным и нисходящим флоэмным. Впервые они были обнаружены в конце XVII в., за 100 лет до открытия явления фотосинтеза, оригинальными опытами М. Мальпиги [4]. Два названных аспекта предполагают сбалансированность поверхности (массы) листьев с площадью сечения водопроводящей заболони и приростом объема ствола.

Первый из них получил развитие в работах японских исследователей в виде пайп-модели, или «модели трубок» [15, 17, 19, 21] и предполагается инвариантность зависимости массы листьев P_x расположенной выше определенного сечения ствола, от площади водопроводящей заболони S в этом сечении. Отношение показателей P_x/S характеризует водопроводящую способность сосудов ксилемы и согласно пайп-модели представляется постоянной величиной. Дальнейший исследованиеми установлена связь проводящей способности P_x/S с рядом других дендрометрических показателей [14, 20]. На примере березняков Среднего и Южного Урала, Казахского мелкосопочника и боровых боров Тургайского прогиба нами было показано [11], что применение прибора жено инвариантных взаимосвязей массы кроны с диаметром ствола у ее основания позволяет существенно снизить трудоемкость составления нормативов оценки массы кроны без снижения их точности. Взаимообусловленность фотосинтезирующей массы P_x и объема пророста Z_v была отмечена в прошлом столетии Р. Гартигом [18]. В 20—30-х гг. первые количественные характеристики названной связи были получены Г. Бургером [16], И. Буссе [18] и А. С. Яблоковым [12]. Однако дальнейшие исследования показали, что соотношение $P_x \sim Z_v$ не является инвариантным и зависит от погодных условий текущего года [7], положения дерева в пологе (диаметра ствола) и его возраста [6], высоты [13].

Объемный прирост Z_v тесно связан с приростом площади сечения ствола Z_g . Последний же можно рассчитать на два легко измеряемых показателя — диаметр ствола на высоте груди D и годичный радиаль-

Таблица 1

| Тип леса | Класс онни-тета | Распределение числа пробных площадей (числитель) и модельных деревьев (знаменатель) по классам возраста | | | | | | | Итого |
|---|-----------------|---|------|-------|------|------|------|----------|--------|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII—XII* | |
| Сосняк раз- нотравный С. ягодни- ковый С. бруснич- ный | I | — | — | — | 2/12 | — | — | — | 2/12 |
| | II | — | 1/3 | 5/32 | 1/7 | 3/18 | 1/8 | — | 12/73 |
| | III | — | 2/12 | 2/15 | — | 1/7 | 1/8 | — | 6/42 |
| | IV | — | — | 1/5 | — | — | — | — | 1/5 |
| | | 1/3 | 3/13 | 2/9 | 4/11 | — | — | — | 10/36 |
| | | — | — | 2/7 | — | 1/7 | — | — | 3/14 |
| Всего | — | 1/3 | 6/28 | 12/68 | 7/30 | 5/32 | 2/16 | 1/5 | 34/182 |

* Разновозрастный сосняк.

ный прирост ствола на этой же высоте Z , усредненный, например, за последние 5 лет. Каждый из них изменяется с возрастом и условиями произрастания независимо один от другого [9], но в совокупности они обеспечивают приближенную инвариантность оценки массы хвой и скелета кроны относительно упомянутых возраста и условий произрастания в пределах исследуемого региона. Это было показано на примере ели Среднего Урала [10], а также сосны островных боров Казахстана [8] и Среднего Урала [5] в результате расчета двухфакторных уравнений вида $P_x = f(D, Z)$ с коэффициентами детерминации 0,912...0,959.

По литературным источникам нами был выполнен анализ биологическое обусловленных взаимосвязей массы крон деревьев в аспекте как ксилемного, так и флоэмного транспорта на феноменологическом уровне [9]. Поскольку ни та, ни другая концепция не обеспечивают строгой инвариантности соотношений $P_x \sim S$ и $P_x \sim Z_w$ в предлагаемой работе предпринята попытка совместить их в целях более точной оценки массы крон деревьев.

Исследования проведены в чистых сомкнутых сосняках Зауральской холмисто-предгорной провинции в пределах средней (Карпинский лесхоз) и южной (Учебно-опытный лесхоз УГЛТА) подзон тайги [3]. Характеристика пробных площадей приведена в табл. 1.

Модельные деревья взяты по ступеням толщины в диапазоне их варьирования в древостое. Для каждой модели измеряли в двух направлениях диаметры ствола у основания кроны и на высоте груди и радиальный годичный прирост, средний за последние 5 лет. Крону делили по длине на три секции, каждую взвешивали с точностью до 50 г, отделяли секаторами охвоенные побеги (древесную зелень — ДЗ) и вновь взвешивали. ДЗ перемешивали, и для определения соотношения хвой и побегов брали навеску (1/4—1/6 общей массы). Хвою навески отделили и взвешивали с точностью до 1 г. По установленным соотношениям находили массу хвой и скелета кроны (ветви + побеги) каждой секции и дерева в целом. Из секций кроны брали также по одной навеске для определения содержания сухого вещества в хвое, ветвях и побегах термовесовым методом. Фракции фитомассы кроны высушивали до абс. сухого состояния, за исключением ДЗ, которая, как полуфабрикат для последующей переработки, учитывается обычно в свежесрубленном виде.

В целях обеспечения наглядности и возможности содержательного анализа экспериментальных данных графики (рис. 1 и 2) построены лишь для некоторой части массива, но с сохранением предельных зна-

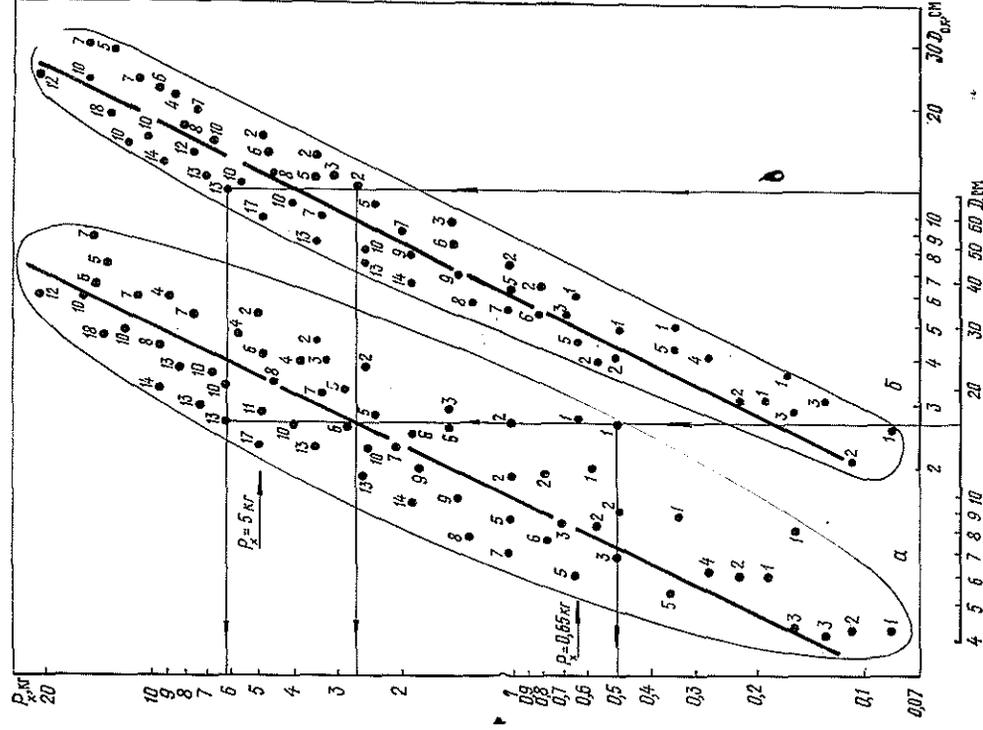


Рис. 1. Зависимость массы хвои дерева: а — от диаметра на высоте груди D , по уравнению (1); б — от диаметра ствола у основания кроны $D_{0.к.}$ по уравнению (2). Цифрами обозначен радиальный прирост Z в десятых долях миллиметра

чений полей распределения. Анализ данных дает возможность подтвердить целесообразность расчленения прироста Z_g на две составляющие D и Z и замены соотношения $P_x = f(Z_v)$ более информативным $P_x = f(D, Z)$. Из рис. 1, а видно, что одна и та же масса хвои $P_x = 0,65$ кг относится к деревьям разного диаметра 6 и 16 см, но прирост первого Z равен 0,05 см, а второго — 0,01 см. Прирост площади сечения, рассчитанный по формуле $Z_g = \pi DZ$, в первом случае составляет 1,0, во втором 0,5 см². Для деревьев с массой хвои 5 кг показатели Z_g равны соответственно 7,5 и 2,0 см². Иными словами, одной и той же массе хвои соответствуют разные значения Z_g и, наоборот, одному Z_g — разные значения массы хвои.

Но, с другой стороны, при одном и том же диаметре D масса хвои пропорциональна величине Z (рис. 1, а). Например, для $D = 16$ см перепад предельных показателей массы хвои и приростов Z примерно

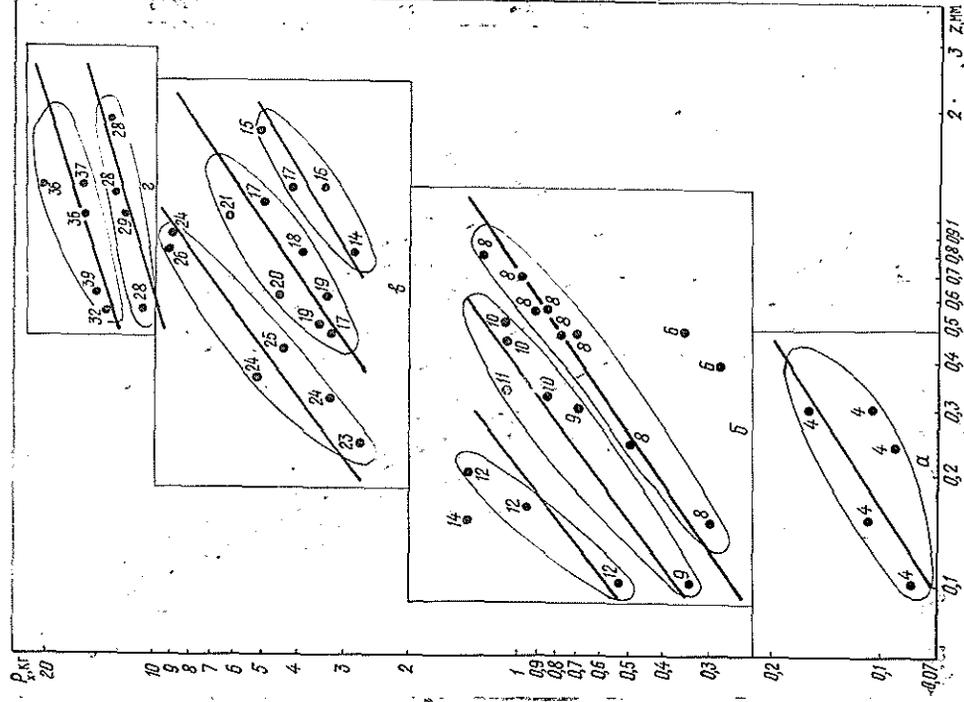


Рис. 2. Зависимость массы хвой дерева от радиального прироста Z для значений $D_{0.к}$ соответственно 2, (а), 6 (б), 12 (в) и 24 (г) см. Цифрами обозначен диаметр на высоте груди D_0 , см. Линии регрессии получены табулированием уравнения (4) по вынесенным на рисунок экспериментальным данным

одинаковый — 13-кратный. Если же экспериментальные данные массы хвой связать с диаметром ствола у основания кроны $D_{0.к}$, то перепад предельных показателей массы хвой для тех же деревьев снижается и становится примерно 2-кратным (рис. 1, б). Таким образом, в соответствии с пайт-моделью оценка массы хвой по диаметру $D_{0.к}$ является более точной, чем по диаметру D (коэффициенты детерминации соответственно 0,90 и 0,87). Однако разброс данных массы хвой и в этом случае явно связан с радиальным приростом Z . Это подтверждает вывод А. И. Иванова и А. И. Дубинина [2], что хотя в сечении ствола под кроной доля ранней древесины заболони намного больше и стабильнее, чем на уровне груди. Тем не менее влагообеспеченность хвой сосны, ее функционирование и развитие определяются зоной транзита влаги, включающей последние 3...5 годичных слоев вдоль по стволу и тесно связанной с текущим радиальным приростом и приростом площади сечения ствола.

Однако было бы неразумно ограничиваться измерением показателей $D_{о.к}$ и Z и оценкой массы хвой с помощью двухфакторной зависимости $P_x = f(D_{о.к}, Z)$. На рис. 2 представлено соотношение $P_x \sim Z$ для четырех экспериментальных значений $D_{о.к}$ расчлененное соответственно на четыре блока. В пределах каждого блока зависимость $P_x \sim Z$ четко дифференцируется в связи с диаметром D (показан цифрами). При одном и том же значении $D_{о.к}$ и Z масса хвой увеличивается пропорционально диаметру D .

С учетом изложенного экспериментальные данные о фитомассе кроны проанализированы по моделям четырех видов:

$$P_i = a_0 D^{a_1}, \quad (1)$$

$$P_i = a_0 D_{о.к}^{a_1}; \quad (2)$$

$$P_i = a_0 D^{a_1} Z^{a_2} Z^{a_3} \ln D; \quad (3)$$

$$P_i = a_0 D^{a_1} Z^{a_2} D_{о.к}^{a_3} D_{о.к}^{a_4} Z^{a_5} (\ln D_{о.к})^2 Z^{a_6} (\ln D_{о.к})^3, \quad (4)$$

где P_i — масса хвой, скелета кроны (абс. сухая) и ДЗ (свежая), кг;

$D_{о.к}$, D — соответственно диаметры ствола у основания кроны и на высоте груди, см;

Z — средняя за последние 5 лет ширина годичного кольца на высоте груди, см.

Константы при независимых переменных (табл. 2) статистически достоверны на уровне t_{05} и выше. Уравнения, представленные в табл. 2, действительны в пределах распределения модельных деревьев и пробных площадей по определяющим факторам (табл. 1). Наиболее высокими коэффициентами детерминации R^2 и низкими значениями стандартной ошибки SE отличаются последние три модели. Однако модель (3), включающая два фактора, в совокупности характеризующие прирост Z_g , более информативна, чем уравнение (2), соответствующее

Таблица 2

| Константы и показатели зателности уравнений | Фракция фитомассы | | Константы и показатели зателности уравнений | Фракция фитомассы | | |
|---|-------------------|----------|---|-------------------|----------|----------|
| | Скелет кроны | Хвоя | | Скелет кроны | Хвоя | ДЗ |
| a_0 | Уравнение (1) | | a_0 | Уравнение (4) | | |
| a_1 | 0,004575 | 0,008473 | a_1 | 0,2448 | 0,943 | — |
| R^2 | 2,5643 | 2,0786 | R^2 | 0,966 | 10,7 | 0,954 |
| SE , % | 0,947 | 0,871 | SE , % | 4,6 | — | 3,1 |
| | 6,1 | 20,5 | | 0,008288 | 0,01453 | 0,02741 |
| | | | | 1,5708 | 2,9847 | 1,7486 |
| a_0 | Уравнение (2) | | a_1 | — | 0,5525 | 0,2064 |
| a_1 | 0,02061 | 0,02681 | a_2 | 1,2422 | 1,4289 | 1,9162 |
| R^2 | 2,4885 | 2,0488 | a_3 | — | —0,6623 | —0,3211 |
| SE , % | 0,947 | 0,899 | a_4 | 0,08667 | 0,1559 | 0,1023 |
| | 5,5 | 18,0 | a_5 | —0,01800 | —0,05516 | —0,0208* |
| | | | a_6 | 0,974 | 0,953 | 0,962 |
| | | | R^2 | 3,8 | 8,6 | 2,5 |
| a_0 | Уравнение (3) | | SE , % | — | — | — |
| a_1 | 0,002447 | 0,1170 | | — | — | — |
| a_2 | 3,1503 | 1,7182 | | — | — | — |
| | —0,3244 | 0,5516 | | — | — | — |

* Константа значима на уровне 0,01.

Таблица 3

| D, см | Фитомасса скелета кроны (числитель) и квон (знаменатель) в абс. сухом состоянии, кг, в зависимости от ширины годичного кольца, мм | | | | | | | |
|-------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 0,2 | 0,6 | 1,0 | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 3,0 |
| | $D_{0,к} = 8$ см | | | | | | | |
| 10 | $\frac{1,8}{0,7}$ | $\frac{2,2}{1,5}$ | $\frac{2,5}{2,1}$ | $\frac{2,7}{2,7}$ | $\frac{2,8}{3,3}$ | $\frac{3,0}{3,8}$ | $\frac{3,1}{4,3}$ | $\frac{3,2}{4,8}$ |
| 14 | $\frac{3,0}{1,1}$ | $\frac{3,8}{2,5}$ | $\frac{4,2}{3,7}$ | $\frac{4,6}{4,7}$ | $\frac{4,8}{5,6}$ | $\frac{5,0}{6,5}$ | $\frac{5,2}{7,4}$ | $\frac{5,4}{8,2}$ |
| 18 | $\frac{4,5}{1,7}$ | $\frac{5,6}{3,8}$ | $\frac{6,3}{5,5}$ | $\frac{6,8}{7,0}$ | $\frac{7,1}{8,5}$ | $\frac{7,5}{9,8}$ | $\frac{7,7}{11}$ | $\frac{8,0}{12}$ |
| 22 | $\frac{6,1}{2,3}$ | $\frac{7,7}{5,2}$ | $\frac{8,6}{7,6}$ | $\frac{9,3}{9,7}$ | $\frac{9,8}{12}$ | $\frac{10}{14}$ | $\frac{11}{15}$ | $\frac{11}{17}$ |
| | $D_{0,к} = 16$ см | | | | | | | |
| 20 | $\frac{9,5}{2,5}$ | $\frac{13}{4,7}$ | $\frac{15}{6,3}$ | $\frac{16}{7,7}$ | $\frac{18}{8,9}$ | $\frac{19}{10}$ | $\frac{20}{11}$ | $\frac{21}{12}$ |
| 24 | $\frac{13}{3,1}$ | $\frac{17}{5,8}$ | $\frac{20}{7,8}$ | $\frac{22}{9,5}$ | $\frac{24}{11}$ | $\frac{25}{12}$ | $\frac{26}{14}$ | $\frac{27}{15}$ |
| 28 | $\frac{16}{3,7}$ | $\frac{22}{7,0}$ | $\frac{25}{9,3}$ | $\frac{28}{11}$ | $\frac{30}{13}$ | $\frac{32}{15}$ | $\frac{33}{16}$ | $\frac{35}{17}$ |
| 32 | $\frac{20}{4,3}$ | $\frac{27}{8,1}$ | $\frac{31}{11}$ | $\frac{34}{13}$ | $\frac{37}{15}$ | $\frac{39}{17}$ | $\frac{41}{19}$ | $\frac{43}{20}$ |
| | $D_{0,к} = 24$ см | | | | | | | |
| 32 | $\frac{31}{7,1}$ | $\frac{43}{11}$ | $\frac{50}{13}$ | $\frac{55}{14}$ | $\frac{60}{16}$ | $\frac{63}{17}$ | $\frac{67}{18}$ | $\frac{70}{19}$ |
| 40 | $\frac{44}{8,7}$ | $\frac{61}{13}$ | $\frac{71}{15}$ | $\frac{79}{17}$ | $\frac{85}{19}$ | $\frac{90}{20}$ | $\frac{94}{22}$ | $\frac{99}{23}$ |
| 48 | $\frac{59}{10}$ | $\frac{81}{15}$ | $\frac{95}{18}$ | $\frac{105}{20}$ | $\frac{113}{22}$ | $\frac{120}{24}$ | $\frac{126}{25}$ | $\frac{131}{27}$ |
| 56 | $\frac{75}{12}$ | $\frac{104}{17}$ | $\frac{121}{21}$ | $\frac{133}{23}$ | $\frac{144}{25}$ | $\frac{152}{27}$ | $\frac{160}{29}$ | $\frac{167}{31}$ |

пайп-модели. Но эта же модель (3) менее информативна, чем (4), представляющая совмещенный вариант предыдущих. Результаты табулирования модели (4) по выборочным значениям независимых переменных приведены на рис. 2 и в табл. 3.

Итак, независимые ксилемный и флоэмный потоки веществ в то же время функционально взаимосвязаны и образуют единую гидродинамическую систему [1], замкнутую на поверхность (массу) хвои. На уровне древостоя общие закономерности возрастного изменения площади сечения зоны транзита влаги и годичного прироста площади сечения ствола имеют синхронный характер [2]. Однако на уровне отдельного дерева снижение прироста и отпад одних деревьев сопровождаются увеличением прироста соседних. В более сухие периоды снижается приток ассимилятов по флоэме и соответственно прирост площади сечения ствола при одновременном возрастании площади сечения зоны транзита влаги [2].

Последнее явление может обусловить скачкообразный характер отмирания нижних мутовок. В результате при постоянном значении $D_{0,к}$ масса хвои тесно сопряжена с годичным радиальным приростом; напротив, при стабильном радиальном приросте и интенсивном отми-

рании нижних мутовок — с диаметром $D_{0,к}$. При постоянных значениях $D_{0,к}$ и Z масса хвой увеличивается пропорционально второй составляющей прироста Z_g — диаметру D . Возрастает и камбиальная поверхность, служащая для ассимилятов важной аттрагирующей зоной.

Ортогональность трех определяющих факторов D , Z и $D_{0,к}$ может быть показана и с иной позиции. Факторы D и Z изменяются без какой-либо взаимной связи, определяя в совокулности прирост Z_g и массу кроны. При постоянных значениях D и Z масса кроны зависит от проводящей способности зоны транзита влаги, которая связана с расстоянием до начала кроны, или перепадом между диаметрами D и $D_{0,к}$, следовательно, изменяется пропорционально $D_{0,к}$.

Итак, можно предположить существование идеальной физиологически обусловленной взаимосвязи массы кроны с неким легко измеряемым показателем дерева. В зависимости от выбора этого показателя (одного или нескольких) проследиваются несколько уровней приближения к этому идеалу, или уровней точности оценки массы кроны:

взаимосвязь с диаметром на высоте груди, определяющим широкий диапазон различных аспектов (физиологический, прочностный, ценотический, возрастной); с диаметром $D_{0,к}$ на основе пайп-модели, описывающей эффект ксилемного транспорта;

с приростом Z_g , опосредующим эффект флюэтного транспорта. Если учесть, что у сосны зона транзита влаги ограничена последними годичными слоями, то названное приближение отражает смещенный эффект как ксилемного, так и флюэтного транспорта. Однако показатель Z_g не обеспечивает инвариантности связи вследствие ее варьирования, а расчленение показателя на две независимые составляющие означает переход к многофакторной модели;

смещение последних двух констант в одной трехфакторной регрессионной модели, учитывающей несколько аспектов.

В целом повышение точности и уровня приближения оценки массы кроны сосны к идеалу связано со все возрастающим отходом от принципа инвариантности и переходом к многофакторному анализу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Водный обмен растений.— М.: Наука, 1989.— 256 с. [2]. Иванов А. И., Дубинин А. И. Площадь сечения заболони и площадь зоны транзита влаги в ней у сосны обыкновенной // Лесоведение.— № 5.— С. 28—37. [3]. Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолконов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области.— Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973.— 176 с. [4]. Курсанов А. Л. Транспорт ассимилятов в растении.— М.: Наука, 1976.— 647 с. [5]. Методы и таблицы оценки надземной фитомассы деревьев / В. А. Усольцев, З. Я. Нагимов, В. В. Демнев, И. В. Мельникова // Леса Урала и хозяйство в них.— Екатеринбург: УЛТИ, 1993.— Вып. 4.— С. 90—110. [6]. Полякова Н. Ф. Соотношения между массой листьев, приростом древесины и транспирацией // Докл. АН СССР.— 1954.— Т. 96, № 6.— С. 1261—1263. [7]. Полякова-Минченко Н. Ф. Обследование широкolistвенных насаждений степной зоны // Сообщ. Лаборатории структура фитомассы древостоев.— Новосибирск: Наука, 1988.— 253 с. [9]. Усольцев В. А. Применение инвариантных взаимосвязей при оценке массы крон деревьев.— Екатеринбург: УЛТИ, 1993.— 90 с. [10]. Усольцев В. А., Тепкин С. В., Ваганов В. М. Структура надземной фитомассы деревьев в ельниках Среднего Урала // Там же.— С. 110—129. [11]. Усольцев В. А., Сальников А. А. Фитомасса крон березы Урало-Казахстанского региона: принципы составления нормативов // Лесные экосистемы Тургайской впадины: Тез. докл.— Кустанай: Печатный двор, 1993.— С. 18—20. [12]. Яблоков А. С. Культура лиственницы и уход за насаждениями.— М.: Гослесбухиздат, 1934.— 128 с. [13]. Albrektson A. Relations between tree biomass fractions and conventional silvicultural measurements // Ecol. Bull.— 1980.— N 32.— P. 315—327. [14]. Albrektson A. Sapwood basal area and needle mass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in Central Sweden // Forestry.— 1984.— Vol. 57, N 1.— P. 35—43. [15]. A quantitative analysis of plant form — the pipe model theory / K. Shinozaki, K. Yoda, K. Hozumi, T. Kira // Japan. J. Ecol.— 1964.— Vol. 14,

N 3.—1: Basic analysis.—P. 97—105; N 4.—2: Further evidence of the theory and its application in forest ecology.—P. 133—139. [16]. Burger H. Holz, Blattmenge und Zuwachs. 1. Mitteilung. Die Weymouthföhre // Mitt. Schweiz. Anstalt Fors tl. Versuchsvesen.—1929.—Bd. 15.—S. 243—292. [17]. Chiba Y. Plant form analysis based on the pipe model theory. I. A. Statical model within the crown // Ecol. Res.—1990.—Vol. 5.—P. 207—220. [18]. Melzer E. W. Die stochastischen Beziehungen zwischen Spross- und Wurzelsystem des Baumes // Arch. Forstwesen.—1962.—Bd. 11, N 7.—S. 822—838. [19]. Ohata S., Shinozaki K. A statistical model of plant form—Further analysis of the pipe model theory // Japan. J. Ecol.—1979.—Vol. 29.—P. 323—335. [20]. West P. W., Welhs K. F. Estimation of leaf weight of standing trees of Eucalyptus regnans // Can. J. For. Res.—1990.—Vol. 20.—P. 1732—1738. [21]. Y am a o k a Y. The total transpiration from a forest // Trans. Amer. Geophys. Union.—1958.—Vol. 39.—P. 266—272.

УДК 630*232

Поступила 22 февраля 1994 г.

Н. А. БАБИЧ

Архангельский государственный технический университет

ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР СОСНЫ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ

Рассмотрена сравнительная продуктивность сосняков искусственно-го и естественного происхождения. В зависимости от типа леса и метода создания культур их преимущества в накоплении запаса древесины достигают 24...64%. В северной подзоне тайги эффективность культур по этому показателю выражена в меньшей степени.

A comparative productivity of common pine artificial and natural forests has been considered. Depending on the forest type and technique of developing the artificial stands their advantages of wood stock can amount to 24...64%. In the northern taiga subzone the effectiveness of artificial stands due to this factor is expressed to a lesser extent.

Вековой опыт ведения лесного хозяйства показывает, что лесные культуры являются надежным способом лесовосстановления, позволяющим устранить нежелательную смену пород, а в сочетании с мерами ухода за молодняками активно влиять на состав древостоев, использовать достижения генетики и селекции.

Цель данной работы — оценить сравнительную продуктивность сосняков черничных и брусничных естественного и искусственного происхождения.

Из-за малочисленности пробных площадей по отдельным типам леса этот вопрос, кроме того, рассматривается в целом для лишаинкорой группы типов условий местопроизрастания. В. Ф. Цветков [1] включает в нее сосняки лишайниковый, мохово-лишайниковый, бело-мошный, вересково-лишайниковый, кустарничково-лишайниковый. Некоторые авторы к этой же группе типов леса относят и сосняк вересковый. Такой позиции придерживаемся и мы.

На территории 19 лесхозов Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми в пределах северной и средней подзон тайги, согласно ГОСТ 16128—70 и ОСТ 56—60—83, заложено 86 пробных площадей. На 22 из них выполнены повторные перечеты. Объемами исследований послужили высокополотные (0,7...0,9) культуры сосны, чистые по составу или с незначительной примесью (1-2 единицы) листовых пород. В лишайниковой группе типов условий местопроизрастания северной подзоны тайги относительная полнота чистых по составу культур — 0,9 и более. В черничном и брусничном типах первоначаль-

ная густота искусственных молодняков колеблется в пределах 3...4 тыс. посадочных или посадочных мест на 1 га, несколько больше она в лиственничковой группе типов леса. Культуры не подвергались промежуточному пользованию. Древесная порода и агротехника создания соответствуют условиям местопроизрастания.

При выявлении характера зависимости запаса древесины от возраста культур анализировали следующие модели регрессии:

$$Y = A + BX; \quad Y = A + BX + CX^2; \quad Y = A + BX + CX^2 + DX^3;$$

$$Y = A + B \ln X; \quad Y = \frac{1}{A + BX}; \quad Y = \frac{1}{A + BX + CX^2}; \quad Y = A \exp^{BX};$$

где Y — запас древесины, м³/га;

X — возраст культур, лет;

A, B, C, D — коэффициенты регрессии.

Статистический анализ позволил сделать вывод о приемлемости параболы III порядка.

Для условий Европейского Севера сведения о сравнительной продуктивности лесных культур и естественных древостоев были получены Л. Ф. Ийатовым [6] путем выборки из лесоучастительных отчетов. Обработка данных показала, что запас 20—40-летних культур сосны на 20...25 % больше по сравнению с древостоями естественного происхождения.

По нашим данным, в черничном типе условий местопроизрастаний средней подзоны тайги в 40-летних посадках сосны накапливается 250, а в посевах — 244 м³ стволовой древесины на 1 га, что на 34,8...64,4 % больше, чем в сосняках естественного происхождения (табл. 1). В отдельных случаях преимущества посадок еще больше. Например, запасы старых в регионе 60-летних посадок сосны (северная часть средней подзоны) в этом типе леса составляет 438 м³/га, что на 74,5 % больше, чем в естественных сосняках [2].

Запас древесины в сосняках средней подзоны тайги

| Возраст, лет | Культуры, наши данные | Естественные насаждения по данным | | | | Е. Г. Гурьяна на [10] |
|--------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|
| | | О. А. Невозлина [4] | В. И. Левина [2] | Н. Н. Соколова [5] | П. И. Львова и др. [3] | |
| 20 | 42,0 | 54,0 | — | 36,0 | 31,0 | 42,2 |
| | 100 | 128,5 | — | 85,7 | 73,8 | 100,4 |
| 30 | 142,1 | 99,0 | 118,0 | 60,0 | 80,0 | 116,7 |
| | 100 | 69,7 | 83,0 | 42,2 | 56,3 | 82,1 |
| 40 | 250,0 | 146,0 | 163,0 | 89,0 | 117,0 | 163,8 |
| | 100 | 58,4 | 65,2 | 35,6 | 46,8 | 65,2 |

Черничный тип леса, посадки сосны

| | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 20 | 42,0 | 54,0 | — | 36,0 | 31,0 | 42,2 |
| 100 | 128,5 | — | — | 85,7 | 73,8 | 100,4 |
| 30 | 142,1 | 99,0 | 118,0 | 60,0 | 80,0 | 116,7 |
| 100 | 69,7 | 83,0 | 42,2 | 56,3 | 82,1 | 82,1 |
| 40 | 250,0 | 146,0 | 163,0 | 89,0 | 117,0 | 163,8 |
| 100 | 58,4 | 65,2 | 35,6 | 46,8 | 65,2 | 65,2 |

Брусничный тип леса, посевы сосны

| | | | | | | |
|-----|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| 20 | 20,7 | — | — | 24,0 | 30,0 | 29,4 |
| 100 | — | — | — | 115,9 | 144,9 | 142,0 |
| 30 | 84,0 | — | 87,0 | 40,0 | 70,0 | 75,5 |
| 100 | — | — | 103,6 | 47,6 | 83,3 | 89,8 |
| 40 | 165,0 | — | 125,0 | 59,0 | 99,0 | 111,6 |
| 100 | — | — | 75,7 | 35,7 | 60,0 | 67,6 |

Примечание. Здесь и далее в числителе — абсолютные значения запасов, м³/га; в знаменателе — % по отношению к культурам.

Таблица 1.

В брусничном типе средней подзоны преимущественно посевов сосны достигают 24,3...64,3 % (табл. 1); в южной подзоне, по данным М. Н. Прокольева [7], они также за культурами этой породы.

При этом число деревьев, слагающих господствующую часть насаждений, чаще всего в 2—3 раза больше в лесных культурах, что и определяет значительную разницу эффективности искусственных и естественных насаждений сосны.

В соседней Ленинградской области преимущественно 45-летних культур по запасу стволовой древесины в брусничном типе условий местопроизрастания над естественными сосняками составляют в посевах 19,8 и посадках — 43,5 % [13].

В то же время в литературе встречаются данные о больших запасах в сосняках брусничных естественного происхождения [12].

В северной подзоне тайги эффективность культур по сравнению с естественными молодняками выражена в меньшей степени. Так, по данным П. Н. Львова и его соавторов [3], в 20-летних сосняках брусничных естественного происхождения накапливается 15,0 м³/га древесины, что абсолютно совпадает с нашими данными, а преимущество 30-летних естественных молодняков незначительно — в пределах 4 %. Продуктивность 40-летних сосняков брусничных, созданных посевом, на 34 % выше, чем естественных древостоев (табл. 2).

В лишайниковой группе типов леса северной подзоны тайги различия в накоплении запаса 40-летними молодняками естественного и искусственного происхождения не выходят за пределы точности, принятой при инвентаризации лесов (табл. 2).

В 28-летних культурах, созданных посевом в сосняках лишайниковых южной подзоны тайги, число деревьев в господствующей части древостоев и их запасы оказались в 2—3 раза больше, чем в естественных молодняках. Показатели роста культур выше на один класс бонитета, они имеют равномерную сомкнутость 0,7...0,9. Для естественных молодняков характерно куртинно-групповое строение полога [7].

Общепризнано, что молодые культуры сосны продуктивнее молодняков естественного происхождения. «По данным Ф. М. Золотухина, различия в продуктивности естественных насаждений и культур су-

Таблица 2
Запас древесины в сосняках
северной подзоны тайги

| Возраст, лет | Культурные наши данные | Естественные насаждения по данным | |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| | | В. И. Львова [2] | П. Н. Львова и др. [3] |
| 20 | $\frac{15}{100,0}$ | — | $\frac{15}{100,0}$ |
| 30 | $\frac{49}{100,0}$ | — | $\frac{51}{104,0}$ |
| 40 | $\frac{100}{100,0}$ | — | $\frac{66}{66,0}$ |
| Брусничный тип леса | | | |
| 30 | $\frac{37}{100,0}$ | $\frac{42}{113,5}$ | $\frac{16}{43,2}$ |
| 40 | $\frac{62}{100,0}$ | $\frac{62}{100,0}$ | $\frac{57}{91,9}$ |
| Лишайниковая группа типов леса | | | |

щественны до 15—20 лет, В. С. Мирошникова — 20—50 лет, В. Ф. Багинского — 40 лет, Д. Буевского — 20—50, И. М. Науменко — 50 лет и В. В. Успенского, В. К. Попова — 40—60 лет», — отмечал В. А. Никитин [5, с. 6]. С возрастом различия в таксационных показателях нивелируются. В условиях ТСХА такое выравнивание происходит в 65...70 лет, а в последующие годы преимущество имеют уже древостой естественно-го происхождения [9].

Результаты наших исследований [1] свидетельствуют, что культуры сосны в южной подзоне даже в VI—VII классах возраста значительно продуктивнее естественных лесных формаций. Например, в черничном типе леса запас 125—127-летних культур на 36...54 % выше, чем в естественных насаждениях, в кисличном — до 60 %.

Повышенная продуктивность культурфитоценозов в основном обеспечивается:

обработкой почвы применительно к конкретным условиям место-произрастания;

сравнительной выравненностью условий почвенной среды;

использованием высококачественного селекционного посадочного (посевого) материала;

проведением агротехнических уходов;

соответствием биолого-экологических свойств культивируемой породы условиям местопроизрастания;

равномерностью распределения культивируемых особей по площади, которая, в свою очередь, ведет к уменьшению дифференциации деревьев, ослаблению процесса саморезживания и выживанию большего числа стволов на единице площади;

активным продуцированием культур с первого года их создания; почвоулучшающей способностью лиственных пород, естественно возобновляющихся на лесокультурных участках;

естественным возобновлением лиственных и хвойных пород, являющихся важным структурным элементом общего запаса фитоценозов антропогенно-природного происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бабич Н. А., Редько Г. И. Продуктивность культур сосны в южной и средней подзонах европейской тайги // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение.— Л.: ЛТА, 1983.— С. 104—110. [2]. Левин В. И. Ход роста сосняков таежной зоны Архангельской области по типам леса // Полевой справочник таксатора.— Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971.— С. 57—61. [3]. Львов П. Н., Ипатов Л. Ф., Плехов А. А. Лесообразовательные процессы и их регулирование на Европейском Севере.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 113 с. [4]. Неволин О. А. Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера.— Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1969.— 103 с. [5]. Никитин В. А. Сравнительная продуктивность естественных и искусственных насаждений в северной части БССР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук.— Минск, 1981.— 18 с. [6]. Поляков А. Н., Ипатов Л. Ф., Успенский В. В. Колыев М. Н. Культуры сосны в таежной зоне.— М.: Лесн. пром-сть, 1981.— 137 с. [8]. Соколов Н. Н. Ход роста модалых сосновых древостоев Архангельской области // Полевой справочник таксатора.— Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971.— С. 84—85. [9]. Тимофеев В. П. Закономерности формирования сосновых насаждений естественного и искусственного происхождения // Лесн. хоз-во.— 1965.— № 8.— С. 5—12. [10]. Тюрин Е. Г. Таблицы хода роста смешанных сосново-березовых молдняков Коми АССР и объемы их стволов.— Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1972.— 27 с. [11]. Цветков В. Ф. Системы лесоводства Европейского Севера // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие: Междунар. симпозиум (Архангельск, 16—26 июля 1990 г.).— М., 1990.— С. 67—79. [12]. Эффективность различных способов лесовосстановления / С. А. Дыренков, Г. Т. Румянцев, В. Д. Дмитриев, В. Е. Максимов.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— 88 с. [13]. Юдинцева А. Г. Производительность естественных и искусственных насаждений сосны // Лесохозяйств. информ.: Реф. вып.— 1972.— № 8.— С. 10.

УДК 631.879.42

Л. А. ВАРФОЛОМЕЕВ, А. П. РЫБИНСКАЯ

Архангельский институт леса и лесохимии

ОБ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ОКОРКИ ДРЕВЕСИНЫ НА ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ*

Иложены результаты лабораторно-химических анализов, растворов-электронного микроскопирования, электронного и ИК-спектроскопирования, характеризующие процесс гумификации еловой коры при компостировании с минеральными удобрениями.

Laboratory-chemical analyses data of electronic solution microscopy, electronic and IR-spectroscopy characteristic to the spruce bark humification process when composted with the mineral fertilizers have been stated.

Утилизация отходов окорки как задача наиболее полного использования древесного сырья (производственно-экономический аспект) и предотвращения загрязнения среды (экологический аспект) имеет несколько решений. Энергетическое решение — сжигание коры — неперспективно по технико-экономическим расчетам и ввиду нерационального уничтожения природного органического материала [1—3]. Идея глубокой переработки коры с извлечением из нее ценных ингредиентов прогрессивна, но в обозримом будущем вряд ли осуществима в больших масштабах [4]. Наиболее реальна экономически и оправдана экологически утилизация основной массы отходов окорки путем переработки их на органические удобрения. В Российской Федерации ежегодная потребность в них (до 1 млрд т) только наполовину покрывается сельскохозяйственными отходами (навоз, солома), а использованные торфа в ряде регионов ограничено. Обеднение почв органическим веществом (дегумификация) становится острой проблемой для развития земледелия, и привлечение древесных отходов на пополнение баланса органических удобрений может стать одним из направлений ее решения [8].

Весьма ограниченное использование древесной коры для производства органических удобрений в настоящее время в значительной мере связано с недооценкой и односторонним пониманием агрономического и экологического значения такой утилизации. Часто эту задачу решают исходя из сугубо ведомственных интересов избавиться от отходов или в них видят только наполнитель, который для обеспечения удобрительного действия следует насыщать элементами питания растений или смешивать с другими отходами, содержащими эти элементы (куриный помет, навоз, избыточный ил ЦБП и др.). При этом упускают из виду экологическую цель — включить переработанные древесные отходы в почвообразовательный процесс по возможности подготовленными, чтобы не причинить вреда растениям, почвенной биоте и сельскохозяйственной продукции. В таком понимании перера-

* Работа выполнена по Государственной научно-технической программе Российской Федерации «Комплексное использование и воспроизводство древесного сырья».

ботка древесной коры имеет конкретный биохимический смысл: освобождение от неспецифических для почвы экстрактивных веществ и приближение по составу к гумусу — системе устойчивых специфических почвенных соединений, обеспечивающих жизненные и экологические функции и плодородие почвы.

С этих позиций представляет интерес изучение физико-химической и биологической природы древесных отходов и изменение ее в процессе переработки на удобрения [7, 9]. В наших исследованиях ставилась задача проследить за гумификацией древесной коры при компостировании с минеральными удобрениями. Использовали свежую дробленую кору ели от сплавной древесины и компосты, приготовленные после добавления к коре мочевины и суперфосфата (1,3 % азота и 0,3 % фосфора на сухую массу коры). Процесс компостирования сопровождался интенсивным разогреванием бурта в первые два месяца до температуры 50...60 °С и последующим постепенным снижением ее до температуры окружающего воздуха. Для исследования были отобраны образцы 2-месячного и 1-годичного (11,5-месячного) компостов. Для идентификации веществого состава образцов применены растрово-электронное микроскопирование (РЭМ), электронная и инфракрасная спектроскопия (ИКС), выполненные на стационаре факультета почвоведения МГУ. Здесь же проведен анализ группового состава гумусовых веществ по методу Кононовой и Бельчиковой. Состав водорастворимых веществ (ВОВ), образующихся при разложении коры и компоста, по нашей просьбе был проанализирован старшим научным сотрудником факультета почвоведения и агрохимии ТСХА И. М. Яшиным. Комплекс использованных методов позволил выявить различия образцов, вызванные компостированием коры.

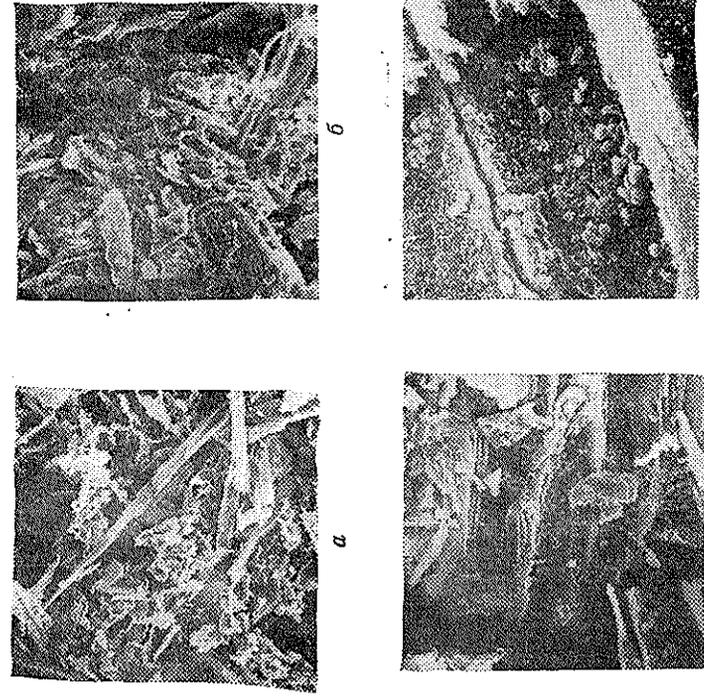


Рис. 1. Растрово-электронные микроснимки исходной коры (а), 2-месячного (б) и 1-годичного (в, г) компостов

Электронное микроскопирование на РЭМ ISH-2 фирмы «Джеол» (Япония) при увеличении от 300 до 3000 раз выявило, что исходная кора имеет четкие границы луба (флоэма) и корки (ритидом) — рис. 1, а. Двухмесячное компостирование привело к изменению первоначальных контуров и их границ. Наблюдается изъеденность, махровость краев на фрагментах коры, появились включения: «напльвы», комочки грибов и органо-минеральных образований (рис. 1, б). Наибольшая деструкция отмечена у частичек коры в 1-годовалом компосте (рис. 1, в), где фрагменты корки и луба трудно различимы между собой, развиты грибной мицелий, бактериальные скопления и кристаллические новообразования (рис. 1, г), возникшие как метаболиты из исходных веществ.

Деструкция растительного материала сопровождалась изменением его химического состава. Содержание органического углерода в компостах несколько снизилось, а введение мочевины привело к увеличению процента азота в 3,0—3,5 раза, что сузило отношение С:N с 75 до 21...27 (табл. 1). В компостированной коре по сравнению с исходной содержание ВОВ уменьшилось почти вдвое, а веществ, экстрагируемых спиртобензолом (липиды, или воскосмолы) в 2,0—3,5 раза. Общий процент веществ, экстрагируемых 0,1 М раствором $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, которые условно можно отнести к гумусовым, в коре составил 13,5 от общего углерода, тогда как в компостах не превысил 8,4. Следовательно, 90...92 % углерода, представляющие негидролизуемый остаток (главным образом лигнин), не трансформировались в гумусовые вещества. Сопоставление процентов экстрагированных веществ (13,5 и 8,4) приводит к логически неприемлемому выводу: из свежей коры извлекается больше гумусовых веществ, чем из этого же материала, подвергшегося разложению при продолжительном компостировании. Такой артефакт, отмечавшийся и другими исследователями [7, 9], объясняется извлечением из коры других, негумусовых ингредиентов, что свидетельствует о недостаточности используемых в почвоведении методов для анализа органических веществ древесной коры. Однако следует заметить, что в 1-годовалом компосте содержание гуминовых кислот возросло по сравнению с 2-месячным и соотношение групп гумуса

Таблица 1
Групповой состав экстрактивных и гумусоподобных веществ

| Показатели | Кора свежая | Компост | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 2-месячный | 1-годовалый |
| Содержание веществ, % от сухой массы: | | | |
| водорастворимых | 6,5 | 3,6 | 3,1 |
| экстрагируемых спиртобензолом | 8,4 | 3,9 | 2,4 |
| С общ (по Тюрину) | 40,9 | 40,1 | 39,1 |
| N общ (по Къельдалю) | 0,54 | 1,89 | 1,51 |
| С:N | 75 | 21 | 27 |
| Содержание веществ в вытяжке 0,1 М раствора $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ * | | | |
| С гуминовых кислот | $\frac{3,27}{8,25}$ | $\frac{1,90}{4,70}$ | $\frac{2,24}{5,70}$ |
| С фульвокислот | $\frac{2,13}{5,20}$ | $\frac{1,36}{3,40}$ | $\frac{1,04}{2,70}$ |
| С _{г.к.} : С _{ф.к.} | $\frac{1,6}{5,6}$ | $\frac{1,4}{7,2}$ | $\frac{2,2}{6,0}$ |
| рН водной суспензии | | | |

* В числителе — % от сухой массы; в знаменателе — % от Собщ.

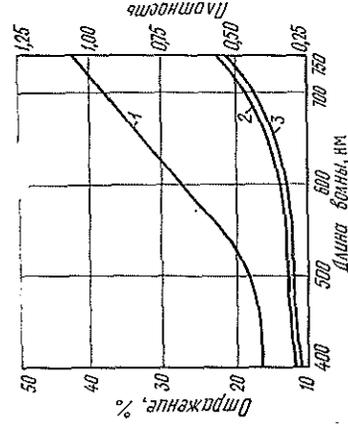


Рис. 2. Спектры отражения исходной коры (1) и 2-месячного (2) и 1-годичного (3) компостов

С. т. к. увеличилось до 2,2. Такое изменение можно рассматривать как признак гумификации коры, обусловленный новообразованием собственно гуминовых кислот при продолжительном компостировании.

Данные о гумификации коры в компостах дополняются результатами спектральных исследований. На спектрофотометре СФ-14 в диапазоне длин волн от 400 до 750 нм были сняты видимые спектры образцов измененных воздушно сухих образцов коры, как это применяется для гумифицированных почв. Рассчитанные спектральные кривые коры и компостов однотипны и имеют плавный переход от синей (400 нм) к красной (750 нм) области спектра (рис. 2). Наибольшая разница отражения образцов при длине волны 750 нм соответствовала появлению у компостируемой коры интенсивной черной окраски как диагностического признака освобождения ее от танидов рыжего цвета и накопления гумусовых веществ. Показанная связь гумификации коры с отражательной способностью корокомпостов ввиду единичности наших определений и отсутствия аналогичных литературных данных нуждается в подтверждении.

Полученные результаты сопоставимы с ИК-спектрами тех же образцов, снятыми на спектрометре ИКС-29 в диапазоне 4200...400 см^{-1} . Все спектры коры и компостов (рис. 3) сходны между собой, основу их составляют полосы поглощения гидроксильных и карбоксильных групп. Идентифицируются сложнэфирные группы, ароматические структуры, углеводородные цепочки, обусловленные C_6H_5 - и C_6H_4 -группами. Во всех образцах выражены три полосы поглощения: при 2940 ($\text{C}-\text{H}$ аром.), 1515 ($\text{C}=\text{C}$ аром.) и 900 см^{-1} ($\text{C}-\text{H}$). Следовательно, в процессе компостируания ароматические системы в полиассоциатах коры сохраняются без существенных нарушений. Отличительной особенностью коры явилась полоса поглощения при 1740 см^{-1} , характерная для группы сложных эфиров и кетонов. Наличие ее в спектре коры связывается с составом смолстых веществ, разлагающихся в процессе компостируания; в спектрограммах компостов данная полоса отсутствовала, снизилась и интенсивность полосы 1520 см^{-1} , свойственная —ОН-фенольной группе.

Идентифицировать по ИКС наличие собственно гумусовых веществ в исследованных образцах мешает взаимное наложение их спектров на спектры липидов, лигнина и других соединений, присутствующих как в коре, так и в компостах. Но во всех спектрограммах присутствуют характерные для гуминовых кислот полосы поглощения в областях 3400, 2920 и 2860 см^{-1} .

Более определенное представление о присутствии в компостируемой коре гумусовых кислот дают видимые спектры поглощения, снятые

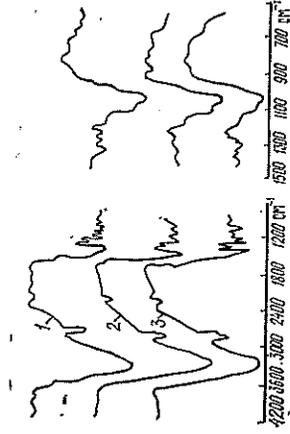


Рис. 3. Инфракрасные спектры исходной коры (1) и коры из 2-месячного (2) и 1-годичного (3) компостов

на СФ-14, и коэффициенты цветности при исследовании пирофосфатных вытяжек. Часть из них можно условно отнести к гуминовым кислотам, учитывая отсутствие достаточно четких пиков, характерных для этой группы соединений, в области 400...750 нм (рис. 4). У исходной коры перегиб спектров поглощения в интервале 480...650 нм свидетельствует не столько о гуминовых кислотах, сколько о наличии окрашенных в рыжий цвет соединений типа танидов. Последнее как проявление сложного состава коры хвойных пород [3, 10], по-видимому, и создают отмеченный выше артефакт присутствия гуминовых кислот в свежей и слабоараложившейся коре. Аналогичная картина отмечается и в спектрах поглощения фульвокислот: перегиб в интервале 465—576 нм имеется у свежей коры и отсутствует у компостов.

Природа метаболитов, образующихся в процессе компостирования, частично выявлена при изучении состава водорастворимых веществ [3, 10]. Лабораторный опыт, выполненный И. М. Яшиным на наших образцах коры и компоста, в известной мере моделировал условия биохимические превращения, происходящие при транспортировке неокоренной древесины в плотах и в анаэробной среде переувлажненной почвы после внесения в нее компостов, особенно весной и осенью. Навески коры и компоста по 50 г помещали в стеклянные банки с третьими пробками, заливали 60 мл дистиллированной воды и вы-

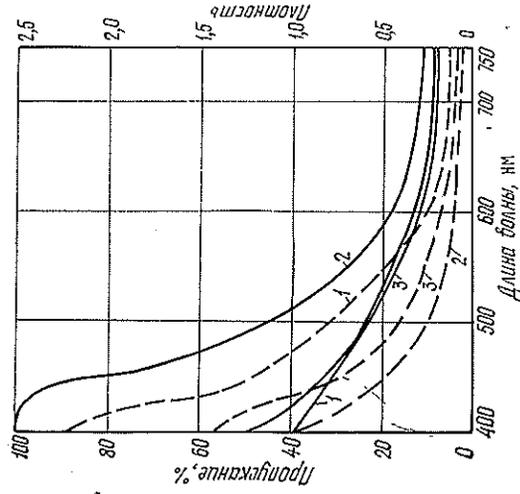


Рис. 4. Спектры поглощения гуминовых кислот (сплошные кривые) и фульвокислот (пунктирные кривые), выделенных из пирофосфатной вытяжки исходной коры (1), 2-месячного (2) и 1-годичного (3) компостов

Таблица 2
Фракционный состав водорастворимых веществ

| Показатели | Кора свежая | Ком- пост 2-месяч- ный |
|---|-------------|------------------------|
| $C_{\text{общ}}$ в конце опыта, мг/л | 5375 | 1402 |
| Сорбировано, % от $C_{\text{общ}}$ в растворе | 99,5 | 88,8 |
| Перешло в элюат, % от $C_{\text{общ}}$ на сорбен- те: | | |
| водноацетатный | 43,2 | 77,2 |
| аммиачный | 28,0 | 15,0 |
| Десорбировано, % от $C_{\text{общ}}$ на сорбенте | 71,2 | 92,2 |
| pH водной вытяжки: | | |
| в начале опыта | 4,4 | 6,0 |
| в конце опыта | 5,9 | 7,5 |

держивали в течение 134 сут при температуре около 20 °С. Полученные настои — темноокрашенные растворы — фильтровали через беззольные фильтры, фильтраты фракционировали в хроматографических колонках с активированным углем марки «карболен» в динамическом режиме.

Исследования показали, что в составе фильтратов преобладали ВОВ, полностью сорбиовавшиеся углем и представленные индивидуальными органическими соединениями (43,2 % от $C_{\text{общ}}$, табл. 2). В аммиачный элюат из активированного угля перешли вещества полифенольной природы, относящиеся, по мнению И. М. Яшина, к незрелым первым продуктам группы фульвосоединений [6]. Появление таких соединений возможно уже в коре сплавной древесины.

Компостирование резко уменьшило выход ВОВ, и в настое 2-месячного компоста их содержание по $C_{\text{общ}}$ было в 4 раза меньше, чем в настое свежей коры. В составе ВОВ компоста преобладали извлекаемые 90 %-м водным ацетонем неспецифические вещества растительно-го происхождения, как следствие перехода разлагающихся структур коры в растворимые формы при интенсивном участии грибной микрофлоры и анаэробных целлюлозоразлагающих и маслянокислых бактерий [9]. Изменение реакции pH водных настоев компоста в течение опыта от кислой до слабощелочной свидетельствовало о появлении веществ-мегаболитов, среди которых могут находиться и начальные продукты гумификации как синтетического процесса на основе ВОВ.

Проведенные исследования свидетельствуют, что приближение состава коры к гумусовым веществам происходит постепенно и многофазно. Наиболее существенным результатом компостирования является освобождение от основной массы экстрактивных веществ, среди которых имеются токсичные для почвенной биоты и растений [5, 10]. Начальная гумификация характеризуется появлением упрощенных гумусоподобных соединений, близких к фульвокислотам. Лишь при продолжительном компостировании образуются упрощенные легкоподвижные гуминовые кислоты.

Отсутствие фитотоксичности и достаточную гумифицированность коры следует рассматривать как главные показатели экологической безопасности компостов для почвы. В связи с этим необходимо разрабатывать критерии и тесты, характеризующие готовность (спелость) компостов по этим характеристикам.

Почвенно-экологическое требование нетоксичности и гумифицированности не всегда совпадает с требованием сохранения питательной ценности корокомпостов. Необходимое для гумификации продолжитель-

ное биотермическое компостиrowание приводит к потере значительной части азота в виде газообразного аммиака. Поэтому рациональная технология переработки отходов окорки на органические удобрения должна быть нацелена на получение продукта, отвечающего всем требованиям. Это относится к отдельным технологическим приемам приготовления удобрений. Так, непрямое измельчение отходов окорки является условием лучшего и быстрого освобождения внутренних тканей коры от веществ-токсикантов и ускорения гумификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Букштынов А. А. Использование древесной коры в народном хозяйстве // Лесн. хоз-во.—1989.—№ 6.—С. 13—15. [2]. Варфоломеев Л. А. Приготовленные промышленными компостов на основе твердых продуктов деревообработки (химико-биологические аспекты): Обзор. информ./ВНИИТЯИагропром.—М., 1992.—52 с. [3]. Изучение химического состава коры хвойных пород и ее использование в целлюлозно-бумажном производстве / Карф АН СССР, Институт леса.—Петрозаводск, 1987.—153 с. [4]. Использование вторичных древесных ресурсов в производстве промышленных товаров, конструкционных материалов и энергии (проблемы, решения, экономика) / Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. 10—13 сент. 1990 г.—М., 1990.—167 с. [5]. Орлов Д. С., Аммосова Я. М., Якименко О. С. Агроэкологические аспекты использования нетрадиционных органических удобрений на основе гидролизного лигнина // Почвоведение.—1993.—№ 2.—С. 36—42. [6]. Особенности мобилизации и трансформации водорастворимых органических веществ в подзолистых почвах юга Архангельской области / И. С. Кауричев, И. М. Яшин, А. И. Карлухин, И. Г. Платонов // Изв. ТСХА.—1991.—Вып. 3.—С. 71—83. [7]. Пилюгина Л. Г. Использование лигно-корового компоста в лесном хозяйстве // Отходы окорки и некоторые направления их комплексного использования.—Петрозаводск, 1984.—С. 98—107. [8]. Проблема гумуса в земледелии и использование органических удобрений / Тез. докл. Всесоюз. конф. Владимир, 21—23 сентября 1987.—Владимир, 1987.—104 с. [9]. Транина Н. Ф., Плотникова Т. А. Изучение продуктов разложения коры в процессе компостирования // Агрехимия.—1975.—№ 1.—С. 122—128. [10]. Sotbгаа К. Compositing of bark IV. Potential growth reducing compounds and elements in bark // Medd. Norsk inst. Skogforsk.—1979.—Vol. 34—P. 448—508.

УДК 630*23

Поступила 5 мая 1993 г.

Т. В. ЯКУШЕВА, Е. Н. КУЗНЕЦОВ, А. В. ГРЯЗЬКИН

С.-Петербургская лесотехническая академия

ДИНАМИКА РОСТА МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ ЕЛИ ПОД ПОЛОГОМ ДРЕВОСТОЕВ И НА ВЫРУБКАХ

Приведены результаты обследования подростка ели под пологом древостоев и на вырубках в Мурманской области. Показано, что динамика прироста различается по группам высот и зависит от условий роста.

Examination results of spruce young growth under the canopy of stands and in the felled areas of the Murman Region have been given. The growth dynamics has been found to vary according to the height groups and to depend on the growing conditions.

Рост молодого поколения ели на вырубке и под пологом древостоев различается по многим параметрам [1—4]. Основные различия связаны с режимом освещенности и характером фитотенотических взаимоотношений или, по Г. Ф. Морозову, с «биосоциальными отношениями» [7]. Такие отношения — наименее изученная область лесной фитотенологии. Нам неизвестны публикации о состоянии молодого поколения под пологом древостоев и на вырубках в зависимости от расстояния

между материнскими деревьями и подростом, однако ссылки на существование такой связи встречаются во многих работах [1, 5, 6]. В статье [8] приводятся сведения о том, что успешность естественного возобновления определяется типом леса и расстоянием между деревьями. Конкуренция за влагу и питательные вещества тем выше, чем меньше расстояние между подростом и материнскими деревьями. В сосняках лишайниковых корневая конкуренция максимальна, а в брусничниковых минимальна. По этой причине в последних естественное возобновление идет более успешно, а в лишайниковых полностью отсутствует или всегда неудовлетворительно.

Цель работы — выявить степень влияния верхнего полога и близко растущих деревьев на состояние подроста ели и сравнить динамику его роста в разных условиях.

Работа выполнена в Терском лесхозе Мурманской области, расположенном в южной части Кольского полуострова, на берегу Кандалакшского залива Белого моря и относящемся к северной тайге.

Для решения поставленной задачи было заложено несколько пробных площадей в типе леса ельник-черничник под пологом ельников и на вырубках 1982/83 гг., оставленных для естественного зарастания.

Характеристика древостоев на пробных площадях приведена в табл. 1. При оценке состояния возобновления на пробках размером 50×50 м отбрали по 10 экземпляров (моделей) подроста из каждой группы возраста и высот. В каждой группе возраст моделей был одинаковым. У моделей измеряли освещенность над верхушечным побегом и в кроне, высоту и возраст, диаметр и протяженность кроны, прирост за 5 и 10 лет, расстояние до ближайших деревьев с описанием их в радиусе 5 м.

Естественное возобновление под пологом представлено подростом ели в возрасте от 9 до 46 лет (учитывали экземпляры высотой более 10 см) и березы. Средняя высота подроста ели 1,09...1,42 м. Соотношение пород в составе молодого поколения выражается формулой

Таблица 1

| № пробной площади | Состав и возраст по породам | Средние | | Полнота | Запас, м ³ /га |
|-------------------|-----------------------------|---------|-----------------|---------|---------------------------|
| | | H, м | D 1,3, см | | |
| 1 | 7Е(220)2Е(130)1Б(120) | 13 | $\frac{24}{25}$ | 0,4 | 70 |
| | | 13,5 | | 0,4 | 75 |
| 2 | 7Е(220)2Е(130)1Б(120) | 15 | 26 | 0,4 | 85 |
| | | 15,5 | 26 | 0,4 | 88 |
| 3 | 6Е(180)2Е(240)2Б(120) | 14 | 22 | 0,4 | 75 |
| | | 14 | 22 | 0,4 | 75 |
| 4 | 7Е(180)1Е(240)2Б(120) | 15 | 24 | 0,4 | 85 |
| | | 16 | 25 | 0,4 | 90 |

Под пологом древостоев

| | | | | | |
|---|-----------------------|------|-----------------|-----|----|
| 1 | 7Е(220)2Е(130)1Б(120) | 13 | $\frac{24}{25}$ | 0,4 | 70 |
| | | 13,5 | | 0,4 | 75 |
| 2 | 7Е(220)2Е(130)1Б(120) | 15 | 26 | 0,4 | 85 |
| | | 15,5 | 26 | 0,4 | 88 |
| 3 | 6Е(180)2Е(240)2Б(120) | 14 | 22 | 0,4 | 75 |
| | | 14 | 22 | 0,4 | 75 |
| 4 | 7Е(180)1Е(240)2Б(120) | 15 | 24 | 0,4 | 85 |
| | | 16 | 25 | 0,4 | 90 |

На вырубках (до рубки)

| | | | | | |
|---|-----------------------|----|----|-----|----|
| 5 | 8Е(220)2Е(130) | 15 | 26 | 0,5 | 80 |
| | | 14 | 24 | 0,4 | 75 |
| 7 | 7Е(240)2Е(100)1Б(120) | 15 | 28 | 0,5 | 85 |
| | | 16 | 28 | 0,5 | 90 |

Примечание. Для пробных площадей 1 — 4 в числителе — данные лесоустройства, в знаменателе — полученные авторами по измерениям в 1992 г.; для пробных площадей 5 — 8 — данные лесоустройства.

8Е2Б. Густота подроста по отдельным пробам варьирует от 752 до 896 шт./га.

На вырубке в состав подроста входят ель, береза, осина. Доля ели 70 %, средняя высота 0,60...1,26 м, средний возраст 13,4...22,9 лет. Густота подроста 1184...1456 шт./га. И на вырубке, и под пологом имеется уходящий подрост. Элиминация подроста под пологом древося протекает более интенсивно. Доля сухих экземпляров под пологом составляет в среднем 7,5, на вырубке 6,1 %. Максимальный отпад молодого поколения ели под пологом достигает 14,0 (проба 2), на вырубке только 7,7 % (проба 8).

Вырубки представляют собой лесосеки после сплошных рубок, проведенных в зимний период 1982/83 гг. методом узких пасек. Сохранность подроста не превышает 65 %.

На всех пробных площадях под пологом имеется редкий подлесок рябины, на одной пробе встречается можжевельник; на вырубке только рябина.

Живой напочвенный покров представлен небольшим числом видов. Под пологом древостоев преобладают зеленые мхи и черника, из злаков — луговик, проективное покрытие более 70 %. На вырубках кроме этих видов распространены вереск, хвощ, осока, проективное покрытие выше, чем под пологом.

Почвы на обследованных участках грубогумусные, сильноподзолистые тяжелосуглинистые на валунных моренных суглинках. Во всех случаях гумусовый горизонт выражен слабо. Типичный почвенный разрез имеет следующие характеристики: A_0 — слаборазложившаяся подстилка мощностью от 5 до 11 см; A_1 — слабовыраженный гумусовый горизонт толщиной не более 1 см; A_2 — серовато-коричневый подзолитый горизонт. пилитчатой структуры, покрашенный потеками гумуса, мощность 8...16 см; В — плотный горизонт бурой окраски, глыбистой структуры, мощность до 51 см.

Возрастная структура и ряды распределения подроста по высоте показаны на рис. 1. Под пологом древося он в целом несколько старше и крупнее, чем на вырубке. Эти различия можно объяснить тем, что в процессе рубки леса основная часть крупного подроста на лесосеках была уничтожена или повреждена. Другая причина — появление новой генерации ели после сплошных рубок. Об этом свидетельствует большая густота подроста на вырубке — до 1500 шт./га, тогда как под пологом менее 900 шт./га.

Подрост на всех пробных площадях сильно дифференцирован и по

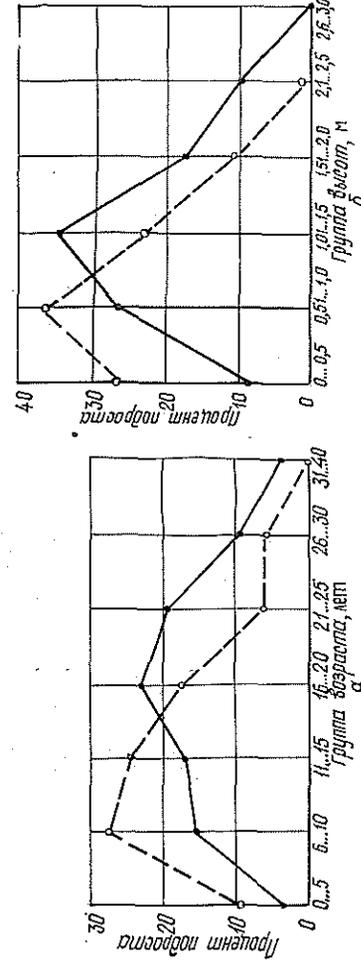


Рис. 1. Распределение подроста ели по группам возраста (а) и группам высот (б): сплошная линия — под пологом древося; штриховая — на вырубке

приросту. Под пологом древостоев он в целом выше, чем на вырубке, однако по группам высот эта закономерность не соблюдается (табл. 2).

Таблица 2

| Группа высот | Средний годичный прирост, см | | | |
|-------------------------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | z_5 | | z_{10} | |
| | под пологом | на вырубке | под пологом | на вырубке |
| Мелкий (до 0,5 м) | 1,80 ± 0,11 | 1,30 ± 0,10 | 1,95 ± 0,03 | 1,40 ± 0,06 |
| Средний (0,51...1,50 м) | 3,00 ± 0,13 | 2,94 ± 0,12 | 2,75 ± 0,17 | 2,71 ± 0,15 |
| Крупный (более 1,50 м) | 2,72 ± 0,35 | 2,96 ± 0,19 | 2,73 ± 0,23 | 2,95 ± 0,13 |

Зависимость среднего годичного прироста (за пятилетний z_5 и десятилетний z_{10} периоды) от высоты подроста H хорошо аппроксимируется уравнением вида

$$z = a_0 + a_1 H.$$

Значения коэффициентов этого уравнения a_0 и a_1 по эмпирическим данным приведены в табл. 3.

Таблица 3

| Условия произрастания подроста | a_0 | | a_1 | |
|--------------------------------|-------|----------|-------|----------|
| | z_5 | z_{10} | z_5 | z_{10} |
| Под пологом | 1,92 | 1,97 | 0,621 | 0,497 |
| На вырубке | 1,22 | 1,19 | 1,100 | 0,744 |

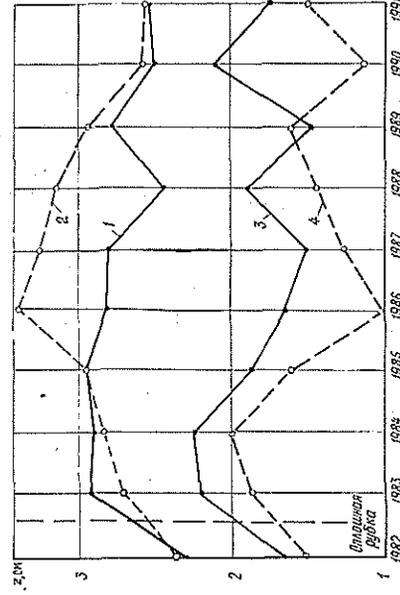


Рис. 2. Динамика прироста по годам: 1, 2 — крупный; 3, 4 — мелкий подрост. Остальные обозначения те же, что на рис. 1

Изменение прироста по годам показано на рис. 2. Более низкий прирост мелкого подроста на вырубке можно объяснить усилением конкуренции со стороны начального покрова после сплошной рубки, более высокий прирост крупного подроста, напротив, отсутствием конкуренции со стороны материнского древостоя. Сказанное подтверждается характером кривой 2: через два года после рубки прирост на вырубке стал заметно выше, чем под пологом.

Таблица 4

| E , лк | z_5 , см | z_{10} , см |
|-----------------|------------|---------------|
| 600 ... 900 | 2,10±0,09 | 2,00±0,04 |
| 901 ... 1200 | 2,30±0,11 | 2,18±0,07 |
| 1201 ... 1500 | 2,12±0,21 | 2,20±0,18 |
| 1501 ... 1800 | 3,30±0,17 | 3,15±0,13 |
| 1801 ... 2100 | 3,65±0,37 | 3,48±0,29 |
| Среднее 1589±91 | 2,70±0,32 | 2,63±0,23 |

На прирост влияют режим освещенности E и напряженность световых отношений. Последнюю можно выразить количественно через расстояние между моделью и окружающими деревьями L . В свою очередь, освещенность подроста зависит от L . Над верхушечным побегом на удалении до 0,5 м от ближайшего дерева она равна в среднем 950, 1,0 ... 2,0 м — 1350, более 2,0 м — 1950 лк. Следовательно, эта зависимость прямая.

Зависимость прироста в высоту от режима освещенности показана в табл. 4. Сопоставление данных таблицы позволяет обозначить нижнюю границу оптимальной освещенности. В условиях Терского лесхоза она должна быть не ниже 1500 лк, т. е. не менее 50 % от полной.

Практически в таких же пределах изменяется прирост в зависимости от L (табл. 5). Данные таблицы позволяют определить нижнюю границу оптимального L . Она образует круг радиусом не менее 1,5 м.

Таблица 5

| L , м | z_5 , см | z_{10} , см |
|---------------|------------|---------------|
| ≤0,50 | 2,20±0,04 | 2,00±0,03 |
| 0,51 ... 1,00 | 2,00±0,09 | 2,12±0,10 |
| 1,01 ... 1,50 | 2,45±0,16 | 2,42±0,14 |
| 1,51 ... 2,00 | 4,10±0,21 | 3,75±0,32 |
| 2,01 ± 2,50 | 3,40±0,38 | 3,30±0,29 |

Возрастание прироста с увеличением E и L свидетельствует о наличии прямой связи между этими факторами. Они же определяют успешность возобновления: на вырубках, где конкуренция за свет, минимальное питание и влагу минимальна, подроста на 60 % больше, чем под пологом.

Зависимость густоты и состояния подроста от таксационной характеристики древостоев изученного черничного типа леса не установлена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алексеев В. И. Возобновление ели на вырубках.— М.: Наука, 1978.— 128 с. [2]. Гусев И. И. Продуктивность ельников Сенега.— Л.: Изд-во ЛГУ, 1978.— 221 с. [3]. Казимиров Н. И. Ельники Карелии.— Л.: Наука, 1971.— 138 с. [4]. Калининко Н. П., Писаренко А. И., Смирнов Н. А. Лесовосстановление на вырубках.— М.: Экология, 1991.— 381 с. [5]. Карпов В. Г. Экспериментальная фитосоциология темноводной тайги.— Л.: Наука, 1969. [6]. Кузьминчев Б. В., Мандеева Т. Н., Черкашин В. П. Оценка взаимодействия деревьев в лесных фитоценозах // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук.— 1989.— № 3.— С. 133—139. [7]. Морозов Г. Ф. Биология наших лесных пород.— СПб., 1914.— 110 с. [8]. Авайтис В. Т. On the space arrangement of trees root competition // J. Forestry.— 1926.— 24, N 6.— P. 5.

УДК 630*232 : 630*181

А. И. УГРИН

Украинский государственный лесотехнический университет

ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕСОКУЛЬТУРНОЙ ПЛОЩАДИ НА ОСНОВЕ ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ЭДАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Установлена целесообразность выделения отдельных парцелл на лесокультурном участке. Приведены основные параметры лесных культур в соответствии с конкретными эдафическими условиями парцелл.

Expediency of allotting the individual parcels in the regeneration area has been stated. The main parameters of artificial stands in accordance with the specific edaphic conditions of parcels are presented.

Мозаичность почвенно-гидрологических и орографических условий, свойственная горному рельефу, приводит к тому, что лесные культуры, созданные по существующей технологии, не используют в максимальной степени естественного почвенно-климатического плодородия участка. В отдельных случаях положение усугубляется отрицательным влиянием антропогенных факторов. В результате на разных участках рост и состояние однопородных культур значительно различаются.

Данное положение вызывает необходимость детализировать каждый лесокультурный участок по конкретной совокупности эдафических факторов. Нами разработан и применен метод организации лесокультурной площади на основе ее парцеллярной структуры, которая подразумевает выделение отдельных участков по принципу однородности условий увлажнения, крутизны склона в корреляции с мощностью и структурой почвенного профиля, мощности и состояния лесной подстилки, наличия естественного возобновления, особенностей микроклимата, определяющихся рельефом и высотой над уровнем моря.

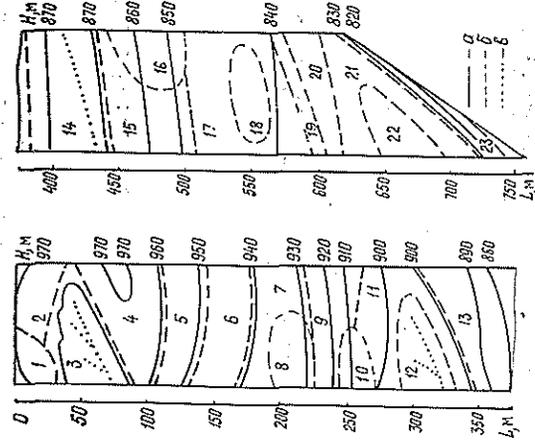
Методика работы заключается в следующем. При обследовании лесокультурной площади в натуре выделяют и наносят на план контуры участков, различающихся по одному или группе указанных признаков. Ориентировочные градации однородности парцелл: по крутизне — 0...10, 11...20, 21...30, свыше 31°; по экспозиции — склоны северных и южных ориентаций; по гидрологическому состоянию — отличие от уровня нормального увлажнения на один индекс гигрогенного ряда (например, на участке С₃ встречаются культуры вкраплений С₂, С₄ и т. д.). Это определение осуществляется по принятым в лесной типологии принципам с использованием растений-индикаторов. Различия в мощности и структуре почвенного профиля при необходимости устанавливаются путем почвенных прикопок. Для характеристики лесной подстилки применяются три градации: I — подстилка отсутствует; II — слабо выраженная рыхлая, не препятствующая естественному возобновлению; III — плотная, препятствующая возобновлению. Минимальный размер парцелл для условий Карпат — 20 м². Принцип парцеллярной организации лесокультурной площади применяется в производстве в тех случаях, когда выделенные парцеллы занимают не менее 10 % лесокультурного участка.

Таблица 1

| Но- мер макро- пар- цел- лы | Характеристика микропарцеллы | Особенности создания лесных культур |
|--|--|---|
| 1 | Склон 5...19°, толщина лесной подстилки 3...5 см, сложение рыхлое | В соответствии с типом лесорастительных условий, основная обработка почвы плочками 1 X 1 м |
| 2 | Склон 26...27°, толщина лесной подстилки 2...4 см, сложные рыхлое | То же, посадкой в лунки, терраски, плочками 0,4 X 0,4 м |
| 3 | Вогнутый участок склона, выход грунтовых вод, распределение подстилки неравномерное, в форме плотных скоплений толщиной до 10 см | Исключение из состава мезоигрофильных и ксерофильных пород. Введение ели, явора, черной ольхи, болотного ясеня, вяза обыкновенного в соответствии со степенью увлажнения и трофностью почвы |
| 4 | Выпуклый участок, уровень грунтовых вод пониженный, толщина лесной подстилки до 2 см, сложение рыхлое | Исключение из состава гидрофильных пород. Преобладание мезо- и ксерофитов (ель, сосна кедровая, обыкновенная, лиственница европейская) |
| 5 | Куртины подроста на макропарцеллах 1, 2, 3, 4 | Частные культуры теневыносливых пород в соответствии с составом подроста (пихта при буковом подросте, бук при пихтовом, бук, пихта при еловом). Использование крупномерного посадочного материала |
| 6 | Участки с подстилкой, нарушенной под влиянием антропогенных факторов | Возможность появления интенсивного естественного возобновления. Уменьшение проектной густоты культур. Состав культур с учетом ожидаемого состава естественного возобновления |
| 7 | Отсутствие гумусового горизонта почвы под влиянием антропогенных факторов | Устройство простейших прогнivoэрозонных сооружений. Введение в состав культур олиготрофов (сосна, дуб скальный, бузина красная, рябина, жимолость). Увеличение густоты культур |
| 8 | Активная линейная эрозия по волоку | Применение прогнivoэрозонных сооружений (клетки, запруды, подпорные стенки, лотки). Последующая посадка пород олиготрофов |
| 9 | Положение по отношению к склону: верхняя часть | Густота культур в 1,5—2,0 раза больше проектной |
| | средняя » | Густота культур в соответствии с проектом |
| | нижняя » на макропарцеллах 1—8 | Густота культур 0,5...0,8 к проектной |
| 10 | Понижение в зоне горных ручьев с постоянным избыточным проточным увлажнением | Состав культур: ольха черная, ясень болотный, ильм горный, ель |

В условиях южного мегасклона Карпат число микропарцелл по отдельным лесокультурным участкам, представляющим свежие вырубки, колеблется от 3 до 50. Учитывая степень ответственности различия эдафических условий по микропарцеллам, в свежей субучине выделено 10 типов микропарцелл, каждой из которых соответствует специфика типа и способа создания культур (табл. 1).

Практическое решение вопроса об организации лесокультурного участка представлено на примере свежей вырубки в сырой бучине (D₃). Высота над уровнем моря 820...970 м, почвы темно-бурые, карпатские, мощные, суглинистые. Крутизна склона от 0 до 27°, экспозиция северо-восточная. В соответствии с приведенными принципами на



Размещение парцелл 1—23 на лесокультурном участке длиной 760 м; а — горизонтали; б — границы парцелл; в — водотоки

участке выделены 23 парцеллы, объединенные в 8 макропарцелл (см. рисунок).

Лесные культуры созданы по технологии, отвечающей особенностям макропарцелл (табл. 2).

Таблица 2

| Номер макропарцеллы | Площадь макропарцеллы, га | Основные положения агротехники создания культур |
|---------------------|---------------------------|---|
| 1 | 1,99 | Состав с учетом естественного возобновления 7Бк2Яв1П. Густота 4,0 тыс. посадочных мест на 1 га. Обработка почвы площадками 1 × 1 м |
| 2 | 1,47 | Состав с учетом естественного возобновления 5Бк2ПЕ1Яв. Густота 4,0 тыс. посадочных мест на 1 га. Обработка почвы лунками |
| 3 | 1,31 | Состав культур 5Е5Яс. Густота 4,0 тыс. посадочных мест на 1 га |
| 4 | 0,54 | Состав культур 5С.кедр5Е. Густота 5,0 тыс. посадочных мест на 1 га |
| 5 | 0,45 | Подрост бука высотой 3...5 м, густотой до 2,0 тыс. шт. на 1 га. Культуры частицы пихты великой (<i>Abies grandis</i> L.) с участком тисса ягодного. Густота 3,0 тыс. посадочных мест на 1 га |
| 6 | 0,23 | Состав 6Бк2ПЕ1Яв, густота 2,0 тыс. посадочных мест на 1 га. Обработка почвы площадками 0,4 × 0,4 м |
| 7 | 0,07 | Устройство валов из лесорубочных остатков. Посадка кольями вербы белой и ольхи серой |
| 8 | 0,15 | Закрепление водостока плетнями |

Применение парцеллярного принципа организации лесокультурной площади обеспечило высокую приживаемость (98 %) на всем лесокультурном участке, высокий прирост по высоте и диаметру на каждой макропарцелле. Соответствие биологических особенностей древесных пород конкретным эдафическим условиям парцелл обеспечивает высокую устойчивость и высокую продуктивность культур. Одновременно в определенной степени сокращены трудоемкость работ и расход посадочного материала. Рациональный состав культур, обеспечивая

повышение их биологической продуктивности, способствует оптимизации экологической обстановки на лесокультурном участке.

УДК 630*231.4 : 630*263

Т. Я. ТУРЧИН

Донская НИЛЛОС

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ УСПЕШНОСТИ ПОРОСЛЕВОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ДУБА В ПОЙМЕННЫХ ЛЕСАХ ДОНА

Приведены сведения о характере произрастания древесных пород в пойме Дона. Разработана шкала успешности порослевого возобновления и составлен его прогноз.

Report on the growing character of woody species in the Don lowland has been given. A successfulness scale of shoot regeneration is developed and its forecast is made.

В пойме Дона большую сложность представляет восстановление коренных дубрав семенным путем. Эти насаждения начинают плодоносить с 30—35-летнего возраста, однако урожайные годы очень редки. Значительная часть желудей повреждается желудевой плодожоркой, долгоносиком и опадает задолго до созревания; опавшие желуди поедаются дикими кабанями и грызунами. Лишь в особо благоприятные семенные годы численность всходов дуба весной достигает 100... 120 тыс. шт. на 1 га, однако на второй год их сохраняется 3...5%, а на третий — лишь десятки дубков.

Причина интенсивного отпада связана со спецификой режима влажности в паводковый и межонный периоды. При колебании уровня грунтовых вод от 0 до 3 м происходит разрыв во влагообеспеченности между корневой системой и капиллярной каймой грунтовых вод. Ввиду отсутствия надежного семенного возобновления и корневых отпрысков единственным способом естественного воспроизводства пойменных дубрав является порослевое от пня.

В настоящее время в пойме Дона преобладают низкополнотные порослевые дубняки IV—VII генераций. Они существенно отличаются от семенных не только интенсивностью роста, но и пространственным размещением. В насаждениях семенного происхождения деревья обычно распределены равномерно по площади, в порослевых — группами по 2...5 экземпляров на пне среди повышенных местоположений заливаемых пойм. Исследования, проведенные в Вешенском лесхозе Ростовской области, показали, что данная закономерность касается не только дуба, но и других пород (табл. 1).

Таблица 1

| Древесная порода | Возраст, лет | Число деревьев, произрастающих одиночно и группами, шт. | | | | | | | | Среднее число деревьев от одного пня |
|------------------|--------------|---|----|----|----|---|---|---|---|--------------------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Дуб | 65 | 30 | 29 | 24 | 10 | 6 | 6 | 3 | 2 | 2,8 |
| Ива белая | 50 | 25 | 21 | 10 | 5 | 4 | 3 | — | — | 2,3 |
| Ольха черная | 60 | 48 | 33 | 23 | 7 | 2 | — | — | — | 2,4 |

Из таблицы видно, что в возрасте рубки на одном пне в среднем сохраняется 2 и более деревьев. В более молодом возрасте (учитывая ход естественного изреживания) их число намного выше.

По шкале ВНИИЛМ при оценке порослевого возобновления поросль, образовавшаяся на пне, принимают за единицу. Возобновление считается удовлетворительным, если поросль имеет более чем на 400 пнях. Эта оценка не всегда объективна, так как в низкополотных порослевых дубравах многократных генераций к возрасту спелости не сохраняется такого количества стволов. На участках с числом деревьев 360 шт. на 1 га даже при условии 100 %-го наличия поросли возобновление считается неудовлетворительным. На наш взгляд, это положение требует уточнения. Необходимо учитывать, что к возрасту спелости на каждом пне сохраняется в среднем два ствола. Выполненные нами исследования [4] доказывают возможность формирования насаждения с запасом 120...130 м³/га при условии сохранения поросли даже на 200...280 пнях, т. е. при неудовлетворительном возобновлении по шкале ВНИИЛМ.

Таблица 2

| Возобновление | Успешность возобновления, %, при числе пней на вырубке, шт./га | | | | |
|----------------------|--|-----------|-----------|-----------|------|
| | 101...200 | 201...300 | 301...400 | 401...500 | >500 |
| Хорошее | — | — | 95 | 75 | 65 |
| Удовлетворительное | — | 95 | 75 | 60 | 50 |
| Слабое | 95 | 65 | 50 | 40 | 35 |
| Неудовлетворительное | <95 | <65 | <50 | <40 | <35 |

Предлагаемая нами шкала успешности порослевого возобновления (табл. 2) более реально отражает состояние возобновления на дубовых вырубках в пойменных лесах Дона. Согласно этой шкале для формирования продуктивных древостоев дуба II—III классов бонитета с запасом стволовой древесины 150...200 м³/га вполне достаточно 250...300 равномерно размещенных пней с порослью на 1 га.

Не менее сложный вопрос — прогнозирование хода лесовосстановительного процесса на вырубках. Для этого обследованы 32 свежие вырубки дуба в Вешенском и Верхнедонском лесхозах Ростовской области, Павловском лесхозе Воронежской области, где, согласно методике закладки пробных площадей [1], учитывали успешность порослевого возобновления дуба в зависимости от таксационной характеристики насаждения. Средние значения представлены в табл. 3.

Таблица 3

| Номер пробной площади | Состав | Возраст, лет | Диаметр, см | Количество пней дуба | | |
|-----------------------|---------|--------------|-------------|----------------------|----------------|----|
| | | | | всего, шт./га | давний поросль | % |
| 1 | 10Д | 40 | 18 | 560 | 460 | 82 |
| 2 | 9Д1В | 50 | 18 | 520 | 354 | 68 |
| 3 | 9Д1Т.6 | 50 | 20 | 500 | 300 | 60 |
| 4 | 10Д+Т.6 | 60 | 22 | 400 | 224 | 56 |
| 5 | 10Д | 60 | 24 | 360 | 180 | 50 |
| 6 | 9Д1В | 60 | 26 | 340 | 146 | 43 |
| 7 | 8Д2В | 70 | 24 | 380 | 152 | 40 |
| 8 | 10Д | 70 | 28 | 310 | 99 | 32 |
| 9 | 9Д1В | 80 | 28 | 210 | 52 | 25 |

Установлено, что успешность порослевого возобновления зависит главным образом от возраста и диаметра древостоя. С 60—70-летнего возраста деревья начинают суховершнить и даже после их рубки пни не дают поросли (пробные площади 5—8).

На пробных площадях 2 и 3, 5 и 6, 7 и 8 в одновозрастных насаждениях успешность возобновления оказалась выше там, где ниже средний диаметр древостоя. Наиболее толстые пни на вырубке, как правило, не имеют поросли. Наши данные совпали с ранее высказанным мнением по этому вопросу [2, 3, 5].

По результатам исследований составлен прогноз порослевого возобновления дуба, основой которого являются возраст рубки и средний диаметр древостоя (табл. 4).

Таблица 4

| Возраст древостоя, лет | Средний диаметр древостоя, см | Прогнозируемое возобновление, % | Возраст древостоя, лет | Средний диаметр древостоя, см | Прогнозируемое возобновление, % |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 40 | 16 | 85 | 70 | 24 | 40 |
| | 18 | 80 | | 26 | 35 |
| | 20 | 75 | | 28 | 30 |
| 50 | 18 | 70 | 80 | 26 | 25 |
| | 20 | 65 | | 28 | 20 |
| | 22 | 60 | | 30 | 15 |
| 60 | 22 | 55 | | | |
| | 24 | 50 | | | |
| | 26 | 45 | | | |

Примечание. На вырубках дуба меньшего (большего) возраста успешность возобновления на 15...20 % выше (ниже).

Так, после рубки древостоя 80-летнего возраста со средним диаметром 28 см поросль дадут лишь 20 % пней, 60-летнего возраста со средним диаметром 24 см — 50 %, 40-летнего возраста со средним диаметром 18 см — 80 %.

Пользуясь таблицей, лесничий сможет заблаговременно до рубки главного пользования и своевременно (по материалам отводов) прогнозировать ход возобновления и своевременно проектировать необходимые лесовосстановительные мероприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Инструкция по проведению лесоустройства в едином лесном фонде СССР.— М., 1986. [2]. Лесоводственные основы ведения хозяйства в пойменных лесах: Методич. рекомендации / Под ред. В. Г. Шаталова.— М., 1990. [3]. Пойменные леса / В. Р. Карлин, И. В. Трещевский, В. Г. Шаталов, И. В. Якимов // М.: Лесн. пром-сть, 1971.— 152 с. [4]. Турчин Т. Я. Порослевое возобновление дуба в пойме р. Дон // Лесоведение.— 1993.— № 5.— С. 81—84. [5]. Харитонович Ф. И. Порослевое возобновление дуба в степи.— М.: Гослесбухиздат, 1963.— 80 с.

Поступила 22 февраля 1994 г.

УДК 625.143.4.001.24

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

С. И. МОРОЗОВ

Архангельский государственный технический университет

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧИ УДАРА КОЛЕСА О РЕЛЬС В СТЫКАХ

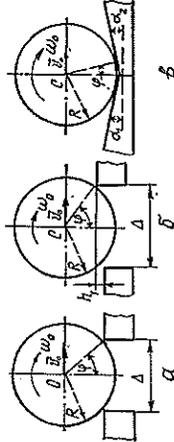
Приведены расчетные зависимости для трех случаев взаимодействия колеса и рельса перед ударом и блок-схема решения с помощью ЭВМ. Изложена методика и дан пример решения задачи удара с помощью классической и деформационной теорий.

Calculation dependences for three cases of a wheel-and-a rail interaction before an impact and a flowchart of a computer-based solution are given. Methods and an example of worked impact problems by means of classical and strain theories have been stated.

При движении колеса в зоне стыка звеньевое пути возникает удар, сопровождаемый характерным звуком, называемым «стуком колес». Помимо звуковых, имеют место также и механические эффекты, которые приводят к повышению износу концов рельсов, увеличению сопротивления движению поезда и т. п.

Можно назвать по крайней мере три основных фактора, вызывающих удар колеса о рельс: стыковой зазор, уступ поверхности катания и неровность поверхности катания при износе головки рельса (рис. 1).

Рис. 1. Схемы соударения колеса и рельса: *a* — стыковой зазор; *б* — уступ поверхности катания; *в* — неровность поверхности катания при износе головки рельса; v_0 — скорость центра колеса (точки *C*); ω_0 — угловая скорость качения колеса; Δ — стыковой зазор; h_1 — ступенька поверхности катания стыкуемых рельсов; R — радиус колеса; α_1, α_2 — углы поверхности катания рельсов в зоне стыка



В данной статье рассмотрены только два первых фактора. Они имеют практическое значение при определении следующих величин: максимального стыкового зазора, отклонения стыкуемых рельсов по высоте, допустимого износа концов рельсов в стыках и т. д.

При решении задачи используем следующие предположки.

а) Рассматриваем движение отдельного изолированного колеса массой m_1 и радиусом R . Оно катится вдоль пути со скоростью v_0 . Влияние на движение колеса ходовой части экипажа, сил тяги, торможения и сопротивления движению не учитываем.

б) Масса m_2 верхнего строения пути (рельсы, шпалы, балластный слой) и земляного полотна существенно больше массы колеса, поэтому в момент удара можно принять $m_2 = \infty$.

в) До начала удара верхнее строение пути неподвижно, т. е. $u_2 = 0$.

г) Рельсовое основание является равноупругим, и траектория точки касания колеса с рельсом (так называемая центроида) представляется собой прямую.

Решение задачи удара колеса о рельс, приведенное ниже, состоит из трех блоков. В первом находят скорость колеса до удара, во втором — с помощью классической теории [1, 3, 4] определяют скорость колеса после удара и импульсы ударных сил, в третьем — с помощью деформационной теории [1, 2] рассчитывают ударные силы и время удара. Рассмотрим последовательно процедуру вычислений для каждого блока.

Блок 1. Расчетные схемы для различных случаев соударения приведены на рис. 2. К ним относятся: стыкование рельсов на одном уровне ($h_1 = 0$, рис. 2, а), с уступом справа ($h_1 < 0$, рис. 2, б, в) или слева ($h_1 > 0$, рис. 2, г, д, е).

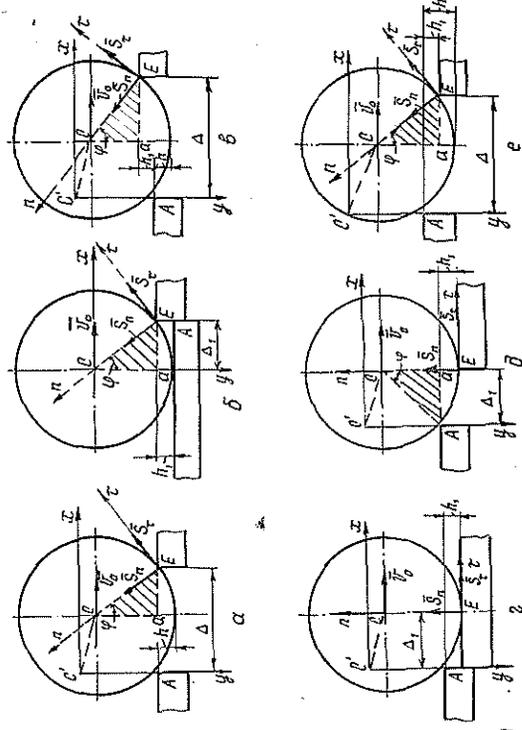


Рис. 2. Схемы соударения о рельс при движении колеса в зоне стыкового зазора: а — ступеньки на поверхности катания нет; б, в — ступенька на принимающем рельсе; г, д, е — на отдающем. Пунктиром показана траектория точки С в фазе свободного полета

Предполагаем, что колесо движется (катится) слева направо. В точке А оно отрывается от отдающего рельса и наступает фазу свободного полета, которая длится до момента удара колеса о принимающий рельс в точке В. Эта фаза всегда имеет место для первого и третьего случаев. Во втором случае ее наличие не обязательно. Если стыковой зазор Δ достаточно мал, то колесо соприкасается с рельсом в точке В раньше, чем сойдет с отдающего рельса.

Наличие или отсутствие фазы свободного полета зависит от значения h_1 и Δ_1 . Если выполняется условие

$$\Delta \ll \Delta_1, \quad (1)$$

где

$$\Delta_1 = \sqrt{R^2 - (R - h_1)^2}, \quad (2)$$

то фазы свободного полета нет. Если условие (1) не выполняется, она есть.

Для третьего случая ($h_1 > 0$) возможен удар колеса по рельсу в головку (рис. 2, г, д) или по кромке торцевой части (рис. 2, е).

Введем расчетный параметр

$$x_0 = v_0 t_1 = v_0 \sqrt{2h_1/g}. \quad (3)$$

где t_1 — время свободного полета;

h_1 — высота ступеньки.

Если

$$x_0 \geq \Delta, \quad (4)$$

то удар происходит по схемам, изображенным на рис. 2, ε , δ ; в противном случае — на рис. 2, e .

Используя для фазы полета дифференциальные уравнения плоскопараллельного движения тела, получаем:

$$\begin{aligned} x &= v_0 t; \\ y &= gt^2/2; \\ v_x &= v_0; \\ v_y &= gt; \\ \omega_0 &= v_0/R, \end{aligned} \quad (5)$$

где x, y — координаты точки C в системе координат xAy ;

v_x, v_y — проекции скоростей точки C на оси координат;

ω_0 — угловая скорость вращения колеса перед ударом.

На момент удара колеса о рельс в точке E из треугольника CEa (рис. 2) имеем

$$CE = R;$$

$$Ea = \Delta - x_0 = \Delta - v_0 t_1;$$

$$Ca = R - h \pm h_1 = R - gt_1^2/2 \pm h_1,$$

где h — величина опускания точки C по вертикали за время t_1 ;
 h_1 — высота ступеньки. Для случая, показанного на рис. 2, a , имеем $h_1 = 0$; на рис. 2, b , v перед h_1 записывают знак минус, на рис. 2, ε , δ — плюс.

Отсюда можно составить два уравнения:

$$(\Delta - v_0 t_1)^2 + (R - gt_1^2/2 \pm h_1)^2 = R^2; \quad (6)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\Delta - v_0 t_1}{R - gt_1^2/2 \pm h_1}. \quad (7)$$

По (6) находят время свободного полета, по (7) — угол φ , по (5) — значения x, y, v_x, v_y, ω_0 .

Все вычисления удобно запрограммировать на ЭВМ. Схема вычислений для первого блока приведена на рис. 3. Аналогичные схемы и программы их реализации на ЭВМ составлены для второго и третьего блоков.

Для решения задачи удара как по классической, так и по деформационной теориям необходимо знать проекции скорости точки C до удара на оси τ и η . Соответствующие выражения имеют вид

$$v_\tau = v_x \cos \varphi - v_y \sin \varphi; \quad (8a)$$

$$v_\eta = - (v_x \sin \varphi + v_y \cos \varphi). \quad (8b)$$

Блок 2. Расчетные уравнения для соударения двух тел, совершающих плоскопараллельное движение, приведены в работе [3]. Их можно использовать и при изучении удара колеса о рельс в зоне стыка с учетом особенностей этой задачи.

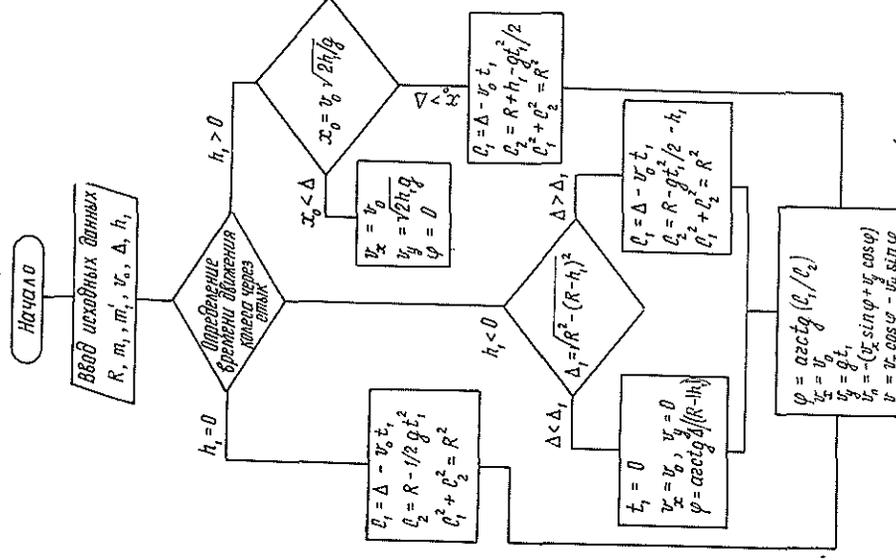


Рис. 3. Блок-схема вычисления скорости колеса при ударе о рельс

К ним относятся:

скорость точки C первого тела (колеса) до удара задана через ее проекции на оси координат x и y , поэтому

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j};$$

направление векторов \vec{v}_x и \vec{v}_y с осями x и y удобно выразить через угол φ ;

масса первого тела m_1 , участвующего в ударе, равна сумме масс одного колеса и приходящейся на него массы экипажа. Ее можно разделить по паспортным данным экипажа;

масса первого тела m_1' , используемая для определения момента инерции колеса при вращении его вокруг горизонтальной оси, равна половине массы одной оси.

С учетом изложенного имеем следующие расчетные уравнения: для коэффициентов масс

$$G = 1/m_1; \quad (9a)$$

$$G_1 = 1/m_1 + 2/m_1', \quad (9б)$$

для составляющих S_x и S_y (рис. 2) импульса ударной силы

$$S_{\tau} = -\frac{2v_{\tau}}{G_1} = \frac{2m_1 m_1' v_{\tau}}{m_1 + m_1'}; \quad (9в)$$

$$S_n = -\frac{(1 + \varepsilon) v_n}{G} = -(1 + \varepsilon) m_1 v_n, \quad (9г)$$

где ε — коэффициент восстановления;
для составляющих u_{τ} и u_n скоростей точки после удара

$$u_{\tau} = v_{\tau} + S_{\tau}/m_1 = \frac{m_1 - m_1'}{m_1 + m_1'} v_{\tau}; \quad (9д)$$

$$u_n = v_n + S_n/m_1 = -\varepsilon v_n, \quad (9е)$$

для угловой скорости колеса после удара

$$\omega_1 = \omega_0 + \frac{2S_{\tau}}{m_1 R}. \quad (9ж)$$

Определив u_{τ} , u_n и ω_1 , можно исследовать движение колеса после удара.

Значения S_{τ} и S_n позволяют косвенно оценить нагруженность материала рельса в зависимости от размеров стыкового зазора и неровности пути h_1 .

Одной из важных расчетных величин в классической теории удара является коэффициент восстановления. Он зависит как от материала соударяющихся тел, так и относительной скорости соударения

$$v_n = |v_{n_1} - v_{n_2}|.$$

По результатам экспериментальных исследований [1] зависимость $\varepsilon = \varepsilon(v_n)$ можно аппроксимировать степенным уравнением. При соударении стальных тел она имеет вид:

$$\varepsilon = 0,9997 - 0,0961v_n + 0,01136v_n^2 - 0,000548v_n^3;$$

для закаленной стали

$$\varepsilon = 0,9864 - 0,1569v_n + 0,02224v_n^2 - 0,001116v_n^3.$$

Следовательно, в первом блоке надо предварительно определить v_n , затем значение ε и только после этого переходить к выполнению расчетов по второму блоку.

Блок 3. В деформационной теории удара используют решение задачи Г. Герда о силах, возникающих в контакте двух тел.

Основные расчетные выражения деформационной теории приведены в работе [1, 2]. Здесь ударная сила F нелинейно зависит от сближения δ центров масс тел:

$$F = k\delta^{1,5}, \quad (10)$$

где k — постоянная.

В общем случае выражение для k имеет вид

$$k = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \left[\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right]^{-1}, \quad (11)$$

где E_1 , E_2 , μ_1 , μ_2 — модули упругости и коэффициенты Пуассона материала соударяющихся тел в точке контакта.

В частном случае при соударении тел из однородного материала имеем $E_1 = E_2 = E$, $\mu_1 = \mu_2 = \mu$. Тогда выражение (11) принимает вид

$$k = \frac{2E}{3(1-\mu^2)} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}. \quad (11a)$$

Решая дифференциальное уравнение движения взаимодействующих тел [1, 2]

$$\delta'' + \frac{k}{m} \delta = 0,$$

где $m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ — приведенная масса; получаем следующие выражения: для максимальной деформации тел

$$\delta_m = \left(\frac{5m v_0^2}{4k} \right)^{0,4}; \quad (12)$$

для времени удара

$$\tau_1 = 2,9432 \left(\frac{5m}{4k} \right)^{0,4} v_0^{-0,2}; \quad (13)$$

для максимальной силы удара

$$F_m = k^{0,4} \left(\frac{5m v_0^2}{4} \right)^{0,6}; \quad (14)$$

для импульса ударной силы

$$S_m = 1,8395 m v_0. \quad (15)$$

Выражение (15) служит для оценки соответствия результатов решения задачи удара по классической и деформационной теориям.

Для иллюстрации изложенной выше методики решения задачи удара колеса о рельс в зоне стыка рассмотрим пример для случая $h_1 = 0$. Все вычисления выполнены с помощью ЭВМ.

Исходные данные: $m_1 = 3000$ кг; $m'_1 = 300$ кг; $m_2 = \infty$; $R_1 = 0,3$ м; $R_2 = \infty$; $v_0 = 10$ м/с; $v_2 = 0$; $h_1 = 0$; $E_1 = E_2 = 2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м²; $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$.

Результаты решения приведены в таблице.

Данные таблицы позволяют сделать следующие выводы.

1. Время t_1 движения колеса через стыковой зазор изменяется примерно пропорционально значению Δ . Это объясняется довольно большой скоростью движения колеса ($v = 10$ м/с ≈ 36 км/ч). Аналогичная закономерность наблюдается для величин φ , v_y , v_n . Скорость v_x на этом участке движения колеса остается постоянной при любом значении Δ , т. е. $v_x = v_0 = 10$ м/с. Скорость v_n отрицательна, т. е. для колеса направлена к точке E (к рельсу).

2. Составляющая S_τ , а также ω_1 и u_τ изменяются незначительно, знак S_τ отрицателен, т. е. эта составляющая ударного импульса направлена в сторону, обратную оси τ .

3. В результате удара значение ω_1 увеличивается, сохраняя знак минус, т. е. направление вращения колеса до и после удара не изменяется (по часовой стрелке).

4. Составляющая S_n имеет знак плюс, т. е. направлена внутрь как колеса, так и рельса. По модулю она изменяется примерно пропорционально Δ .

Значения S_n , вычисленные как по классической (блок 2), так и деформационной (блок 3) теориям, различаются незначительно (в пределах точности исходных предположений).

Известно, что теория Г. Герца [1, 2] принимает во внимание только местные деформации материала тел в точке контакта. Аналогичное

| № блока | Показатели | Значения показателей при Δ , см | | | | | |
|---------|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0,25 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 5,0 | 10,0 |
| 1 | $t_1, 10^4$ | 2,133 | 4,266 | 8,535 | 17,07 | 42,68 | 85,36 |
| | φ , град | 0,0701 | 0,1402 | 0,2798 | 0,5595 | 1,3984 | 2,7970 |
| | $v_y, 10^3$ м/с | 2,092 | 4,185 | 8,373 | 16,75 | 41,87 | 83,44 |
| | $-v_n$, м/с | 0,0143 | 0,0287 | 0,0572 | 0,1144 | 0,2859 | 0,5716 |
| 2 | ε | 0,984 | 0,982 | 0,978 | 0,969 | 0,943 | 0,904 |
| | $-S_{\tau}, H \cdot c$ | 2851,1 | 2851,1 | 2857,1 | 2857,9 | 2852,6 | 2852,6 |
| | $S_n, H \cdot c$ | 85,31 | 170,43 | 339,34 | 675,70 | 1666,8 | 3264,7 |
| | $u_{\tau}, m/c$ | 9,0476 | 9,0476 | 9,0475 | 9,0470 | 9,0440 | 9,0331 |
| 3 | $u_n, m/c$ | 0,0141 | 0,0281 | 0,0559 | 0,1108 | 0,2697 | 0,5166 |
| | $-\omega_1, 1/c$ | 96,824 | 96,825 | 96,824 | 96,821 | 96,800 | 96,724 |
| | $F_m, кН$ | 20,06 | 46,08 | 105,58 | 242,55 | 728,0 | 1672,6 |
| | $\tau_1, 10^2 c$ | 7,862 | 6,845 | 5,961 | 5,189 | 4,321 | 3,762 |
| | $S_n, H \cdot c$ | 78,91 | 158,38 | 315,66 | 613,32 | 1576,1 | 3154,4 |
| | σ , МПа | 20 | 45 | 105 | 240 | 700 | 1600 |

предположение, но только в другой форме, сделано И. Ньютоном (через коэффициент восстановления). Поэтому обе теории (классическая и деформационная) не противоречат, а дополняют друг друга. В принципе они должны давать сопоставимые результаты, что и установлено в настоящей работе.

5. Сила удара возрастает с увеличением стыкового зазора. Прямая пропорционально ей изменятся и напряжения σ , возникающие в зоне контакта при ударе колеса о рельс. При изменении ширины стыкового зазора Δ от нуля до 2 см значения расчетных напряжений σ меньше, чем напряжения предела текучести рельсовой стали ($\sigma_{\tau} \approx 450$ МПа).

Таким образом, изложенный материал позволяет определить силовые и кинематические характеристики процесса удара колеса о рельс. Другие вопросы, относящиеся к этой задаче, в том числе движение колеса через стык со ступенькой, влияние неровностей пути в зоне стыка и т. д., будут рассмотрены в другой статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Гольдсмит В. Удар.— М.: Стройиздат, 1965.— 448 с. [2]. Кильчевский Н. А. Теория соударений твердых тел.— Киев: Ин-т механики АН УССР, 1969.— 248 с. [3]. Морозов С. И. К вопросу о решении задач удара на лесотранспорте // Лесн. журн.— 1994.— № 1.— С. 40—47.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара.— М.: Наука, 1977.— 224 с.

Поступила 24 февраля 1994 г.

УДК 630*36.004.1

Л. М. МАЗУРКИН

Марийский политехнический институт

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Приведены критерии рискованной эксплуатационной и технической производительности манипуляторной лесозаготовительной машины с полноповоротной платформой типа ЛП-19А. Показаны числовые границы этих критериев с учетом различных лесотехнических требований.

Criteria of risky operating and engineering capacity of a knuckled arm harvester with a revolving platform of LP-19A type have been presented. Some numerical limits of those criteria with reference to different forest engineering requirements are revealed.

Назначение лесозаготовительной машины (ЛЗМ) — механизация труда по извлечению лесоматериалов из лесоучастка. В настоящее время биотехническая эффективность многих ЛЗМ отрицательна. Она может быть повышена при соблюдении правил лесопользования, что в большей степени зависит от мастерства оператора и в меньшей от конструкции и параметров ЛЗМ. Рост продуктивности древостоя обеспечивается применением манипуляторных ЛЗМ, общая тенденция эволюции которых сводится к достижению уровня внедорожных роботов [9].

Научная информация о возможных результатах (особенно отрицательных эффектах) функционирования оператора ЛЗМ еще недостаточно систематизирована. Поэтому моделирование критерия, оценивающего способность лесоучастка продуцировать, необходимо выполнить путем натуральных исследований в реальных условиях природопользования [11, с. 399]. Поскольку цель функционирования неопределенна, в соответствии с рекомендациями [12] необходимо перейти к созданию априорно-апостериорно-адаптивных многокритериальных моделей оптимизации, когда множество критериев и их модели уточняются (адаптируются) по мере получения новой, в том числе эмпирической и экспертной, информации. По данным [14], время обработки порции дополнительной информации должно быть значительно меньше времени между уточнениями критериальных моделей. Нами создана методика эвристико-статистической идентификации [3, 5], позволяющая моделировать эмпирические и экспертные данные.

Процессы обработки лесоучастка и информации о возможных модификациях сообщества деревьев должны выполняться одновременно или хотя бы со сдвигом во времени не более чем на период обработки одной лесосеки, деланки или даже пасаки.

Пусть заданный режим обработки лесоучастка наблюдается по отношению ко всем его элементам (волок, лентга, пасака, деланка, лесосека) и описывается системой показателей, например аналогичных показателям сельскохозяйственного производства [13]. Тогда производительность системы оператор — ЛЗМ является рискованной $[P]_{эж}$, предельно ограничивающей эксплуатационную производительность $P_э$ лесозаготовительной машины [2, 10].

При прочих равных условиях эксплуатационная производительность зависит от способа заготовки лесоматериалов, учета уровня рисковей эксплуатационной производительности $[P_3]_{эк}$, а также профессионального мастерства оператора. Например, на соревнованиях [1] лучший оператор ЛП-19А за 30 мин спилил и уложил в пачки 99 деревьев. Производительность машины или оборудования определяется временем, затраченным на производство единицы продукции (в нашем случае срезанное дерево) или объемом продукции, произведенной за единицу времени (темп работы). Абсолютная производительность челопиона составила 18 с.

Отсюда следует, что предельная (по психофизиологическим данным оператора) относительная эксплуатационная производительность равна β, β дерева за 1 мин, или около 100 м³/ч, или около 600 м³/см. Работа одного оператора в таком темпе в течение смены невозможна. Поэтому значения 600 м³/см. неверно из-за игнорирования закономерности изменения производительности труда человека (ее максимум наблюдается в первой половине смены, ближе к середине). Рисковая производительность по состоянию оператора $[P_3]_{оп}$ в приведенном примере равна около 100 м³/ч и достигается при сплошной рубке без сохранения подроста.

Нормальная работа оператора обеспечивает эксплуатационную производительность ЛП-19А около 200 м³/см [1], т. е. $P_3 < [P_3]_{оп}$. Влияние психофизиологических возможностей оператора выражается в трехкратном снижении производительности. При этом $[P_3]_{оп}$ для ЛП-19А приближается к производительности экскаватора (цикл 16...18 с). Отсюда можно записать цель равенств для эксплуатационной производительности:

$$P_3 \leq [P_3]_{эк} \leq [P_3]_{оп} \leq [P_3]_{м}, \quad (1)$$

где $[P_3]_{м}$ — предельная (рисковая) эксплуатационная производительность ЛЗМ по ее технической возможностям (режим нагружения, надежность эксплуатации и др.).

Фактическая эксплуатационная производительность P_3 зависит от допустимой по экологическим (лесоводственным) требованиям производительности $[P_3]_{эк}$. Этапом является сосновый спелый древостой, для которого этот критерий не учитывается. По всем другим структурам лесоучастка, видам и способам рубки значение указанного критерия уменьшается. Например, при чересполосно-пасечной выборочной рубке леса (П. В. Алексеев) норматив производительности снижается на 40 % и более по сравнению со сплошной рубкой без сохранения подроста. При селекционной рубке этот критерий еще меньше. Тогда можно записать соотношение

$$[P_3]_{эк} = [P_3]_{эк}^0 a_n a_{п1} a_{с} \dots, \quad (2)$$

где $[P_3]_{эк}^0$ — опорное значение рисковей эксплуатационной производительности по экологическому состоянию (сосновый древостой, сплошная рубка без сохранения подроста);

$a_n, a_{п1}, a_{с} \dots$ — коэффициенты, учитывающие видовой состав древостоя, интенсивность рубки, способ рубки и т. д.

Аналогично для оператора, занявшего первое место на соревнованиях, можно принять значение рисковей производительности по психофизиологическому состоянию $[P_3]_{оп1}$; для новичков и неопытных операторов необходимо устанавливать поправочные коэффициенты.

Согласно формуле (1) рисковая техническая производительность ЛЗМ должна быть выше возможностей любого оператора. Только в этом случае становится высокопроизводительной эксплуатация ЛЗМ, на-

дежной по конструкции. Чем выше значение $[P_3]_м$, тем больше P_3 у высококвалифицированного оператора. Например, машина ЛП-19А имеет технические возможности, которые еще не выявлены до конца. По данным [1], два оператора сменились на одной машине ЛП-19А после перехода от одной ленты к другой (период обработки ленты 50 мин). За 8 ч непрерывной работы ЛП-19А выдала не 200, а 490 м³ пачек деревьев. Цикл обработки одного дерева составил в среднем 27 с. Основываясь на этих данных, можно выстроить цепь неравенств: $P_3 \leq 120 < 200 < 490$ м³/см. При работе ЛП-19А в условиях несплошной рубки в хвойно-лиственном лесу (первый ярус — береза и осина, второй — ель) $P_3 = 120$ м³/см. По-видимому, экспериментально можно найти физический предел производительности одной машины ЛП-19А $[P_3]_м$, обслуживаемой несколькими опытными операторами. По результатам соревнований [1], $[P_3]_м = 600$ м³/см.

Для определения возможностей [1], $[P_3]_м = 600$ м³/см. ской производительности ЛЗМ составим цепь неравенств

$$P_7 \leq [P_7]_ц \leq [P_7]_н \leq [P_7]_{пр} \leq [P_7]_ф, \quad (3)$$

где P_7 — техническая производительность ЛЗМ;

$[P_7]_ц$ — цикловая производительность ЛЗМ; которая может быть достигнута на соревнованиях за короткий период работы (по [1] в основном эталонном древостое при сплошной рубке без сохранения подроста получено $[P_3]_м = [P_7]_ц = 600$ м³/см, что нереально для 1 оператора);

$[P_7]_н$ — производительность по предельной нагруженности машинами (для ее определения необходим полигон с моделями крупных деревьев, соответствующих предельной грузоподъемности ЛЗМ);

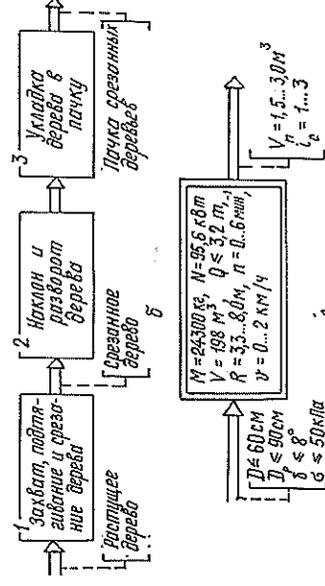
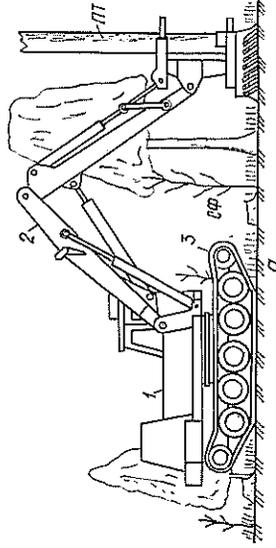


Рис. 1. Способы информационных описаний ЛЗМ: а — конструктивное; 1 — платформа полноповоротная с кабиной и приводом; 2, 3 — рабочее и ходовое оборудование; ПТ — предмет труда; СФ — среда функционирования; б — функциональная структура процесса работы ЛП-19А; σ — параметрическая модель машины

$[P_{\tau}]_{\text{пр}}$ — производительность по предельной прочности конструкции ЛЗМ (испытания на стендах [4] с датчиками напряжений в элементах конструкции);

$[P_{\tau}]_{\text{ф}}$ — производительность по предельному функционированию (например, для ЛП-19А срезание и валка модельных деревьев на специальном полигоне). Этот критерий близок к показателю технологической производительности по В. Б. Прохорову [10, с. 20—21].

Рассмотрим три способа информационного описания ЛЗМ (рис. 1): параметрическое по предельным значениям технических данных (учитывается в формуле (3) через критерий $[P_{\tau}]_{\text{н}}$); конструктивное, включающее характеристику материалов конструкции по прочности (критерий $[P_{\tau}]_{\text{пр}}$); функциональное (критерий $[P_{\tau}]_{\text{ф}}$). Согласно формуле (3) в качестве оператора машины может быть человек (P_{τ} , $[P_{\tau}]_{\text{н}}$) и автомат ($[P_{\tau}]_{\text{н}}$, $[P_{\tau}]_{\text{пр}}$, $[P_{\tau}]_{\text{ф}}$) при необходимости соблюдения условий безопасности нахождения человека в испытываемой ЛЗМ.

На рис. 2, а показано, что функциональную структуру можно описать по изменениям предмета труда (обрабатываемые действия подчёркнуты). Поэтому минимально возможная структура состоит всего из двух обрабатывающих действий, причем срезание является функцией качественного, а укладка — количественного типа.

Машина «Керинг-ЗФФ» выполняет эти две обрабатывающие функции по ходу разворота платформы, поэтому поворот становится движением подачи дисковой фрезы на растущие деревья. Захват выполняется после срезания, а действия подтягивания и наклона вообще исключаются (рис. 2, б). По схеме на рис. 2, в работает отечественная машина МТП-13А.

Сопоставление схем показывает, что «сжатие» обрабатывающих функций происходит при обеспечении непрерывности процесса за счет постоянного вращения платформы. При скорости 6 об/мин время обработки дерева уменьшается до 10 с. Человек-оператор не выдерживает такой интенсивности движений. Автомат может обеспечить вращение платформы со скоростью до 12 об/мин, поэтому минимально возможное время обработки дерева при непрерывности цикла составит 5 с.

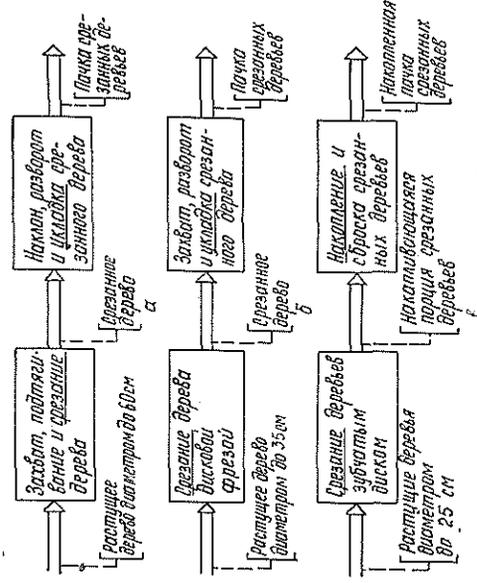


Рис. 2. Принцип действия машин: а — ЛП-19А; б — «Керинг-ЗФФ»; в — кустореза МарПИ на базе ЛП-19А [6—8]

По формуле (3) получим ряд технической производительности машины типа ЛП-19А: $P_T \leq 600 \leq [P_T]_n \leq [P_T]_{пр} \leq 2000 \text{ м}^3/\text{см}$. Согласно формулам (2) и (3) при переходе от одного уровня расчета производительности к другому наблюдается экспоненциальный рост значней рискованной производительности. Предельная теоретическая производительность оценивается в $2000 \text{ м}^3/\text{см}$, что в 10 раз выше средней эксплуатационной.

Улучшение конструкции машины типа ЛП-19А должно быть обеспечено применением более прочных и легких материалов и снижением динамических нагрузок, возникающих при $[P_T]_{пр} \rightarrow 2000 \text{ м}^3/\text{см}$. Однако этому могут помешать технические характеристики существующей машины (мощность, грузоподъемность, долговечность и другие параметры). Замена двигателя, совершенствование гидросистемы и ходовой части позволят выполнить условие $[P_T]_n \geq 600 \text{ м}^3/\text{см}$, а в будущем создавать лесозаготовительные работы на базе ЛП-19А с рискованной технической производительностью $[P_T]_n = [P_T]_{пр} \rightarrow 2000 \text{ м}^3/\text{см}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Андрюхин Г. Не рекордом единым.—Лесн. пром-сть.—1989.—4 апр. [2]. Анисимов Г. М. Эксплуатационная эффективность трелевочных тракторов.—М.: Лесн. пром-сть, 1990.—207 с. [3]. Мазуркин П. М. Идентификация функционирования природохозяйственных систем / Марийск. политех. ин-т.—Йошкар-Ола, 1989.—335 с.—Деп. в ВНИПИЭИлеспром, № 2536—лб 89. [4]. Мазуркин П. М. Эвристический регрессионный анализ природохозяйственных явлений и процессов / Марийск. политех. ин-т.—Йошкар-Ола, 1989.—316 с.—Деп. в ВНИПИЭИлеспром, № 2554—лб 89. [5]. Мазуркин П. М. Стенды для испытания лесозаготовительных машин.—Лесн. пром-сть.—1992.—№ 3.—С. 24—25. [6]. Мазуркин П. М., Пинчук В. М., Котиков В. И. Конвертирование лесозаготовительных машин // Лесн. пром-сть.—1992.—№ 1.—С. 26—27. [7]. Мазуркин П. М., Пинчук В. М., Котиков В. И. Маневляющие кусторезы.—Йошкар-Ола: МарПИ, 1992.—106 с. [8]. Мазуркин П. М., Царев Е. М. Конвертирование машины ЛП-17А // Лесн. пром-сть.—1992.—№ 8.—С. 23—24. [9]. Накано Э. Введение в робототехнику / Пер. с япон.—М.: Мир, 1988.—334 с. [10]. Прохоров В. Б. Эксплуатация машин в лесозаготовительной промышленности.—М.: Лесн. пром-сть, 1978.—304 с. [11]. Реймерс Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник.—М.: Мысль, 1990.—637 с. [12]. Современный синтез критериев в задачах принятия решений / А. Н. Катулев, В. Н. Михно, Л. С. Виленчик и др.—М.: Радио и связь, 1992.—120 с. [13]. Справочник экономических показателей сельского хозяйства / Р. А. Иванух, Н. М. Пантелейчук, И. В. Попович.—2-е изд., перераб. и доп.—К.: Урожай, 1988.—216 с. [14]. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов.—М.: Экономика и статистика.—1983.—302 с.

УДК 630*36.004.1

Л. М. МАЗУРКИН

Марийский политехнический институт

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Приведены результаты структурно-функционального анализа процесса лесозаготовки и критерияльного описания участвующих в нем объектов. Рассмотрены особенности моделирования биотехнической эффективности ЛЗМ.

Results of a structural-functional analysis of logging process and criterial description of the objects participating in it have been presented. The features of modelling the biotechnical efficiency of harvesters are revealed.

В теории проектирования лесозаготовительных машин (ЛЗМ) и оборудования происходят существенные изменения, обусловленные раз-

Поступила 18 октября 1993 г.

нообразном способе и средств обработки лесоучастков и лесоматериалов. При этом лесозаготовительное оборудование формируется в виде различных комплексов машин, механизмов и инструментов.

Основоположителем теории агрегатирования ЛЗМ является С. Ф. Орлов [7]. Он и его ученики предложили концептуальную формулу эффективности процесса проектирования машин и оборудования для лесозаготовок: польза — удобство — красота [10, с. 6]. Эта формула будет верна и в будущем, хотя сам процесс проектирования существенно меняется по структуре и функциям. Например, в последние годы принято выделять предпроектный этап (аванпроектирование). Его результаты В. А. Александров [1, с. 11, 15—16] назвал лесотехническими требованиями. Концептуальные дополнения даны также в других работах [4, 9].

Цель нашей статьи — уточнить и расширить концептуальную формулу проектирования, особенно первую ее часть, и разработать системную критериев оценки и выбора рациональных альтернатив проектируемых ЛЗМ.

Будем исходить из того, что применение ЛЗМ приводит к негативным (низкое качество оставляемой лесной среды) и позитивным (сортность заготавливаемых лесоматериалов) эффектам. В связи с этим процесс лесозаготовки не может быть оценен только эффективностью переработки на сортименты. Необходим более широкий комплексный (системный) подход.

В процессе лесозаготовки участвуют четыре материальных потока (рис. 1, а): лесоучасток, состояние которого изменится от исходного $L_{\text{исх}}$ до собранного $L_{\text{обр}}$; древесина (древесное сырье), получаемая от обработки отведенных в рубку деревьев $D_{\text{руб}}$ до изделий из нее $D_{\text{к}}$ (лесоматериалы, пиломатериалы и др.); персонал (машинист, экипаж, бригада, ...), улучшающий свое мастерство и психофизиологическое состояние от P к P^* ; оборудование, включающее комплексы лесозаготовительных машин и изменяющееся физически от T к T^* .

Производимые и производящие объекты объединяются в биотехнические системы (рис. 1, б). При этом как машины не могут функционировать без персонала, так и лесоматериалы не могут появляться вне леса. В техническом аспекте ЛЗМ понимают как преобразователь исходного лесоучастка в обработанный с одновременным получением

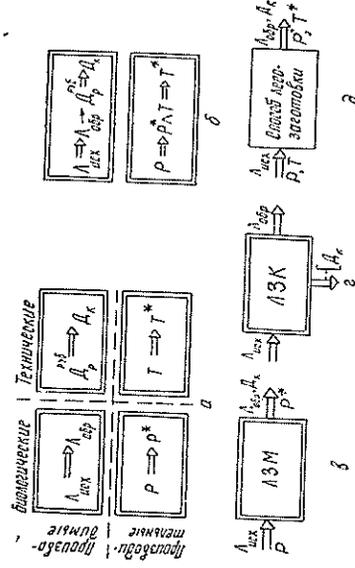


Рис. 1. Графическое потоковое представление объектов, участвующих в лесозаготовительном процессе: а — классификация объектов, изменяющихся в процессе лесозаготовки; б — объединенные объекты в биотехнические системы; в, г, д — потоковые модели соответственно лесозаготовительной машины, лесозаготовительного комплекса и способа лесозаготовки

древесины (рис. 1, в). При этом мастерство персонала повышается. В технологическом аспекте (рис. 1, г) персонал и ЛЗМ образуют лесозаготовительный комплекс (ЛЗК), предназначенный для получения эффектов $L_{обр}$ и $D_{кв}$.

Функциональное описание способа лесозаготовки (рис. 1, д) учитывает в общем случае все четыре материальных потока. Результат взаимодействия должен иметь положительный ингрдиент по всем потокам, т. е. необходимо достичь $L_{обр}^*$, $D_{кв}^*$, P^* и T^* , где знак * означает качественно и количественно измененное состояние материального объекта, измеренное способами диагностики (фитопатологические, генетические, таксационные, медцицинские, технические и др.).

На рис. 2 и 3 приведены примеры системного представления четырех сценариев проектирования, т. е. процесса преобразования информации из исходного описания в конечное. Эти сценарии учитывают физическое преобразование материальных потоков $L_{исх} \Rightarrow L_{обр}$, $D_{руб} \Rightarrow D_{кв}$, $P \Rightarrow P^*$, $T \Rightarrow T^*$. Знаком ∇ обозначен оператор преобразования свойств лесоучастка, древесного сырья, персонала и технических средств.

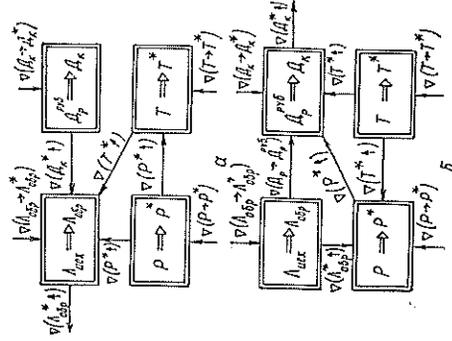


Рис. 2. Системы связей, учитываемых при проектно-обосновании параметров процессов: а — воспроизводства леса; б — лесозаготовки

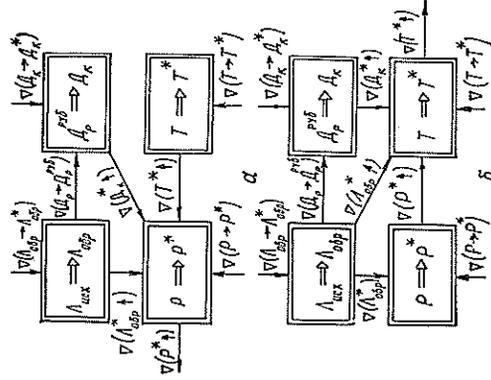


Рис. 3. Системы связей, учитываемых при обосновании параметров процессов: а — обучения персонала; б — воспроизводства машин

В настоящее время контроль и учет во всех четырех преобразованных разделен по отдельным группам специалистов: лесовод контролирует качество $L_{обр}$; мастер лесозаготовки — показатели D_k , P и T ; бригадир P и T ; ремонтники — T и т. д. В будущем оператор ЛЗМ должен сам выполнять многие контрольно-учетные и иные биотехнические функции. Поэтому в схемах на рис. 2 и 3 в каждый блок преобразований материальных потоков поступают сведения о способах улучшения лесозаготовок, древесного сырья, персонала и технических средств, формирующиеся в виде обучающих экспертных систем.

Очевидно, что для повышения общего эффекта лесозаготовки $L_{обр}^*$ (рис. 2, а) $\wedge D_k^*$ (рис. 2, б) необходимо добиться также эффектов обучения P^* (рис. 3, а) и воспроизводства ЛЗМ с новыми свойствами T^* (рис. 3, б). В конечном итоге все эти эффекты проявляются через процессы теоретического и практического обучения, т. е. $\nabla (P^* \uparrow) = \nabla \{P \rightarrow P^*, L_{обр}^* \uparrow, D_k^* \uparrow, T^* \uparrow\}$. Такой теоретический комплекс наиболее перспективен, однако пока трудно определить конкретно обобщенный критерий обучения. Поэтому далее приводим упрощенную группировку критериев биотехнической эффективности.

По схеме на рис. 3, б информационные потоки направлены в процессы лесного машиностроения. Поэтому стратегию $T \rightarrow T^* \rightarrow T^* \uparrow$ будем называть оптимальным техническим проектированием ЛЗМ при наблюдении условий $\nabla (P^* \uparrow)$, $\nabla (L_{обр}^* \uparrow)$ и $\nabla (D_k^* \uparrow)$. При этом преобразование $D_{руб} \Rightarrow D_k$ описывается в виде И—ИЛИ графа. Система изделий одного или даже нескольких заводов лесного машиностроения также описывается иерархическим И—ИЛИ графом. Лесозаготовку полагает фрактальное описание по площади (горизонтальные и вертикальные структуры леса), а персонал — по рабочим местам, участкам и цехам.

В общем жизненном цикле ЛЗМ может находиться в одном из следующих информационно-материализованных состояний [8]: И — стадия НИР; К — стадия ОКР; П_н — производство установочной партии; П — серийное производство и др. С переходом на методы автоматизированного проектирования стадии И и К существенно уточняются. Структура И—К—П_н является процессом материализации идей с минимальным числом стадий. По данным [14, с. 41—57], в САПР учитываются 11 типовых этапов принятия решений. Первые восемь раскрывают стадии И и К; ПИ — предпроектные исследования; ТЗ — техническое задание; ТП — техническое предложение; ЭП — эскизный проект; ТП_р — технический проект; РП — рабочий проект; ИИ — изготовление, отладка и испытания; ВД — ввод в действие.

Содержание стадий ЕСКД (ТЗ, ТП, ЭП, ТП_р, РП), независимо от объекта проектирования и с позиций теорий принятия решений, разделяется на три уровня [14, с. 52]: структурно-параметрическое (ТЗ, ТП, частично ЭП), функционально-конструкторское (ЭП, частично ТП_р) и конструкторско-технологическое (ТП_р, РП) проектирование. На первом уровне, чаще всего называемом аванпроектированием (предпроектным обоснованием) [12], принимаются решения, определяющие принципиальный объект проектирования, а также значения параметров, характеризующих системные связи. Известные работы по проектированию ЛЗМ [1, 2, 4] больше относятся ко второму уровню содержательной модели процесса.

Аванпроект должен обеспечивать формирование прогрессивных исходных требований к новым ЛЗМ, отвечающим высшему мировому уровню, и создание предпосылок для их рациональной разработки, производства, эксплуатации и утилизации. Обоснование технических,

лесоводственно-экологических, эргономических и иных показателей ЛЗМ является основным разделом аванпроекта. В связи с этим на уровне структурно-параметрического проектирования выделяются три основных подуровня: 1) принцип действия (структура технических функций обработки лесочастка и древесного сырья); 2) конструктивная схема (представление информации в виде заявки на предполагаемые изобретения); 3) внешние параметры (по карте технического уровня и качества продукции это первая группа параметров назначения). При высокой определенности внешних и внутренних параметров многие виды математических конструкций и фреймов [2] могут быть применены (по аналогии с прототипами) и в аванпроектировании.

Пусть известно множество X альтернатив принципиальных обликов ЛЗМ, сгруппированных по заданным функциональным структурам. При этом возможны четыре группы машин, рассматриваемые как пересекающиеся множества: M_x — обрабатывающие лесочастки; M_d — деревообрабатывающие; M_p — для обслуживания персонала; M_t — для технического обслуживания и ремонта технических средств. Тогда множество T включает в себя все эти четыре группы, а также вспомогательные приборы, инструменты, оснастку, аппараты, сооружения, здания и другие технические объекты. Очевидно, что персонал и оборудование взаимоконфликтны $P \leftrightarrow T$, а в совокупности структуры и функции субъектов и средств труда определяются по отношению к преобразованиям предметов труда $L_{\text{исх}} \Rightarrow L_{\text{обр}}$, $D_{\text{руб}} \subset L_{\text{исх}} \rightarrow D_{\text{руб}} \Rightarrow D_{\text{из}}$. Заметим, что в подмножество M_p входят также, в соответствии с рис. 3, а, машины (макеты, тренажеры и др.) для обучения и жизнеобеспечения персонала. Из практики известно, что навыки высокого мастерства у оператора ЛП-19А появляются, как правило, при работе на второй закрепляемой за ним машине. Первая ломается в процессе $P \Rightarrow P^*$.

Отсюда следует, что процесс изготовления ЛЗМ по схеме $T \Rightarrow T^*$ должен учитываться обобщенный эффект $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_p, \mathcal{E}_d, \mathcal{E}_x, \mathcal{E}_t\}$. В японской системе «канбан» производство технических объектов D_k и T организуется без заделов и межоперационных запасов, при скромных ремонтных мощностях, многопрофильной специализации работников и групповом принципе управления. Поэтому принимаем $\mathcal{E}_p \prec \mathcal{E}_d \prec \mathcal{E}_x \prec \mathcal{E}_t \prec$ — \mathcal{E}_t . Технические средства получают последнее место в ряду предпочтительности. Это означает, что наиболее качественной обработки лесочастка в целях получения древесного сырья можно достичь при немеханизированном (ручном) труде. Однако для этого необходимо добиться максимального качества обучения персонала при минимальной численности единиц оборудования.

Из X альтернатив ЛЗМ одной функциональной группы, соответствующей облику рационального оборудования, необходимо выбрать X^R наилучших. При этом $X_R \in X$, и по [11, с. 122] количественный критерий эффективности E может быть записан в виде

$$E(p, t) = E\{\mathcal{E}[\bar{p}(t)], \mathcal{Z}[\bar{p}(t)], t\},$$

где

\mathcal{E} — эффект от функционирования ЛЗМ;

\mathcal{Z} — затраты;

\bar{p} — вектор параметров ЛЗМ;

t — время функционирования.

Воздействие ЛЗМ на $L_{\text{исх}}$, P и D_k может быть как позитивным (положительно направленными эффектами $L_{\text{обр}}^*$, D_k^* , P^*), так и негативным (отрицательно направленными эффектами $L_{\text{обр}}^*$, D_k^* , P^*). По-

следние следует отнести к затратам. Они, к сожалению, проявляются значительно позднее по сравнению с временем лесозаготовки. Поэтому принцип оптимальности R может быть соотнесен с различными по масштабу циклами воспроизводства, наибольшим из которых ныне является цикл воспроизводства леса. В сравнении с ним трудовая жизнь лесозаготовителя, функционирование ЛЗМ и цикл получения лесоматериалов значительно короче. Поэтому все эффекты и затраты (отрицательные эффекты, расходы на мониторинг лесоучастка, обучение и труд персонала, создание, эксплуатацию и утилизацию оборудования) должны быть отнесены к циклу воспроизводства леса.

Пусть известно множество D априорных оценок альтернатив X . При этом $X \ni x = (p_1, p_2, \dots, p_r)$, где n — число параметров, используемых для описания альтернатив ЛЗМ. Часть параметров (мощность, масса, грузоподъемность и т. п.) может быть принята в качестве технических критериев $K = (k_1, k_2, \dots, k_m)$, $m \leq n$, которые можно выразить функцией $k = f(p)$. Необходимо найти общий критерий оптимизации отображением $f_i : X \rightarrow E$ [15].

По определению [13, с. 623], эффективность количественно может учитываться по-разному: 1) в общем виде как отношение полезного действия к затраченным усилиям; 2) ресурсная — отношение полученных продуктов и энергии к использованным; 3) термодинамическая — относительная степень сохранения уровня энтропии. Эффективность при родопользования [13, с. 624] нередко должна учитывать конкурентность (вырубленный лес не дает пушнину и другие недревесные полезности, не очищает воздух, не пригоден для рекреации и т. д.). При этом расчеты следует выполнять на длительный срок (30, 50 и 100 лет).

Отсюда следует, что текущая биотехническая продуктивность лесозаготовки с учетом высокой биологической неопределенности поведения леса в отдаленном будущем и технической неопределенности в комплексности и рациональности использования заготовляемого древесного сырья. В дееспособности персонала возникает конфликтность между целями $\max L_{\text{обр}}^*$ и $\max D_k^*$. В связи с этим общий критерий E должен быть комплексным в течение всего цикла воспроизводства леса.

Опытного лесовода можно считать общим оператором $\nabla (P^* \uparrow, L_{\text{обр}}^* \uparrow, D_p \rightarrow D_{\text{руб}}^*)$, который добивается максимизации положительных эффектов. Например, в одном из лесничеств марийского края лесовод П. В. Алексеев в 1950 г. заложил опытные и контрольные участки, определяющие эффективность применяемых рубок ухода за лесом. К настоящему времени годовая прирост составил на опытных участках 14,0, на контрольных 3,2 м³/га. Биотехнический эффект превысил 10 м³/га в год. В этом случае оператор-лесовод учел влияние неуравляемых природохозяйственных факторов и сумел предвосхитить сверхдальний эффект. Поэтому условия S также должны быть смоделированы.

Режим лесозаготовки, имеющий сезонный характер, интенсивность неслучайной рубки [6] и другие факторы взаимодействия $T \wedge L_{\text{иск}}$, $T \wedge D_p$, $T \wedge D_{\text{руб}}$, $T \wedge D_k$ влияют на прирост леса на данном участке. Вековой опыт многих лесоводов-операторов должен быть идентифицирован в целях получения данных для экспертных систем [3], в частности на основе методов эвристико-математического моделирования [5].

Таким образом, можно считать существующими решения $x_R \in X$ для достижения максимума биотехнического эффекта лесозаготовки. Однако принцип оптимальности R математически неприводим к одному значному решению. Поэтому необходимо уточнение на основе стати-

стического моделирования передового опыта производства и заготовки леса. В связи с этим следует от априорных многокритериальных моделей оптимизации перейти к апостериорным, а в дальнейшем и к адаптивным, в которых принцип оптимальности будет задаваться явно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Баринов К. Н., Александров В. А. Проектирование лесопромышленного оборудования.—Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988.—238 с. [2]. Варава В. И. Моделирование технологических процессов лесохозяйственных машин: Учеб. пособие.—Л.: ЛТА, 1992.—173 с. [3]. Гаврилова Г. А., Червинская К. Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем.—М.: Радио и связь, 1992.—200 с. [4]. Жуков А. В. Проектирование лесозаготовительного оборудования: Учеб. для вузов.—Мн.: Выш. шк., 1990.—312 с. [5]. Мазуркин П. М., Эвристический регрессионный анализ природохозяйственных явлений и процессов / Марийск. политех. ин-т.—Йошкар-Ола, 1989.—316 с.—Деп. в ВНИИЭИ леспром. № 2554—лб89. [6]. Меньшиков В. И. Основы технологии заготовки леса с сохранением и воспроизводством природной среды.—Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987.—220 с. [7]. Юрлов С. Ф. Теория и применение агрегатных машин на лесозаготовках.—М.: Гослесбуиздат, 1963.—271 с. [8]. Перспективные технологические процессы и техника к системе машин для комплексной механизации лесозаготовительного производства на 1991—2000 гг.: Предложения Минлеспрома СССР / Рук. В. П. Немцов.—М.: ВНИОлеспром, 1990.—196 с. [9]. Полетаikin В. Ф. Проектирование лесопромышленного оборудования: Учеб. пособие / Краснояр. политех. ин-т.—Красноярск, 1984.—120 с. [10]. Проектирование специальных лесных машин: Учеб. пособие / С. Ф. Опов и др.—Л.: ЛТА, 1975.—220 с. [11]. Рабочая книга по прогнозированию / Отв. ред. И. В. Вестужев-Лада.—М.: Мысль, 1982.—430 с. [12]. РД. 50-538—85. Методические указания. Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок разработки аванпроекта для создания новой продукции.—Введ. 01.01.86.—М.: Изд-во стандартов, 1985.—9 с. [13]. Реймерс Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник.—М.: Мысль, 1990.—637 с. [14]. Системы автоматизированного проектирования: Типовые элементы, методы и процессы / Под ред. Д. А. Аветисяна.—М.: Изд-во стандартов, 1985.—180 с. [15]. Современный синтез критериев в задачах принятия решений.—М.: Радио и связь, 1992.—120 с.

УДК 630*36.001.573

В. И. КУЧЕРЯВЫЙ Ухтинский индустриальный институт МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН ПО КРИТЕРИЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

Поступила 9 ноября 1993 г.

Методом статистического моделирования на ПЭВМ найдено распределение числа циклов до разрушения по детерминированному выражению скорости роста трещины для случая, когда амплитуда пульсационного цикла напряжений нормально распределена. Моделирование выполнено на примере оценки ресурса сучкорезной головки машины ЛП-30Б.

By the method of statistic simulation on PC there has been found the distribution of cycles number prior to failure by the determined expression of the crack growth rate for a case when the amplitude of voltage pulsing cycle is normally distributed. The simulation is performed on the estimation example of delimiting head resource of LP-30B machine.

Оценка ресурса деталей лесных машин, металлоконструкций технологического оборудования, имеющих сварные швы, может быть выполнена на основании уравнения скорости роста трещины. Принимая, что деталь испытывает циклические напряжения, которые изменяются

от 0 до σ_{\max} . Скорость роста трещины (мм/цикл) определяется выражением (формула Пэриса — Эрдогана):

$$dl/dN = 10^{-8} (\Delta K)^2, \quad (1)$$

где l — полудлина трещины;

N — число циклов до разрушения детали (ресурс);

ΔK — интервал изменения коэффициента интенсивности напряжений при циклическом нагружении.

На основании зависимости между ΔK , σ_{\max} и l [1], выражающей формулой $\Delta K = \sigma_{\max} \sqrt{\pi l}$, запишем уравнение (1) в виде

$$dl/dN = 10^{-8} \pi \sigma_{\max}^2 l. \quad (2)$$

Проинтегрировав (2) от начального значения полудлины трещины l_0 до ее критической полудлины l_c , получим ресурс в детерминированном виде:

$$N = [10^8 (\pi \sigma_{\max}^2)] \ln (l_c/l_0). \quad (3)$$

По совокупности однотипных деталей из-за неровностей поверхности транспортных путей σ_{\max} — величина случайная, следовательно, N — нелинейная функция одного случайного аргумента (СА). Допустим, что σ_{\max} в (3) имеет нормальное распределение. Известны математическое ожидание (МО) — $\bar{\sigma}_{\max}$ и стандартное отклонение (СО) — S .

Применив к (3) метод преобразования функции одного СА, получим теоретическую плотность вероятности (ПВ) для N :

$$p(N) = (1/2) \sqrt{A/N^3} (\sqrt{2\pi S})^{-1} \left\{ \exp \left[-\left(\sqrt{A/N} - \bar{\sigma}_{\max} \right)^2 / (2S^2) \right] + \right. \\ \left. + \exp \left[-\left(\sqrt{A/N} + \bar{\sigma}_{\max} \right)^2 / (2S^2) \right] \right\}, \quad (4)$$

где

$$A = 10^8 \ln (l_c/l_0).$$

Чтобы найти МО и дисперсию ресурса N исходя из формул (3) и (4), используем численное интегрирование. Для нахождения распределения N по (3) и вычисления МО и СО применим численный метод — статистическое моделирование [2], реализация которого возможна только на ЭЭВМ. Для этого написана программа (язык Турбо-Бейсик).

Рассмотрим порядок алгоритма. С помощью оператора $RND(x)$ генерируется последовательность статистически независимых чисел $\{r_i\}_n$, равномерно распределенных на отрезке [0, 1]. Для моделирования σ_{\max} по нормальному закону вначале попарно вычисляется последовательность нормированных нормальных случайных чисел (среднее ноль, СО равно 1) на основании соотношений:

$$z_i = (-2 \ln r_i)^{1/2} \cos(2\pi r_{i+1}); \quad (5)$$

$$z_{i+1} = (-2 \ln r_i)^{1/2} \sin(2\pi r_{i+1}),$$

где $i = 1, 3, 5, \dots$

а затем используется линейное преобразование:

$$\{\sigma_{\max}\}_n = \bar{\sigma}_{\max} + \{z_i\}_n S, \quad (6)$$

где n — общее число реализаций (объем выборки).

Возможные значения σ_{\max} , найденные по (5) и (6), подставляются в (3). В результате образуется случайная последовательность (СП) числа циклов до разрушения $\{N_i\}_n$, которая затем подвергается статистической обработке в целях получения теоретического распределения N .

Выполним реализацию алгоритма. Примем, что в корпусе сучковой головки (СГ) машины ЛП-30Б обнаружена трещина полудлиной $l_0 = 0,5$ мм. Требуется найти распределение числа циклов до разрушения (ресурс СГ), если полудлина трещины достигнет критического значения $l_c = 45$ мм. Параметры амплитуды цикла напряжений: $\sigma_{\max} = 55$ МПа, $S = 4,4$ МПа. По этим данным на ПЭВМ сгенерирована СП $\{N_i\}_n$, размером $n = 1000$ значений. Смоделированные данные проверия на согласие по критерию χ^2 по следующим теоретическим распределениям: β -, χ^2 -, Эрланга, показательному, Фишера, γ -, логнормальному, нормальному, Стюдента, треугольному, равномерному на интервале, Вейбулла. Наибольшая вероятность согласия $\beta = 0,203$ получена для логнормального распределения, она выше допускаемой 0,05. Критерий $\chi^2 = 16,9$ при числе степеней свободы 13. Выборочные числовые характеристики ресурса СГ равны: $\bar{N} = 48\ 228,6$; $S_0 = 7691,8$. Результаты моделирования представлены в таблице. Смоделированное логнормальное распределение для N является статистическим аналогом теоретического распределения (4).

Параметры логнормального закона определяются по формулам

$$\bar{N}_* = 2 \ln \bar{N} - (1/2) \ln (S_0^2 + \bar{N}^2); \quad (7)$$

$$S_* = \sqrt{\ln (S_0^2 + \bar{N}^2) - 2 \ln \bar{N}}. \quad (8)$$

Вероятность безотказной работы СГ записывается в виде

$$R(N) = \text{Prob}(z > (\ln N - \bar{N}_*)/S_*), \quad (9)$$

а интенсивность отказов

$$h(N) = \varphi [(\ln N - \bar{N}_*)/S_*] / [NS_*R(N)], \quad (10)$$

где z — нормированная нормальная случайная величина; φ — ее плотность.

При значениях N и S по (7) и (8) вычислены $\bar{N}_* = 10,77$; $S_* = 0,163$. По (9) и (10) найдены показатели надежности корпуса СГ при двух наработках ($N_1 = 32\ 000$ и $N_2 = 64\ 000$). Получено: $R(N_1) = 0,99245$; $h(N_1) = 4,4 \cdot 10^{-6}$ отказа в единицу времени; $R(N_2) = 0,0348$, $h(N_2) = 221,6 \cdot 10^{-6}$ отказа в единицу времени. При извест-

| Число циклов N до разрушения | Частота | | χ^2 | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|----------|---------------|
| | Верхняя граница | смоделированная | | теоретическая |
| < 32 000,00 | 32 000,00 | 5 | 6,1 | 0,183 |
| 32 000,00 | 34 666,67 | 9 | 16,5 | 3,395 |
| 34 666,67 | 37 333,33 | 34 | 39,7 | 0,814 |
| 37 333,33 | 40 000,00 | 83 | 73,2 | 1,310 |
| 40 000,00 | 42 666,67 | 120 | 108,4 | 1,231 |
| 42 666,67 | 45 333,33 | 143 | 138,9 | 0,621 |
| 45 333,33 | 48 000,00 | 139 | 141,9 | 0,059 |
| 48 000,00 | 50 666,67 | 130 | 132,2 | 0,038 |
| 50 666,67 | 53 333,33 | 110 | 110,5 | 0,002 |
| 53 333,33 | 56 000,00 | 77 | 84,2 | 0,613 |
| 56 000,00 | 58 666,67 | 56 | 59,2 | 0,176 |
| 58 666,67 | 61 333,33 | 38 | 38,9 | 0,022 |
| 61 333,33 | 64 000,00 | 21 | 24,1 | 0,405 |
| 64 000,00 | 66 666,67 | 9 | 14,2 | 1,911 |
| 66 666,67 | 69 333,33 | 10 | 8,0 | 0,494 |
| > 69 333,33 | — | 16 | 8,9 | 5,650 |

ном времени изменения цикла напряжений ресурс можно представить в мото-часах или километрах пробега.

Рассмотренная методика позволяет прогнозировать число замен поврежденных деталей, а также периодичность текущих ремонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Броек Д. Основы механики разрушения / Пер. с англ.—М.: Выш. шк., 1980.—368 с. [2]. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Курс статистического моделирования.—М.: Наука, 1976.—320 с.

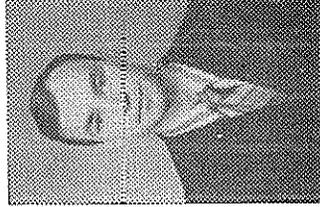
УДК [625.312 : 629.424.1] 001.24

Поступила 25 мая 1994 г.

Р. Л. КОРОВКИН, В. В. КАЗАНЦЕВ

Коровкин Рафаил Лазаревич родился в 1937 г., окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры сухопутного транспорта леса Архангельского государственного технического университета. Имеет 47 научных трудов в области сухопутного транспорта леса.

Казанцев Валерий Викторович родился в 1949 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры сухопутного транспорта леса Архангельского государственного технического университета. Имеет 18 научных трудов в области сухопутного транспорта леса.



ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛОВОЗА ТУ7 НА ПЕРЕНОСНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ВРЕМЕННЫХ ПУТЕЙ

Приведена методика расчета вертикального воздействия тепловоза на железнодорожный путь. В качестве исходной возмущающей функции использованы вертикальные неровности рельсовых нитей. Выполнены расчеты участка пути с инвентарными элементами и контрольного, дано сравнение результатов.

Calculation methods of diesel locomotive vertical influence on the railroad are presented. Vertical irregularities of the railroad have been used as an initial disturbing function. Calculations of the railroad section with inventory members and that of tested one are carried out and the results compared.

При изучении колебаний тепловоза заменяем эквивалентной колебательной системой. Такая система для тепловоза ТУ7 представлена на рис. 1. Здесь подрессоренная масса m_p и неподдресоренные массы m связаны упругими элементами с жесткостью C и амортизаторами с коэф-

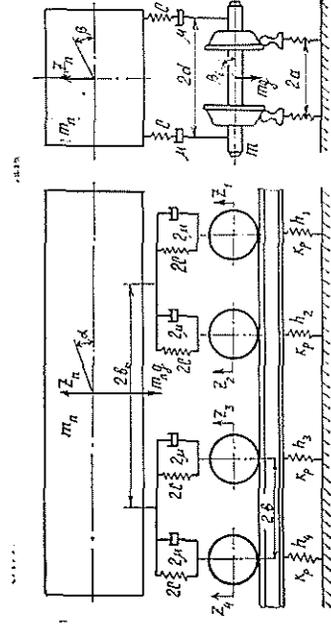


Рис. 1

фицентом сопротивления μ (характеризующим гасящее устройство подвески). Связь неподдресоренных масс с рельсовым основанием за- меним пружинами жесткостью K_p .

Число возможных перемещений кузова и колес тепловоза достато- чно велико. Кузов, например, может совершать поступательные переме- щения вдоль трех координатных осей и угловые перемещения вокруг них.

При изучении колебаний кузова в вертикальной продольной пло- скости его движение будем характеризовать поступательным переме- щением Z_n вдоль вертикальной оси (покачивание) и угловыми колеба- ниями вокруг поперечной оси (галопирование). Колебания кузова в попе- речной плоскости характеризуем угловым перемещением β (пошатыва- ние), которое влияет в основном на устойчивость тепловоза при дей- ствии боковых сил.

Тепловоз представляет собой многомассовую колебательную си- стему с одинадцатью степенями свободы. Три из них обусловлены ко- лебаниями кузова (покачивание, галопирование и пошатывание), во- семь — колесных пар.

Выберем следующие обобщенные координаты, характеризующие положение поддресоренных и неподдресоренных масс (рис. 1): Z_n , α , β , Z_1 , β_1 , Z_2 , β_2 , Z_3 , Z_4 , β_3 , β_4 (здесь β , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 — углы поворота ку- зова и осей колесных пар в поперечной плоскости; Z_n , Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 — вертикальные перемещения центров тяжести кузова и осей колесных пар; α — угол поворота кузова в продольной плоскости).

В целях получения дифференциальных уравнений движения для исходной колебательной системы воспользуемся уравнением Лагранжа II рода [2]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i}, \quad (1)$$

где T , Π — соответственно кинетическая и потенциальная энергия си- стемы;

R — диссипативная функция, характеризующая рассеивание энергии под действием сил сопротивления;

q_i — обобщенная координата.

Кинетическая энергия системы является однородной квадратичной функцией обобщенных скоростей:

$$\begin{aligned} 2T = & m_n (\dot{Z}_n^2 + \rho_y^2 \dot{\alpha}^2 + \rho_x^2 \dot{\beta}^2) + m [\dot{Z}_1^2 + Z_2^2 + \dot{Z}_3^2 + \\ & + \dot{Z}_4^2 + \rho_{x1}^2 (\dot{\beta}_1^2 + \beta_2^2 + \dot{\beta}_3^2 + \dot{\beta}_4^2)], \end{aligned} \quad (2)$$

где ρ_{x1} , ρ_x — радиусы инерции массы колесной пары и подрессоренной части относительно продольной оси;
 ρ_y — радиус инерции массы подрессоренной части относительно поперечной оси.

Для потенциальной энергии имеем выражение

$$2\Pi = 2K_p (Z_{1л}^2 + Z_{2л}^2 + Z_{2п}^2 + Z_{3л}^2 + Z_{3п}^2 + Z_{4л}^2 + Z_{4п}^2) + 2C (\epsilon_{1л}^2 + \epsilon_{1п}^2 + \epsilon_{2л}^2 + \epsilon_{2п}^2 + \epsilon_{3л}^2 + \epsilon_{3п}^2 + \epsilon_{4л}^2 + \epsilon_{4п}^2), \quad (3)$$

где z_j — прогибы рельсов;

ϵ_j — прогибы пружин, эквивалентных упругим элементам подвески, отсчитываемые от положения равновесия.

Диссипативная функция имеет вид

$$2R = 2C (\dot{\epsilon}_{1л}^2 + \dot{\epsilon}_{1п}^2 + \dot{\epsilon}_{2л}^2 + \dot{\epsilon}_{2п}^2 + \dot{\epsilon}_{3л}^2 + \dot{\epsilon}_{3п}^2 + \dot{\epsilon}_{4л}^2 + \dot{\epsilon}_{4п}^2), \quad (4)$$

где $\dot{\epsilon}_{jл}$, $\dot{\epsilon}_{jп}$ — скорости перемещения прогибов пружин.

Подставляя T , Π и R в уравнение Лагранжа (1), получаем дифференциальные уравнения колебания тепловоза.

Динамические усилия, передаваемые от правого и левого колес на рельсы ($S_{jл}$, $S_{jп}$), определяли по формулам [1]

$$\left. \begin{aligned} S_{jл} &= K_p (h_{jл} - Z_j - a\beta_j); \\ S_{jп} &= K_p (h_{jп} - Z_j + a\beta_j). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь $h_{jл}$, $h_{jп}$ — ординаты вертикальных неровностей рельсовых нитей под правым и левым колесами j -й колесной пары;

a — половина расстояния между осями головок рельсов;

β_j — угол боковой качки j -й колесной пары.

Остальные обозначения, приведенные на рис. 1:

$2b$ — база тележки;

$2b_0$ — расстояние между шкворнями тележек;

$2d$ — расстояние между рессорными комплектами.

Если старшие производные заменить вспомогательными неизвестными функциями, то система дифференциальных уравнений сведется к равносильной системе дифференциальных уравнений первого порядка. Эта замена позволяет применить вложенный метод Рунге — Кутты с использованием формул Дормана и Принса [3] и решить полученную систему уравнений на ЭЦВМ.

Программа интегрирования системы дифференциальных уравнений указанным методом составлена на языке Паскаль для ПЭВМ типа IBM PS/2. Шаг интегрирования выбирается автоматически в соответствии с заданной точностью расчета.

Предложенная методика была использована для расчета колебаний тепловоза и исследования инвентарной конструкции железнодорожного пути, разработанной на кафедре сухопутного транспорта леса АЛТИ. Эта конструкция представляет собой продольные лежни, скрепленные вместе с рельсами и брусковыми шпалами, и предназначена как временное сборное покрытие на слабых грунтах для усов лесовозных УЖД.

Опытные участки были заложены в 1990—1991 гг. на Конецгорской и Усть-Ваенгской УЖД Архангельской области. Рядом были выделены контрольные участки уса (железнодорожные рельсы на круглых 3-метровых шпалах).

После года работы на участках нивелиром снимали геометрический микропрофиль через каждый 1 м пути по левой и правой рельсовым нитям. Результаты съемки подвергали обработке. Исключали низкочастотные составляющие, для чего методом наименьших квадратов находили коэффициенты линейного уравнения, среднее квадратичное отклонение, коэффициент корреляции и координаты неровностей для правой и левой рельсовых нитей. Вертикальные неровности в пределах двух экспериментальных значений определяли линейной интерполяцией.

В качестве примера на рис. 2 приведено графическое изображение ординат неровностей на опытном (а) и контрольном (б) участках левой нити.

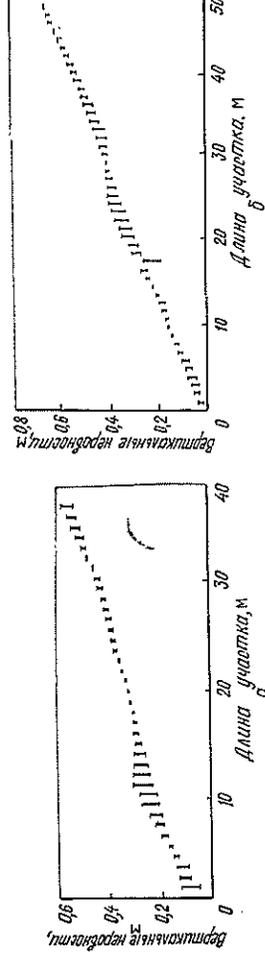


Рис. 2.

Все постоянные параметры системы взяты из паспорта или вычислены по рабочим чертежам тепловоза ТУ7.

Реализация программы дает возможность получить сведения о характере движения тепловоза при наличии случайных вертикальных неровностей.

Результаты расчета приведены на рис. 3, где показана зависимость динамических усилий P_2^d третьей по ходу движения оси тепловоза от скорости движения v для правой (а) и левой (б) нитей пути. Сплошные линии — результаты расчета для опытного участка, пунктирные — контрольного; 1 — среднее арифметическое значение; 2 — среднее квадратичное отклонение; 3, 4 — абсолютные максимум и минимум.

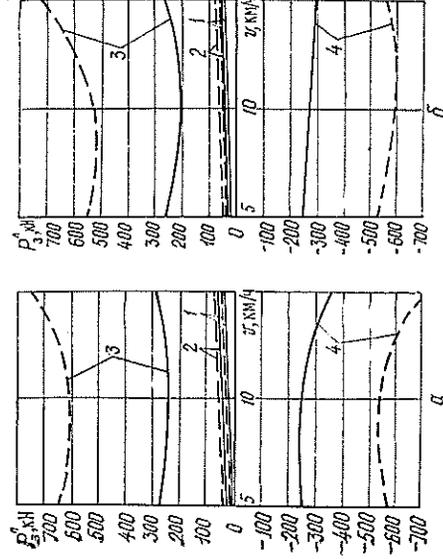


Рис. 3

Анализ графика показывает, что динамические усилия, как среднее арифметическое, так максимальное и минимальное, на контрольном участке в 2 раза выше, чем на опытно. Следовательно, инвентарные конструкции меньше подвергаются расстройству при эксплуатации и обеспечивают достаточную ровность пути.

С увеличением скорости движения динамические усилия тепловоза на участке пути обычной конструкции (шпалы длиной 2,5...3,0 м на дерновом покрове) резко возрастают. В результате даже при скорости 5 км/ч возникает опасность схода экипажа с рельсов. Рекомендуемая конструкция уса (опытный участок) обеспечивает относительную стабильность движения тепловоза при увеличении скоростей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

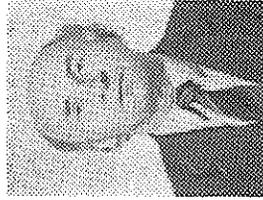
- [1]. Жабин В. И., Калинин Г. А., Щелкунов В. В. Воздействие лесовозного подвижного состава на железнодорожный путь.—Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1976.—100 с. [2]. Роттенберг Р. В. Подвеска автомобиля и его колебания.—М.: Машиз, 1960.—354 с. [3]. Хайрер З. Э., Нерсетт С. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи.—М.: Мир, 1990.—512 с.

Поступила 5 мая 1994 г.

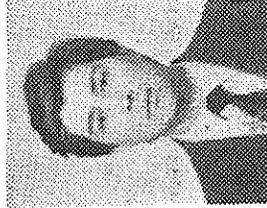
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.093

В. Г. ТУРУШЕВ, А. Е. АЛЕКСЕЕВ, Е. В. ПАСТУХОВА



Турусhev Валентин Гурьянович родился в 1928 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 научных трудов в области разработки ос- нов автоматизированного производства пи- ломатериалов.



Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат техни- ческих наук, старший научный сотрудник кафедры лесопильно-строгальных произ- водств Архангельского государственного технического университета. Имеет 65 науч- ных трудов в области баазирования при производстве пиломатериалов.



Пастухова Елена Витальевна, родилась в 1971 г., студентка факультета механиче- ской технологии древесины Архангельского государственного технического универси- тета.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КУСКОВЫХ ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ

Приведены результаты планирования раскряга бревен на пилома- териалы и заготовки кратных длин, а также даны рекомендации по совершенствованию технологии производства продукции.

The planning results of cutting the logs into sawn timber and multiple lengths as well as recommendations on improving the production technology have been presented.

Для повышения эффективности хозяйственной деятельности пред- приятий лесного комплекса необходим выпуск продукции, обладающей высокой товарной стоимостью. На базе традиционных методов и средств переработки достигнуть этого практически невозможно. Необ-

ходимо применять как различные способы облагораживания продукции, так и изыскивать резервы сырья для ее производства. Задача заключается не только в более эффективном использовании отходов, но и в планировании их производства с заданными параметрами.

В баланс древесных отходов значительное место занимает горбыль, который составляет десятую часть объема бревна. Горбыль, полученный из комлевых бревен, имеет три зоны качества: центральную — со здоровыми мелкими сучками; среднюю — с отмершими сучками; периферийную — без сучков или с малым числом сучков. Горбыль, полученный из срединных бревен, имеет две зоны: центральную и периферийную. Горбыль, полученный из бревен вершинной части древесных стволов, имеет, в основном, только зону здоровых сучков (центральную).

Для вовлечения в выпуск высококачественной продукции отходов древесного сырья заданных размеров при одновременной выработке основного компонента баланса сырья, например пиломатериалов, необходима организация параллельных производств. За счет подбора условий раскря (достигается без ущерба выхода пиломатериалов) получение, например, горбыля, размеры которого достаточны для организации участка по его переработке на заготовки кратных длин. К таким условиям относятся определенные ориентации и поставки. При многоцелевом планировании раскря пиловочных бревен с получением пиломатериалов и заготовок для производства определенных видов продукции задача может быть решена средствами технологии без значительных капитальных вложений в развитие отдельных производств.

Анализ поставок, применяемых на предприятиях «Северолесоэкспорт», показывает, что основное внимание должно уделяться выпилровке заданного объема толстых досок требуемых сечений. Распределение сечений тонких досок не прогнозируется. Это приводит, с одной стороны, к формированию сверхплановых объемов пиломатериалов некоторых размеров (в основном меньших ширины и длины), с другой — к полному отсутствию заданных объемов пиломатериалов в течение большего временного цикла.

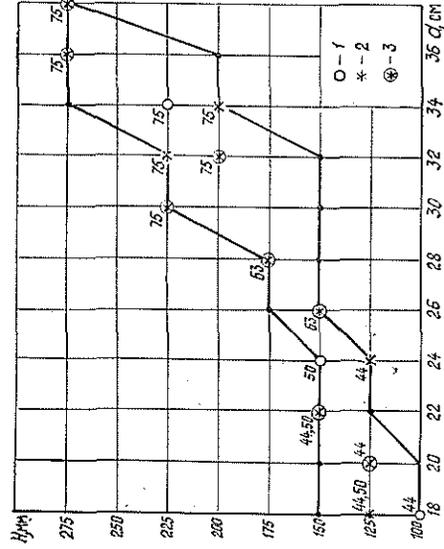


Рис. 1. Характеристика показателей раскря бревен на экспортные пиломатериалы: 1, 2, 3 — толщина бруса, обеспечивающая наибольший выход соответственно толстых досок, пиломатериалов и пиломатериалов и толстых досок вместе

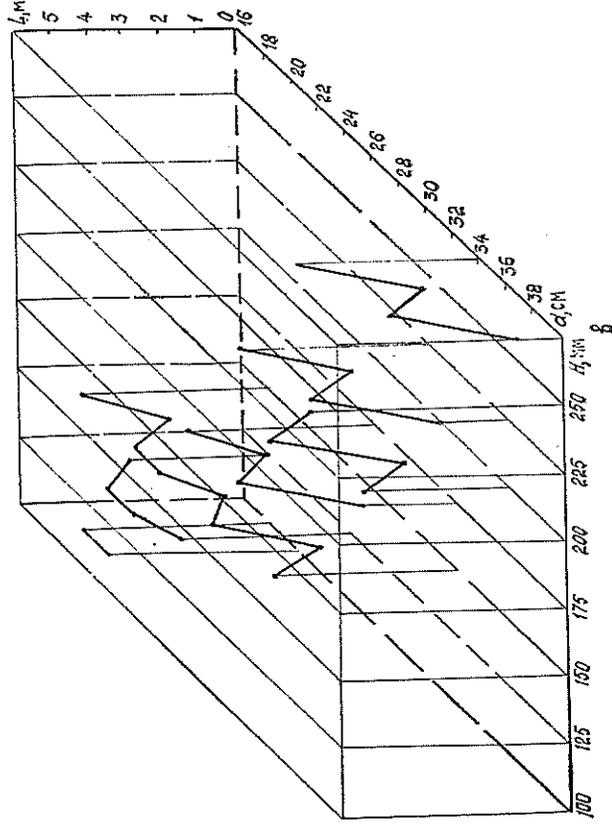
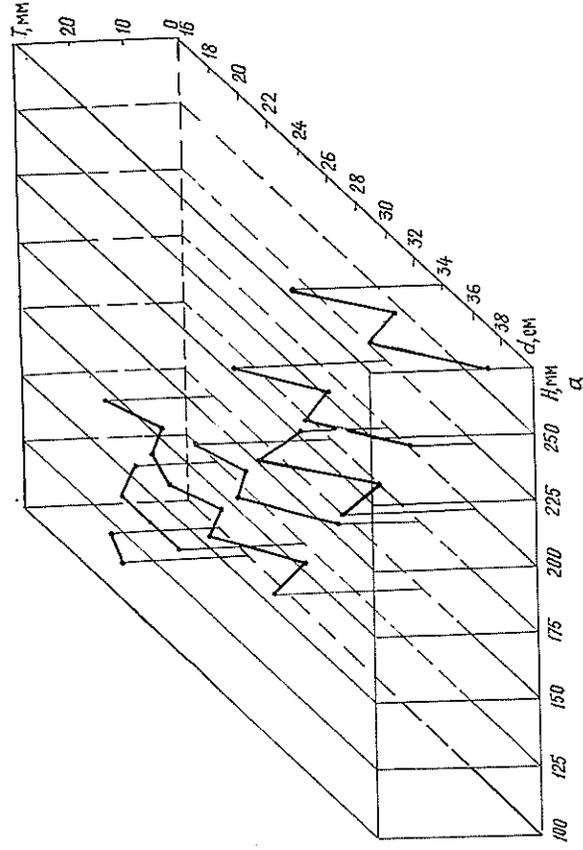
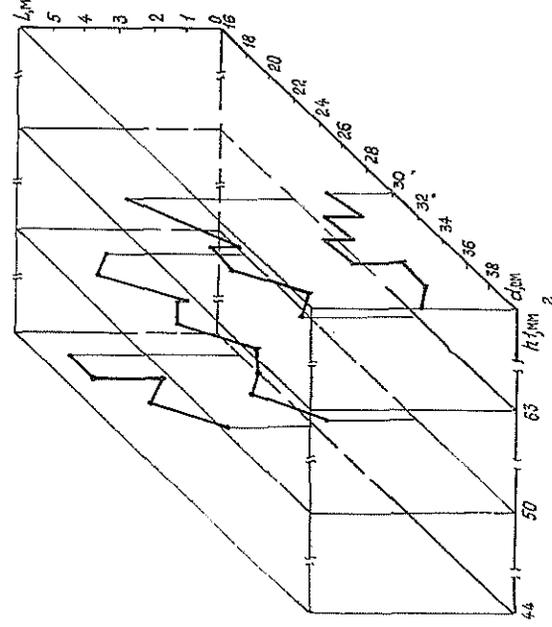
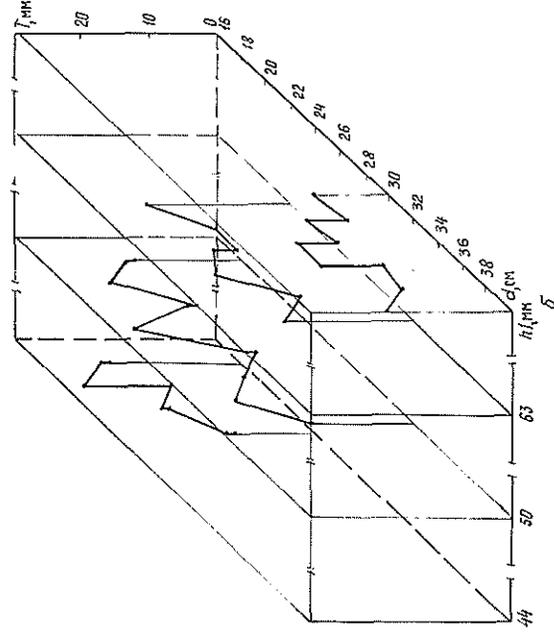


Рис. 2. Изменение толщины (а, б) и длины (в, е) горбыля на 1-м (а, в) щина бруса, h_1 — толщина толстой доски; L — длина горбыля; $T = T_k$ —

Результаты расчета поставок приведены на рис. 1. На координатную плоскость нанесены значения наиболее приемлемых толщин брусьев H , соответствующих каждому из перерабатываемых диаметров бревен d . Сплошной линией показаны границы толщин брусьев, назначаемых в зависимости от диаметра перерабатываемого бревна. В качестве



и 2-м (б, а) проходах (d — диаметр бревна; H — тол-
— T_B ; T_K — толщина горбыля в комле; T_V — в вершине)

критериев оценки приняты наибольший выход толстых досок; наиболь-
ший общий выход; наибольший выход толстых досок и общий выход
пиломатериалов. Соответственно обозначены условия выполнения од-
ного из рассматриваемых критериев. К таким условиям отнесены
назначаемые толщины толстых досок и толщины брусьев. Описание

алгоритма, принятых условий и ограничений для этого случая дано в нашей работе*. Бревна и брусья ориентированы по оси постава пил лесопильного станка.

Как следует из графика, обеспечение условий рационального расходования древесины для выработки экспортных пиломатериалов достигается при выполнении одного из указанных критериев. Полученные результаты позволяют назначать рациональные толщины бруса и толстой доски и обеспечивать, в конечном итоге, эффективное использование древесины бревна. Выполнению условий обоих критериев способствует переработка бревен диаметром 20...22; 26...32; 36...38 см.

Решение задачи по определению параметров горбыля с учетом результатов распилки сводится к следующему. В первом варианте без изменения поставов определены условия, позволяющие получить горбыли требуемых параметров. Характер изменения параметров горбылей иллюстрирован графиками, приведенными на рис. 2. Распределение заготовок по длинам представлено в таблице.

| Интервал | Получаемые заготовки | | | |
|--|----------------------|------|------------|------|
| | 1-й проход | | 2-й проход | |
| | шт. | % | шт. | % |
| Невозможно получить за- готовки < 1,0 м | 28 | 35,0 | 18 | 22,5 |
| | 4 | 5,0 | 12 | 15 |
| | 8 | 10,0 | 2 | 2,5 |
| | 4 | 5,0 | 6 | 7,5 |
| | 10 | 12,5 | 2 | 2,5 |
| > 1,8 м | 26 | 32,5 | 40 | 50,0 |
| Итого | 80 | 100 | 80 | 100 |

Во втором варианте без существенного снижения выхода пиломатериалов получение горбылей — полуфабрикатов (с размерами, необходимыми для изготовления заготовок по всему диапазону диаметров перерабатываемых бревен) может быть достигнуто путем корректировки поставов. Такая возможность обуславливается тем, что при переработке бревен получают короткие и узкие подгорбыльные доски, которые в большей части непригодны для производства пиломатериалов минимальных допустимых размеров.

Разрабатываемый метод многоцелевой переработки круглых лесоматериалов может быть использован в условиях как заготовительно-перерабатывающих, так и лесопильных производств. В леспромхозах и на лесоперерабатывающих базах его эффективность может быть намного выше, чем на лесопильных предприятиях.

Получение высококачественной продукции, помимо повышения использования древесины, позволяет улучшить производственную деятельность предприятий с помощью менее материалоемких технологических средств.

Поступила 14 апреля 1994 г.

* Турушев В. Г., Алексеев А. Е., Царев Е. Г. Совершенствование технологии получения пиломатериалов // Лесн. журн.— 1992.— № 4.— С. 96—104.— (Изв. высш. учеб. заведений).

УДК 674.023

И. С. МЕЖОВ

Костромской технологический институт

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЯ ДРЕВЕСИНЫ НА КОМПЛЕКТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Экспериментально исследован раскрой досок на заготовки по ГОСТ 11047-88 и предложена целевая установка модели оптимизации раскроя древесины для выпуска заготовок кратных длин.

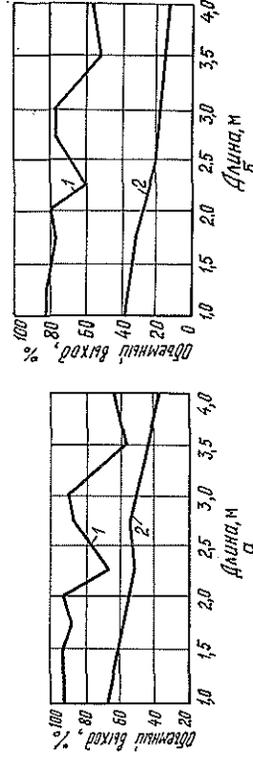
Cutting the boards to the lengths of GOST 11047-88 has been experimentally studied, and an optimization model aimed at cutting timber to multiple lengths is set up.

Повышенный расход пилопродукции при выработке комплектных заготовок на домостроительных комбинатах происходит, в основном, за счет некратности длин пиломатериалов и вырабатываемых из них заготовок. Для исследования влияния соотношения длин пиломатериала и заготовок на выход последних нами в условиях ПДО «Шарьдрев» были проведены эксперименты раскроя пиломатериалов на заготовки по ГОСТ 11047—88. При проведении исследований выбраны пиломатериалы двух длин (4,5; 6,5 м) с основными сечениями, используемыми в производстве деталей стандартных панельных домов (50×100 ; 50×150 ; 25×100 ; 25×150 мм).

По сортам пиломатериалы подразделили на две группы: первая (I—II сорт) и вторая (III сорт). Заготовки рассортировывали на три группы качества с градацией по длине через 25 см от 1 до 4 м. Из каждой доски вырабатывали заготовки только одной длины.

Связь между выходами и длиной заготовок, полученных при раскрое досок длиной 6 м и толщиной 50 мм показана на рисунке.

Анализ результатов экспериментов показывает, что на объемный выход заготовок I-й группы решающее влияние оказывает длина заготовок и длина досок, из которых они вырабатываются. Зависимость объемного выхода заготовок от их длины приближается к прямой, тогда как выход заготовок II, III групп, тем больше их выход. Длина исходного материала значительно влияет на объемный выход заготовок I-й группы качества. Так, по отдельным длинам заготовок отклонение объемного



Зависимость объемного выхода заготовок от их длины при поперечном раскрое обрезных пиломатериалов I, II (а) и III (б) сортов: 1 — I, 2, 3; 2 — I группа качества по длине

выхода достигает 13 %. Значительно выше этот показатель для меньших сечений, что объясняется нормой допуска пороков на толщину заготовки.

Для заготовок 2-, 3-й групп качества решающее значение имеет соответствие кратности: длины заготовки длине пиломатериала. В отдельных случаях объемный выход заготовок снижается более, чем на 20 %.

Проведенные исследования показали влияние длины и качества заготовок на их выход в зависимости от размеров и качества раскраиваемых пиломатериалов. Но комплекты деталей домов и стандартные дома имеют большое количество деталей, вырабатываемых из одних и тех же сечений пиломатериалов, поэтому параметры пиломатериалов и потребности в них должны определяться исходя из планируемых комплектных заготовок на один дом.

На основе спецификации деталей был определен состав основных заготовок по сечениям и длинам на дома серии 181-115-99/1,2 и 1195-501 и экспериментально изучен расход пиломатериалов каждого сечения в раскройных отделениях цехов ПДО «Шарьядрев».

Для проведения раскроя подбор пиломатериалов осуществляли следующим образом. На сортировочной площадке лесопильного цеха отбирали в один пакет доски заданного сечения I—III сортов полной длины, полученные из центральной зоны бревна. Длина досок соответствует расчетной длине наиболее длинной заготовки или кратная ей с учетом припусков на раскрой.

В другой пакет укладывали доски I—III сортов того же сечения. Их длина соответствовала кратности длин доминирующих заготовок. (К доминирующим относится группа заготовок, составляющих в спецификации данного сечения по объему более 50 %, если их суммарная длина не менее самой длинной заготовки.)

В третий пакет подбирали пиломатериалы без сортировки по длинам, т. е. доски одного сечения I—III сорта длиной от 4,5 до 6,5 м. После сушки пиломатериалы направляли в раскройное отделение доместроительного цеха.

Результаты определения состава заготовок по сечениям и длинам приведены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, снижение расхода пиломатериалов на комплектные заготовки при подборе длин пиломатериалов по сумме доминирующих заготовок по сравнению с раскромом обезличенных по длине пиломатериалов по отдельным сечениям для дома серии 1195-501 достигает 10,1 %. Снижение расхода пиломатериалов всех сечений составляет в среднем 7,2 %. Раскрой пиломатериалов, отсортиро-

Таблица 1

| Сечение пиломатериалов, мм | Расход пиломатериалов на 1 м ² комплектных заготовок, % | | |
|----------------------------|--|-------------------------------|---------------------------------|
| | при обезличенных длинах пиломатериалов | по наиболее длинной заготовке | по сумме доминирующих заготовок |
| 16 × 100 | 134,0/137,1 | 121,4/121,2 | 120,4/127,0 |
| 25 × 100 | 130,1/134,0 | 119,0/131,0 | 117,8/122,0 |
| 25 × 125 | 128,0/132,0 | 126,2/131,0 | 120,2/119,0 |
| 50 × 100 | 130,4/128,0 | 129,1/134,0 | 119,0/118,0 |
| 50 × 150 | 127,9/126,0 | 130,5/122,0 | 123,8/122,0 |
| 50 × 205 | 131,8/134,0 | 122,1/127,0 | 127,6/121,0 |

Примечание. Здесь и в табл. 2 в числителе приведены данные для домов серии 1195-501, в знаменателе — 181-115-99/1,2.

ванных по длинам исходя из размера наиболее длинной заготовки, также приводит к снижению расхода по сравнению с обезличенным подбором на 4,3 %.

Для отдельных заготовок также может быть получен меньший расход пиломатериалов при подборе исходной длины по наиболее длинной заготовке, а не по сумме длин доминирующих заготовок. В случае сечения 50×205 мм наиболее длинная заготовка составляет 58,9 % от общего объема комплекта заготовок данного сечения, т. е. наиболее длинная заготовка является и доминирующей.

Снижение расхода пиломатериалов при подборе их длин по сумме доминирующих заготовок дома серии 181-115-99/1.2 достигает 10 % для сечений 50×80 мм, 50×150 мм (в среднем снижение расхода составляет 7,8 %), а при подборе длин пиломатериалов по наиболее длинной заготовке — 11 % для сечения 16×106 мм (в среднем снижение расхода составляет 2,8 %).

Высокое снижение расхода пиломатериалов сечением 16×100 мм связано с тем, что самая длинная заготовка составляет 68,6 % от общего объема комплекта данного сечения.

Полученные результаты исследований дают возможность определять оптимальные длины пиломатериалов для комплектов деталей одного вида изделий. (Под комплектом понимается набор деталей разных длин, необходимых для изготовления изделий.)

Целевая установка оптимизации длины пиломатериалов для выпуска комплектной продукции должна предусматривать минимальную величину отходов.

Введем обозначения:

l_{jk} — длина i -й детали k -го сечения, входящей в i -й комплект готовой продукции; $j = 1, \bar{n}$ (n — число длин деталей k -го сечения);

x — число деталей j -й длины k -го сечения, входящей в i -й комплект;

L_{ik} — длина пиломатериалов для i -го комплекта k -го сечения; $i = 1, \bar{m}$ (m — число длин пиломатериалов k -го сечения);

y_{ik} — количество пиломатериала k -го сечения, необходимого для выпуска комплектной готовой продукции;

z_{ik} — длина отрезков k -го сечения, остающихся после раскроя пиломатериалов на заготовки;

k — число сечений пиломатериалов, идущих на изготовление готовой продукции.

Целевая функция оптимизации длин пиломатериалов имеет вид

$$\sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^m z_{ik} \rightarrow \min; \quad i = 1, \bar{m}; \quad k = 1, \bar{k}$$

и ограничения по балансу производства деталей и пиломатериалов

$$\sum_{j=1}^n l_{jk} x_{jik} - L_{ik} y_{ik} - z_{ik} = 0;$$

по количеству деталей

$$\sum_{i=1}^m x_{jik} = t_{jk},$$

где n_{jk} — число деталей j -й длины k -го сечения, необходимых для изготовления комплектной продукции.

В результате решения целевой функции можно определить следующее:

количество пиломатериала каждой заданной длины, необходимое для выпуска продукции (Y_{ik}); состав всех комбинаций деталей (X_{ijk}); количество отходов.

Для минимизации отходов можно применить параметрический анализ. Изменения значения L_{ik} в соответствии с требованиями стандартов длин пиломатериалов в заданных пределах с определенной шагом и сравнивая результаты, можно получить значения оптимальной длины пиломатериалов, что определяет оптимальную длину пиловочных бревен. С учетом оптимальной длины и числа досок в поставе определяем диаметр или группу диаметров бревен, необходимых для получения комплекта деталей. Если предприятие получает пиловочные бревна в сортаментах, можно внести коррективы, изменив заказ.

На основании результатов экспериментальных исследований и аналитических разработок определены рекомендуемые длины пиловочных бревен в зависимости от спецификации заготовок.

Таблица 2

| Диаметр бревен, см | Рекомендуемая длина бревен, м | |
|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| | Основная | Дополнительная |
| 14 ... 16 | 5,0/5,5 | 5,5/4,0 6,5/6,5 |
| 18 ... 20 | 5,0/5,5 | 5,5/4,0 6,5/6,0 |
| 22 ... 28 | 4,5/4,5 | 6,5/5,5 —/6,5 |
| 30 и более | 6,5/6,5 | 4,0/4,0 |

В табл. 2 представлены длины пиловочных бревен по группам диаметров. Для каждой группы в зависимости от типа дома даны значения основных и дополнительных длин бревен. Поставляемое на деревообрабатывающие предприятия сырье имеет две длины (4,5; 6,5 м). В группе диаметров свыше 20 см бревна длиной 6,5 м составляют более 95%. В группе диаметров 14...20 см на долю бревен длиной 6,5 м приходится около 30, а длиной 4,5 м — 70%.

На основании приведенных в табл. 2 данных можно сделать вывод, что основным размером бревен диаметром 22...28 см для обоих типов домов является длина 4,5 м, а бревен диаметром 14...20 см — 4,5,0 и 5,5 м, что не соответствует составу сырья, поступающего в сортаментах на предприятия. Поэтому при разделке хлыстов рекомендуется вырабатывать пиловочные бревна указанных длин.

Выводы

На объемный расход пиломатериалов оказывают влияние длина и сортность вырабатываемых заготовок, причем для заготовок 2-й и 3-й группы качества несоответствие пиломатериалов по длине кратности длин заготовок приводит к дополнительным потерям, составляющим до 20% объема потребляемых пиломатериалов. Поэтому при выработке комплектных заготовок необходимо учитывать длину потребляемых пиломатериалов. При переработке древесины в хлыстах рационально выдать спецификацию на выработку бревен исходя из потребности перерабатывающих цехов с учетом длин или специфицировать их целевую поставку с лесозаготовительных предприятий.

УДК 674.048

Ю. А. ВАРФОЛОМЕЕВ, Е. Г. КОСТИНА

ЦНИИМОД

ВОЗДЕЙСТВИЕ АНТИСЕПТИКОВ НА РОСТ РАСТЕНИЙ И ГЕНЕРАЦИЮ ИМИ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА

Установлено, что антисептики катан и ЭОС способствуют увеличению оводненности корней, снижают содержание воды в надземной части растений, стимулируют образование супероксидного радикала O_2^- в клетках корней. Обнаружена корреляция между генерацией O_2^- и токсичностью биоактивных препаратов, что позволит использовать ее для определения уровня токсичности антисептиков.

It has been stated that Catan and EOC facilitate some increase in roots watering, reduce water content in above-ground part of the plants and stimulate superoxide radical formation in the root cells. Correlation between O_2^- generation and bioactive preparations toxicity has been found that will make it possible to use for determining the toxicity level of preservatives.

Для увеличения долговечности широко используют обработку древесины антисептиками. При этом в некоторых ситуациях существует реальная угроза проникновения опасных компонентов антисептиков в почву и воду. Необходимо поэтому учитывать влияние антисептиков для древесины на окружающую среду и, в частности, на рост растений.

Причина остановки роста растений в условиях воздействия антисептиков заключается в нарушении согласованности отдельных физиологических функций живых клеток [3]. Учитывая, что многие патологические процессы в живых клетках растений, протекающие под воздействием химических ингредиентов, инфекций, неблагоприятных экологических факторов, сопровождаются образованием супероксидного радикала (O_2^-) и других кислородных радикалов, необходимо оценить связь между действием антисептиков на растения и образованием ими активных форм кислорода [7].

Как установлено [1], в клетках растений радикалы кислорода образуются несколькими путями, например при автоокислении тиосоединений и восстановленных форм флавинов и хинонов [1]. Радикал O_2^- продуцируется ферментами ксантиноксидазой, альдегидоксидазой, пероксидазой, никотинадениндинуклеотидфосфатоксидазой (НАДФХ-N-оксидаза). Кислородные радикалы образуются в митохондриях, микросомальной фракции, ядрах, хлоропластах, клеточной стенке.

Механизм действия биоактивных ингредиентов антисептиков для древесины может быть связан с активацией кислорода. О. Н. Николаев и А. А. Аверьянов [5] установили, что обработка растений через почву биоактивным препаратом пробеназолом обеспечивает защиту их от пикуляриоза, усиливая при этом в них генерацию супероксидных радикалов. При обработке растений картофеля дигитонином, а риса — пробеназолом и трициклозолом усиливается генерация кислорода листьями, которая сопровождается подавлением развития заболевания [6].

При действии 0,001 %-го и 0,010 %-го растворов ЭОК длина корней и сухая масса не изменились, тогда как сырая масса увеличилась на 30...60 %. Результаты опытов представлены на рис. 1, б, в, д, з.

Из приведенных данных (рис. 1, см. таблицу) видно, что обработка антисептиком ЭОК способствует увеличению оводненности корневых клеток. Как и в случае с антисептиком каган, содержание воды может увеличиваться из-за большего ее поступления в клетки корня и связывания в отдельных частях клетки. По-видимому, происходит усиление связывания воды клеточной стенкой, что является одной из причин большей оводненности корней проростков в целом. Увеличение концентрации антисептика ЭОК приводит к резкому снижению роста корней, их сырой и сухой массы, а также общего количества воды.

ЭОК с концентрацией 0,001 % не оказывает влияния на рост надземной части проростков, их сырую и сухую массу. Увеличение концентрации (0,01 % и 0,10 %) несколько способствует снижению роста надземной части, тогда как сырая масса не изменяется, а сухая — значительно возрастает. Дальнейшее повышение концентрации ЭОК снижает рост надземной части проростков, а также ее сырую и сухую массу, что свидетельствует об уменьшении оводненности клеток, т. е. общего количества воды (см. таблицу).

При действии 0,001 %-го раствора К-12 длина корней уменьшается на 30 % при той же длине надземной части (рис. 1, в, е, и). При этом сырая и сухая масса корней и надземной части не изменяется. Повышение концентрации К-12 снижает рост корней проростков в большей степени, чем надземной части. Как установлено, 0,025 %-й раствор К-12 практически полностью ингибирует рост корней и надземной части. Дальнейшее увеличение концентрации К-12 сопровождается значительным снижением сухой и сырой массы как корней, так и надземной части, а также общего количества воды (см. таблицу). Подавление роста проростков опытных растений, возможно, является следствием действия К-12 на энергетический обмен.

На основании полученных данных установлено, что наименее токсичным для растений является ЭОК, подавляющий рост проростков пшеницы на 50 % при концентрации 0,1...0,2 %. Каган и К-12 аналогичное действие проявляют соответственно при концентрации 0,01...0,04 % и 0,03...0,05 %.

Антисептики для древесины стимулируют образование O_2^- в клетках корней растений. Данные опытов представлены на рис. 2.

Увеличение генерации O_2^- растениями, возможно, связано с влиянием антисептиков на мембранные структуры клетки. Вопросы образования активных форм кислорода в мембранных структурах имеют важное значение, так как с этим часто связаны различные нарушения функциональной активности и развитие повреждений мембран при действии физических, химических и биотических факторов внешней среды, а также изменения физиологического состояния растительных клеток в онтогенезе [4].

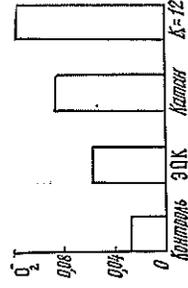


Рис. 2. Генерация супероксидного радикала O_2^- корневыми клетками за 1 ч после 5-часовой инкубации их в воде

Катан, являющийся четвертичным аммонийным основанием, относится к классу катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Литературные данные [10] свидетельствуют о том, что катионные ПАВ с низкой концентрацией, не проникая в клетку, вследствие перемещения липидов обладают литической активностью, сопровождающейся нарушением проницаемости мембран.

Антисептик ЭОК синтезирован на основе синтетических жирных кислот. Взаимосвязь между изменением физического состояния мембран и генерацией O_2^- установлена с помощью мембраномодифицирующих соединений линолевой кислоты, этанола и холестерина [11]. Линолевая кислота вызывает сильное снижение упорядоченности липидов и рост латеральной подвижности с одновременным увеличением образования O_2^- . Этанол обладает сходным эффектом, не активируя латеральную подвижность липидов. Холестерин приводит к повышению упорядоченности и снижению латеральной подвижности липидов, сопровождающейся падением генерации O_2^- .

Антисептик К-12 содержит кремнефтористый аммоний. Известно [2], что фтористый аммоний увеличивает проницаемость клеток дрожжей. Возможно, что мембраны являющиеся первичной мишенью для фторидов [8].

В результате исследований обнаружена корреляция между влиянием антисептиков на рост проростков растений и генерацией O_2^- в клетках корней. Так, наиболее токсичный антисептик К-12 приводит к увеличению генерации O_2^- в 4 раза по сравнению с контролем, а наименее токсичный ЭОК — в 2 раза. Корреляционная зависимость между токсичностью антисептиков и генерацией активных форм кислорода растениями может быть применена в качестве тест-системы при оценке степени токсичности антисептиков для древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Аверьянов А. А. Активные формы кислорода и иммунитет растений // Успехи современной биологии.—1991.—Т. III, вып. 5.—С. 722—737. [2]. Корреляция между проницаемостью клеток дрожжей и их устойчивостью к фтору / М. Г. Саубенова, У. С. Мухамедиева, Р. И. Баймуратова, Л. К. Хмельская // Регуляция микробного метаболизма: Тез. докл. Всесоюз. конф., 12—14 июня 1989 г.—Пуццоно, 1989.—С. 108—109. [3]. Макасимов Н. А. Краткий курс физиологии растений.—М.: Сельхозгиз, 1958.—559 с. [4]. Мерзляк М. Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки // Итоги науки и техники. Сер. Физиология растений.—1989.—Т. 6.—С. 1—168. [5]. Николаев О. Н., Аверьянов А. А. Влияние трициклозала и динитродитинокарбамата натрия на антиокислительные свойства и патогенность гриба *Fusicularia oryzae* // Агрохимия.—1991.—Вып. 2.—С. 110—117. [6]. Николаев О. Н., Аверьянов А. А. Участие супероксидного радикала в механизме фунгицидного действия фталата и пробензола // Физиология растений.—1991.—Т. 38, вып. 3.—С. 512—520. [7]. Остроумов С. В. Поисках регуляторов // Бюхения и защита среды.—М.: Знание, 1984.—С. 11—69. [8]. Приорин С. В., Жукков В. Г., Торсунова Э. М. Влияние катионного поверхностно-активного вещества (каталин АБ) на физиолого-морфологические свойства *B. cereus* и *E. coli* // Изв. АН СССР.—1991.—№ 1.—С. 31—42. [9]. Сравнение антимикробных свойств каталина АБ и роккала и их действие на мембранные системы бактерий / Э. А. Рудзит, В. А. Ермаченко, Т. Н. Нешадим и др. // Антибиотики.—1981.—Т. 26, № 11.—С. 847—852. [10]. Isomaa B. Interaction of surface active alcytrimetil ammonium salts with the erythrocyte membrane // Biochem. Pharmacol.—1979.—Vol. 28.—P. 975. [11]. Protease priming of neutrophil superoxid production : Effect on membrane lipid order and lateral mobility / D. J. Kusner, J. N. Aucott, S. P. Franceschi, S. H. King // J. Biol. Chem.—1991.—226, N 25.—P. 16465—16471.

УДК 674.093

А. Е. АЛЕКСЕЕВ

Архангельский государственный технический университет

О ПОСТРОЕНИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ СПОСОБНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ К ДЕФОРМИРОВАНИЮ

Приведен алгоритм построения процесса производства пиломатериалов по деформационному признаку, а также установлены пределы деформируемости брусев.

A construction algorithm of sawn wood production process on strain indication has been presented as well as limits of deformation limits have been established.

При решении задачи снижения способности пиломатериалов к деформированию используют следующие основные классификационные признаки деформационного состояния пилопродукции:

- форма и размеры в поперечном, продольном горизонтальном и вертикальном направлениях (относительно направления подачи и обработки);
- конфигурации фронта (границ) технологических баз относительно образующей предмета обработки;
- чередование и периодичность формирования поверхности (геометрия формообразования пилопродукции);
- несимметричность геометрии, изменяемость параметров в процессе обработки.

Их варьирование позволяет развить или локализовать деформации, изменить направление искривления.

Эти технологические факторы, влияющие на способность пилопродукции к деформированию, можно применять и варьировать в последовательности и пределах, способствующих обеспечению высоких физико-механических характеристик предметов труда, свойства которых определяются заданным распределением их в объеме изделия.

Образование требуемых полей деформаций в объеме предмета обработки обеспечивают на основе разработки конфигурации очага деформации, задания граничных условий и выбора технологических параметров формообразования.

На нескольких этапах построения технологии производства пиломатериалов предусматривают сравнение свойств предметов обработки с требуемыми свойствами предметов труда и при необходимости включают комбинирование схем деформирования (при помощи изменения операций), объектов деформирования (например, способами формообразования), деформирующих операций, а также параметры процесса. Блок-схема алгоритма построения технологического процесса формообразования пилопродукции с учетом способности древесины к деформированию приведена на рис. 1.

При нескольких вариантах в блок-схему алгоритма целесообразно включать технико-экономические расчеты. Программирование формоизменения параметров пилопродукции с учетом способности древесины

Ввиду сложной макрогеометрии пиловочника и способности древесины к деформированию разработку технологического процесса производства пиломатериалов по деформационным признакам целесообразно начинать уже с операций подготовки пиловочника к раскרוу.

Формирование на бревне хотя бы одной технологической базы приводит к нарушению спокойного состояния древесины, что под воздействием определенных факторов может привести к искривлению продольной оси полуфабриката в двух координатных плоскостях. Формирование этой плоскости вдоль бревна с меньшей или большей шириной пласти в разной степени влияет на деформирование готового продукта. Искривление продольной оси в большей степени наблюдается в направлении, перпендикулярном плоскости сформированной технологической базы. Деформацией в направлении второй координатной оси ввиду малости можно пренебречь. При формировании двух взаимно перпендикулярных базовых плоскостей направление вектора деформации зависит от глубины обработки (или ширины первой открытой пласти) с каждой из обработанных сторон исходной заготовки. При одновременном формировании трех или четырех технологических баз, являющихся плоскостями готовой пилопродукции, направление вектора деформации оценивается в зависимости от ряда технологических факторов по-разному.

Рациональным подбором этих факторов можно значительно уменьшить (до степени практической неопределимости) влияние возмущающих воздействий внутренних перенапряжений в древесине, появляющихся в результате многократного ее деления. Таким образом получают пилопродукцию с более или менее равномерно распределенными по своему объему и сглаженными физико-механическими свойствами.

Увеличение фронта обработки приводит к вынужденному дальнейшему перераспределению внутренних напряжений в материале. Поэтому крайне желательно в многопроходных процессах не допускать длительной выдержки полуфабрикатов. Влияние стабильности обработки материала при получении заданной продукции в значительной степени определяется операционностью формообразования. Поскольку основная продукция лесопиления (пиломатериалы) описывается правильным геометрическим телом (параллелепипед), способность пиломатериалов к деформированию, помимо технологических факторов формообразования, может быть снижена за счет правильного выбора схемы кантовки перед обработки перед станками лесопильного потока. Кантовка в силу заданной геометрии предмета труда осуществляется только под углом 90°. Значительного снижения способности изделия к искривлению после механической обработки только введением рациональной схемы кантовки не достичь. В зависимости от угла кантовки и периодичности при получении готового продукта возможна суперпозиция отдельных очагов деформируемости в объеме заготовки.

При углах кантовки, равных или больших половины центрального угла, опирающегося на сформированные базы, получается волнистая поверхность с амплитудой, равной разности максимального и минимального искривлений. Ввиду трансформаций формируемых технологических баз в зонах вероятного искривления осуществляется более сглаженное воздействие деформирующих сил. Вектор деформации в этом случае зонально располагается перпендикулярно сформированной базе, а зональное воздействие будет ближе к равномерному в результате оцилиндровки.

При получении двух-, трех- и четырехкантных брусев (в том числе четырехкантных обзолных) деформируемость изделий зависит от ряда факторов. В случае формирования технологических баз с непрямолинейным фронтом подачи в условиях постоянной длины пласти (об-

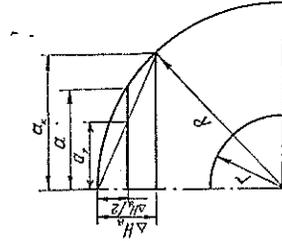


Рис. 2. Расчетная схема: r , R — соответственно радиусы верхнего и нижнего торцов бревна; a — половина ширины технологической базы (первой открытой пласти) при заданной глубине обработки; H_b — глубина обработки (толщина удаленного слоя древесины)

щий случай формообразования) эти факторы регламентируются шириной, определяемой отношением размеров исходной заготовки, степенью деформации и углом непрямолинейности фронта подачи.

Изменение длины формируемых баз зависит от параметров исходной заготовки или формируемого изделия. Предельная длина открываемой пласти в этом случае — функция ширины технологической базы.

На рис. 2 приведена расчетная схема измерения ширины технологической базы при равенстве физического очага деформации геометрическому. Схема выполнена для конечной стадии, когда ширина базы

$$a_k = \sqrt{2R\Delta H_b - \Delta H_b^2} \quad (1)$$

При амплитуде, равной разности между максимальной и минимальной деформациями, необходимо, чтобы расчетная схема строилась на половине глубины удаляемого слоя древесины, т. е. при

$$a = a_t \quad (2)$$

Из сказанного выше следует, что деформационные усилия могут быть в значительной степени уравновешены как достаточно малые. Так как значение ширины открытой пласти a_t взято заведомо меньше физического a , это обеспечивает большую вероятность выполнения оптимальных соотношений.

Из подобия треугольников имеем

$$a_t = a_n/2; \quad (3)$$

$$a_t = (D/2) \sqrt{\omega - \omega^2}, \quad (4)$$

где D — диаметр бревна;

ω — средняя степень изменения формы, $\omega = \Delta H_b/D$.

С учетом малости ω^2

$$a_t = (D/2) \sqrt{\omega}. \quad (5)$$

При равенстве физического очага деформации геометрическому справедливы следующие выражения, определяющие диапазон искривлений B :

верхний предел

$$B^p = (D/2) \sqrt{\omega} (1/\sin \beta + \operatorname{tg} \alpha_2); \quad (6)$$

нижний предел

$$B^n = (D/2) \sqrt{\omega} \operatorname{ctg} \beta, \quad (7)$$

где β — угол непрямолинейности по отношению к осевой продольной плоскости бревна;

α_2 — угол наклона по отношению к оси бревна.

В этих условиях предполагается выполнение соотношения

$$B_6^n \leq B_6 \leq B_6^p. \quad (8)$$

Тогда относительное искривление определяется следующим диапазоном:
 верхний предел

$$\frac{B_0^B}{R-r} = \frac{\sqrt{3}}{1-d_0/D_0} \left(\frac{1}{\sin \beta} + \operatorname{tg} \alpha_2 \right); \quad (9)$$

нижний предел

$$\frac{B_0^H}{R-r} = \frac{\sqrt{3}}{1-d_0/D_0} \operatorname{ctg} \beta, \quad (10)$$

где $d_0 = 2r$;
 $D_0 = 2R$.

Траектории перемещения очага деформации получали с помощью метода координатных сеток. За неподвижный центр при построении полей принимали центр торца комлевого конца бревна. Анализ макроремещений объема древесины проводили по результатам измерений положений координатной ячейки до и после эксперимента с выдержкой брусев до установившейся влажности. Влажность исходного бревна принимали для условий свежесрубленной древесины.

Деформируемость брусев зависит от геометрических размеров бревна и толщины формируемых брусев (от ширины формируемых плоскостей), а также от ориентации оси предмета обработки по поставу инструмента лесопильного станка. С увеличением угла раствора направляющих при переориентировании бревна с осевого направления к образующей уменьшается и степень изменения формы бруса. Абсолютное значение ω в зависимости от угла раствора направляющих не превышает 10...15 %.

В поле макроперемещений можно выделить две зоны, определяемые взаимным положением формируемых плоскостей и находящиеся в двух координатных плоскостях. Задача состоит в определении значения вектора деформации. Теоретическое определение граничных условий деформирования пиломатериалов и уточнение основных параметров при экспериментальной оценке позволят подойти к разработке технологических требований по ограничению способности пиломатериалов к деформированию.

УДК 674.053 : 621.954

Поступила 28 января 1994 г.

С. В. ЕРШОВ

ЦНИИМОД

О ДВУХ ПОДХОДАХ В РАСЧЕТЕ КОЛЕБАНИЙ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА ПИЛЫ

Рассмотрены два подхода к теоретическому исследованию колебаний вращающегося диска пилы, основанные на использовании как вращающейся вместе с диском, так и неподвижной системы координат. Показаны преимущества использования неподвижной системы.

Two approaches to the study of a rotary saw disk oscillations based on the use of a coordinate system, both rotating with a disk and a fixed one, have been considered. The advantages of using the fixed system have been revealed.

В настоящее время при расчете колебаний вращающегося диска пилы большое распространение получила теория критических частот

вращения [2, 4]. Она позволяет предсказывать частоты вращения, соответствующие потере пилы динамической устойчивости. Однако традиционно используемый этой теорией подход не позволяет вычислять изгибную жесткость вращающегося диска, учитывать влияние направляющих на изгибную жесткость и критические частоты вращения, так как основан на применении системы координат, вращающейся вместе с пилой. Данная статья посвящена систематизации и дальнейшему развитию теоретических представлений о колебаниях вращающегося диска пилы.

Современные теоретические представления о колебаниях круглых пил основаны на вариационном принципе Остроградского — Гамильтона, согласно которому действительное движение системы выделяется из всех допустимых тем, что удовлетворяет условию экстремума интеграла

$$I = \int_{t_0}^{t_1} (T - U) dt, \quad (1)$$

где T , U — соответственно кинетическая и потенциальная энергии системы при заданных ее положениях в моменты времени t_0 и t_1 .

При традиционном подходе диск пилы рассматривают в координатах, вращающихся вместе с ним. Кинетическая энергия будет равна энергии колебаний:

$$T = \frac{1}{2} \rho h \int_{r_0}^R (\dot{dw}/dt)^2 r dr d\varphi; \quad (2)$$

потенциальная энергия — энергии деформации диска:

$$U = \frac{1}{2} D \int_{r_0}^R \int_0^{2\pi} \{ (\nabla w)^2 - 2(1 - \nu) \left[\left(\frac{1}{r} w_r + \frac{1}{r^2} w_{\varphi\varphi} \right) w_{rr} - \left(\frac{1}{r} w_{\varphi} \right)_r \right] \} r dr d\varphi + \frac{1}{2} h \int_{r_0}^R \int_0^{2\pi} \left[\sigma_r w_r^2 + \sigma_{\varphi} \left(\frac{w_{\varphi}}{r} \right)^2 \right] r dr d\varphi - P w_P, \quad (3)$$

где

ρ — плотность материала пилы;

h — толщина пилы;

r_0 — радиус зажимных шайб;

R — внешний радиус диска пилы;

w — прогиб пилы;

r, φ — полярные координаты;

D — цилиндрическая жесткость, $D = Eh^3/[12(1 - \nu^2)]$;

E — модуль упругости;

ν — коэффициент Пуассона;

∇w — оператор Лапласа, $\nabla w = w_{rr} + \frac{1}{r} w_r + \frac{1}{r^2} w_{\varphi\varphi}$;

$\sigma_r, \sigma_{\varphi}$ — соответственно радиальные и окружные напряжения в пиле;

w_P — прогиб диска пилы в точке (r_P, φ_P) приложения внешней силы P .

Напряжения σ_r и σ_{φ} равны сумме начальных напряжений, напряжений от неравномерного нагрева диска пилы и от центробежных сил инерции, которые пропорциональны второй степени частоты вращения:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \sigma_r'' + \sigma_r' + \sigma_r^{\omega} = \sigma_r'' + \sigma_r' + \omega^2 R(r); \\ \sigma_{\varphi} &= \sigma_{\varphi}'' + \sigma_{\varphi}' + \sigma_{\varphi}^{\omega} = \sigma_{\varphi}'' + \sigma_{\varphi}' + \omega^2 \Phi(r), \end{aligned} \quad (4)$$

где $R(r)$, $\Phi(r)$ — функции от r .

Прогиб диска представим суммой $(2n+1)$ координатных функций, описывающих все допустимые движения пины [2]:

$$\omega = \frac{1}{2} a_0 u_0(r) \cos p_0 t + \sum_{\lambda=1}^n u_\lambda(r) (a_\lambda \cos \lambda \varphi + b_\lambda \sin \lambda \varphi) \cos p_\lambda t, \quad (5)$$

где a_λ, b_λ — неопределенные коэффициенты;

u_λ — функция только от радиуса r , удовлетворяющая всем граничным условиям;

λ — число узловых диаметров в форме колебаний;

p_λ — круговая частота колебаний в связанной с пилой системе координат по форме с λ узловыми диаметрами.

Подставляя выражение (5) в интеграл (1) и выполняя условие экстремума $\left(\frac{dI}{da_\lambda} = 0; \frac{dI}{db_\lambda} = 0\right)$, получаем $(2n+1)$ уравнений относительно коэффициентов a_λ и b_λ :

$$a_\lambda (H_\lambda + \omega^2 Q_\lambda + Z_\lambda - p_\lambda^2 Y_\lambda) = P u_\lambda(r_P) \cos \lambda \varphi_P; \quad (6)$$

$$b_\lambda (H_\lambda + \omega^2 Q_\lambda + Z_\lambda - p_\lambda^2 Y_\lambda) = P u_\lambda(r_P) \sin \lambda \varphi_P;$$

$$\lambda = 0, 1, 2, \dots, n,$$

где $H_\lambda = \pi D \int_{r_0}^R \left(\frac{d^2 u_\lambda}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d u_\lambda}{dr} - \frac{\lambda^2}{r^2} u_\lambda \right) r dr$;

$$Q_\lambda = \pi h \int_{r_0}^R \left[R(r) \left(\frac{d u_\lambda}{dr} \right)^2 + \Phi(r) \left(\lambda \frac{u_\lambda}{r} \right)^2 \right] r dr;$$

$$Z_\lambda = \pi h \int_{r_0}^R \left[(\sigma_r^u + \sigma_t) \left(\frac{d u_\lambda}{dr} \right)^2 + (\sigma_\varphi^u + \sigma_\varphi^t) \left(\lambda \frac{u_\lambda}{r} \right)^2 \right] r dr;$$

$$Y_\lambda = \rho h \pi \int_{r_0}^R u_\lambda^2 r dr.$$

При отсутствии внешней силы P уравнения (6) могут иметь решение только в том случае, когда

$$p_\lambda^2 = (H_\lambda + \omega^2 Q_\lambda + Z_\lambda) / Y_\lambda, \quad (7)$$

что соответствует частотам собственных колебаний вращающегося диска пины в связанной с ним системе координат. При $\omega = 0$ имеем частоты колебаний невращающегося диска

$$p_{\lambda \text{ст}}^2 = (H_\lambda + Z_\lambda) / Y_\lambda. \quad (8)$$

Используя формулу (8), запишем

$$p_\lambda^2 = p_{\lambda \text{ст}}^2 + \omega^2 B, \quad (9)$$

где B — динамический коэффициент, $B = Q_\lambda / Y_\lambda$.

Напряжения от центробежных сил инерции положительны, поэтому $B > 0$ и увеличение частоты вращения диска в связанной с ним системе координат приводит к увеличению частот его собственных колебаний.

Для перехода к неподвижной системе координат прибегают к искусственному приему: колебания разделяют на две цепи волн, бегущих в различных направлениях с угловой скоростью $\omega_{1,2} = p_\lambda / \lambda$. Для неподвижного наблюдателя частоты вращения этих волн и соответствующие им частоты колебаний будут различны:

$$\omega_1 = p_\lambda / \lambda + \omega; \quad \omega_2 = p_\lambda / \lambda - \omega, \quad (10)$$

$$q_1 = p_\lambda + \omega\lambda; \quad q_2 = p_\lambda - \omega\lambda, \quad (11)$$

где q — частоты колебаний в неподвижной системе координат.

При кратности одной из частот колебаний частоте вращения $q_{1,2\lambda} = k\omega$ (k — коэффициент кратности) возникают резонансные частоты вращения $\omega_{\text{рез}} = p_\lambda / (k \pm \lambda)$. С учетом (9) запишем

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\frac{P_{\lambda, \text{ст}}^2}{(k \pm \lambda)^2 - B}}. \quad (12)$$

Значению $k = 0$ соответствует критическая частота вращения

$$\omega_{\text{кр}} = p_\lambda / \lambda = \sqrt{\frac{P_{\lambda, \text{ст}}^2}{\lambda^2 - B}}, \quad (13)$$

при которой волна колебаний останавливается в пространстве для неподвижного наблюдателя ($q_2 = 0$).

Если к диску пилы в связанной с ним системе координат приложить постоянная сила P , то уравнения (6) позволяют определить коэффициенты a_λ и b_λ , а (5) — прогиб пилы в точке приложения силы (r_P, φ_P). Однако изгибная жесткость диска пилы, найденная по формуле $j = P/\omega_P$, в этой системе координат не может служить показателем его работоспособности. С увеличением частоты вращения она непрерывно возрастает и не отражает потерю диском динамической устойчивости при критических частотах вращения [3]. На рис. 1 приведена зависимость изгибной жесткости пилы от частоты ее вращения. Начальное напряженное состояние пилы до зажатия в шайбы близко к критическому.

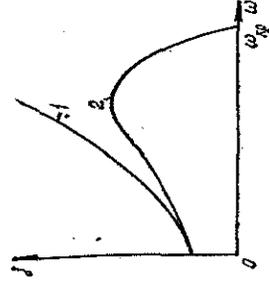


Рис. 1. Влияние частоты вращения на изгибную жесткость вращающейся пилы: 1 — система координат, вращающаяся вместе с пилою; 2 — неподвижная система координат

Обратимся к другому подходу, основанному на использовании неподвижной в пространстве системы координат (r, ψ) , где $\psi = \phi + \omega t$. Выражение (3) для потенциальной энергии не изменится, а кинетическая энергия будет равна сумме энергии колебаний и энергии вращения:

$$T = \frac{1}{2} \rho h \int_{r_0}^R \int_0^{2\pi} \left[\left(\frac{dw}{dt} \right)^2 + \omega^2 r \right] r dr d\varphi. \quad (14)$$

Прогиб пилы $w(r, \psi, t)$ зависит от времени непосредственно и через координату ψ :

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + \omega \frac{\partial w}{\partial \psi}. \quad (15)$$

Для того чтобы функция прогиба $w(r, \psi, t)$ описывала все допустимые движения в неподвижной системе координат, ее необходимо представить в виде 2 (2*n* + 1) координатных функций:

(11)

$$\begin{aligned}
 (11) \quad \psi &= \frac{1}{2} u_0(r)(a_0 \cos q_0 t + b_0 \sin q_0 t) + \sum_{\lambda=1}^n u_{\lambda}(r)(a_{\lambda} \cos \lambda \psi \cos q_{\lambda} t + \\
 &+ b_{\lambda} \cos \lambda \psi \sin q_{\lambda} t + c_{\lambda} \sin \lambda \psi \cos q_{\lambda} t + d_{\lambda} \sin \lambda \psi \sin q_{\lambda} t), \quad (16)
 \end{aligned}$$

где a_{λ} , b_{λ} , c_{λ} , d_{λ} — неопределенные коэффициенты.

С учетом (14) — (16) и при $P = 0$ условия экстремума интеграла (1) примут вид

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda} A_{\lambda} - d_{\lambda} B_{\lambda} &= 0; \\
 b_{\lambda} A_{\lambda} + c_{\lambda} B_{\lambda} &= 0; \\
 c_{\lambda} A_{\lambda} + b_{\lambda} B_{\lambda} &= 0; \\
 a_{\lambda} A_{\lambda} - a_{\lambda} B_{\lambda} &= 0.
 \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{Здесь } B_{\lambda} = 2q_{\lambda} \omega \lambda Y_{\lambda}; \quad A_{\lambda} = H_{\lambda} + Z_{\lambda} + \omega^2 Q_{\lambda} - \omega^2 \lambda^2 Y_{\lambda} - \dots - q_{\lambda}^2 Y_{\lambda}. \quad (18)$$

Уравнения (17) могут иметь решение только в том случае, когда

$$\begin{aligned}
 A_{\lambda}^2 - B_{\lambda}^2 &= 0 \\
 p_{\lambda \text{ст}}^2 + \omega^2 B - \omega^2 \lambda^2 - q_{\lambda}^2 \pm 2q_{\lambda} \lambda \omega &= 0, \quad (19)
 \end{aligned}$$

или

что соответствует

$$q_{\lambda} = \sqrt{p_{\lambda \text{ст}}^2 + \omega^2 B} \pm \omega.$$

или частотам вперед и назад бегущих волн по формуле (11). При кратности частоты колебаний и частоты вращения $q_{\lambda} = k\omega$ получим резонансные частоты вращения, соответствующие формуле (12).

Приложим к лиле периодическую силу $P \sin(ft + \delta)$ (где f — частота приложения силы; δ — начальная фаза) и найдем решение в форме вынужденных колебаний, для чего в формуле (16) заменим q_{λ} на f . В результате этого будем иметь систему уравнений для определения неизвестных коэффициентов:

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda} A_{\lambda} - d_{\lambda} B_{\lambda} &= P u_{\lambda}(r_P) \sin \delta \cos \lambda \psi_P; \\
 b_{\lambda} A_{\lambda} + c_{\lambda} B_{\lambda} &= P u_{\lambda}(r_P) \cos \delta \cos \lambda \psi_P; \\
 c_{\lambda} A_{\lambda} + b_{\lambda} B_{\lambda} &= P u_{\lambda}(r_P) \sin \delta \sin \lambda \psi_P; \\
 d_{\lambda} A_{\lambda} - a_{\lambda} B_{\lambda} &= P u_{\lambda}(r_P) \cos \delta \cos \lambda \psi_P.
 \end{aligned} \quad (20)$$

Заменив в формулах (19) q_{λ} на f и решив уравнение (20), полу-

чим

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda} &= P u_{\lambda}(r_P)(A_{\lambda} \sin \delta \cos \lambda \psi_P + B_{\lambda} \cos \delta \sin \lambda \psi_P)/(A_{\lambda}^2 - B_{\lambda}^2); \\
 b_{\lambda} &= P u_{\lambda}(r_P)(A_{\lambda} \cos \delta \cos \lambda \psi_P - B_{\lambda} \sin \delta \sin \lambda \psi_P)/(A_{\lambda}^2 - B_{\lambda}^2); \\
 c_{\lambda} &= P u_{\lambda}(r_P)(A_{\lambda} \sin \delta \sin \lambda \psi_P - B_{\lambda} \cos \delta \cos \lambda \psi_P)/(A_{\lambda}^2 - B_{\lambda}^2); \\
 d_{\lambda} &= P u_{\lambda}(r_P)(A_{\lambda} \cos \delta \sin \lambda \psi_P + B_{\lambda} \sin \delta \cos \lambda \psi_P)/(A_{\lambda}^2 - B_{\lambda}^2).
 \end{aligned} \quad (21)$$

Подставим выражения для коэффициентов (21) в формулу (16):

$$\begin{aligned} \omega(r, \psi, t) = & \frac{Pu_0(r_P)u_0(r)}{2A_0} \sin(ft + \delta) + \\ & + \sum_{\lambda=1}^n \frac{Pu_\lambda(r_P)u_\lambda(r)}{A_\lambda^2 - B_\lambda^2} \{A_\lambda \cos[\lambda(\psi - \psi_P) \sin(ft + \delta)] + \\ & + B_\lambda \sin[\lambda(\psi - \psi_P) \cos(ft + \delta)]\}. \end{aligned} \quad (22)$$

Упростим формулу (22), положив $\psi_P = 0$ и $\delta = 0$, что не изменит результата. После преобразований получим

$$\begin{aligned} \omega(r, \psi, t) = & \frac{1}{2A_0} Pu_0(r_P)u_0(r) \sin ft + \\ & + P \sum_{\lambda=1}^n u_\lambda(r_P)u_\lambda(r) \left[\frac{\cos \lambda \psi \sin ft}{A_\lambda + B_\lambda} + \frac{B \sin(\lambda \psi + ft)}{A_\lambda^2 - B_\lambda^2} \right]. \end{aligned} \quad (23)$$

Полученное выражение показывает, что при возбуждении вращающегося диска пилы периодической силой его колебания по каждой из форм в неподвижной системе координат можно представить суммой двух составляющих. Первая имеет неподвижные узловые диаметры и одну из зон лучностей, расположенную в точке приложения силы, вторая — узловые диаметры, вращающиеся в направлении вращения пилы с угловой частотой f/λ . При приближении частоты вращения к частоте одной из вперед или назад бегущих волн ($A_\lambda^2 - B_\lambda^2 \rightarrow 0$) амплитуда второй составляющей неограниченно возрастает. Амплитуда первой составляющей неограниченно возрастает только при $A_\lambda + B_\lambda \rightarrow 0$, то есть при частотах возбуждения, соответствующих частотам вперед ($f = \omega\lambda + \sqrt{P_{\lambda \text{ ст}}^2 + \omega^2 B}$ при $\omega < f/\lambda$) и назад ($f = -\omega\lambda + \sqrt{P_{\lambda \text{ ст}}^2 + \omega^2 B}$ при $\omega > f/\lambda$) бегущих волн.

Если к вращающемуся диску пилы приложим постоянную силу ($\delta = \pi/2, f = 0$), то получим

$$\omega(r, \psi) = \frac{Pu_0(r_P)u_0(r)}{2A_0} + \sum_{\lambda=1}^n \frac{Pu_\lambda(r_P)u_\lambda(r)}{A_\lambda} \cos[\lambda(\psi - \psi_P)]. \quad (24)$$

Согласно этой формуле при $P = \text{const}$ ω не зависит от времени, поэтому при приложении к вращающейся пиле постоянной силы для неподвижного наблюдателя форма колебаний пилы неподвижна, а наибольшую деформацию пила будет иметь в точке приложения этой силы. При критических частотах вращения, найденных по формуле (13), деформация пилы неограниченно возрастает, что соответствует потере динамической устойчивости. Следовательно, изгибная жесткость вращающейся пилы, определенная в неподвижной системе координат, при критических частотах вращения теоретически уменьшается до нуля. Это демонстрирует приведенная на рис. 1 зависимость изгибной жесткости пилы от частоты вращения в неподвижной системе координат (кривая 2).

Использование неподвижной в пространстве системы координат позволяет учесть взаимодействие вращающейся пилы и направляющей, если считать последнюю зоной упругого защемления [1]. Для этого к выражению для определения потенциальной энергии (3) необходимо добавить потенциальную энергию деформации упругого слоя направляющих (например слоя смазки):

$$\frac{Kc}{2} \int_{F_H} \omega^2 dF, \quad (25)$$

где k_c — коэффициент жесткости упругого слоя;
 F_n — площадь направляющей.

Система уравнений (17) с учетом (25) дает две группы решений. Критическим частотам вращения пилы из первой группы соответствуют симметричные формы динамической погери устойчивости

$$\omega_\lambda = -\frac{u_0}{2} a_0 + \sum_{\lambda=1}^n a_\lambda u_\lambda(r) \cos \lambda\psi, \quad (26)$$

а частотам вращения из второй группы — антисимметричные формы

$$\omega_\lambda = \sum_{\lambda=1}^n b_\lambda u_\lambda(r) \sin \lambda\psi. \quad (27)$$

Зависимость критических частот вращения пилы от углового размера направляющих приведена на рис. 2.

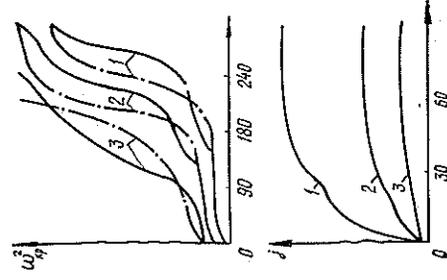


Рис. 2. Влияние углового размера направляющих на критические частоты вращения ω круглой пилы при различных значениях λ : 1 — $\lambda = 2$; 2 — 3; 3 — 4 (сплошная линия — симметричные формы; штрихпунктирная — антисимметричные)

Рис. 3. Влияние углового размера направляющих на изгибную жесткость пилы J при различном угловом расстоянии от края направляющей: 1 — $\alpha = 15^\circ$; 2 — 30° ; 3 — 45°

Аналогичным образом можно учесть влияние направляющих и на изгибную жесткость пилы. На рис. 3 представлена зависимость изгибной жесткости вращающейся пилы от углового размера направляющих.

Выводы

1. Традиционно используемая в теоретических исследованиях круглых пил вращающаяся вместе с пилой система координат позволяет определять только критические и резонансные частоты их вращения.
2. Использование неподвижной в пространстве системы координат дает возможность дополнительно определить изгибную жесткость вращающейся пилы и амплитуду ее колебаний при действии периодических сил, а также учитывать влияние направляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Еришов С. В. Влияние размеров направляющих на критическую частоту вращения круглых пил и возможность увеличения скорости резания // Проблемы интенсификации лесопильного производства: Науч. тр. / ЦНИИМОД.— 1985.— С. 151—160. [2]. Жодзинский Г. А. Влияние начальных напряжений от проковки и неравномерного нагрева на частоты свободных колебаний вращающихся круглых пил // Науч. тр.— Л.: ЛТА, 1959.— Вып. 83.— С. 238—253. [3]. Стахив Ю. М., Еришов С. В., Макаров В. В. О согласовании степеней проковки (валлеванья) с частотой вращения круглой пилы // Лесн. журн.— 1988.— № 6.— С. 59—64.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Стахив Ю. М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил.— М.: Лесн. пром-сть, 1977.— 296 с.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.017

Б. П. ЕРЫХОВ, М. Я. НАТАНЗОН, И. В. ПОПОВ

Поволжский институт информатики, радиотехники и связи

ОЦЕНКА СУХОГО ТРЕНИЯ
МЕТОДОМ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

С помощью крутильного высокочастотного автоматического маятника (КВАМ-1) оценен вклад элемента Сен-Венана в процесс затухания свободных колебаний листовых материалов, а также проведены теоретический расчет и экспериментальная проверка исходных положений. Показано, что для целлюлозно-бумажных материалов необходимо учитывать кулоновское трение в соответствии с теорией линейной вязкоупругости.

By torsional high-frequency automatic pendulum KVAM-1 the Sen-Venan element contributing to the damping of sheet materials-free vibration has been evaluated, as well as the theoretical calculation and experimental test of initial conditions have been made. It is shown that it is necessary that culon friction for pulp and paper materials be taken into account due to the theory of linear viscosity-elasticity.

Наличие сухого трения в целлюлозно-бумажных и других гетерофазных материалах можно считать обоснованным [2, с. 83—90]. Однако, если теоретическая часть этого обоснования не может вызывать особых претензий, то экспериментальная, в основном, ограничивается констатацией того факта, что наличие сухого трения в бумаге приводит к непостоянству периодов колебаний в низкочастотном крутильном маятнике и отклонению графика временной амплитуды затухающих колебаний от экспоненты. Кстати, для стального образца эти отклонения не зафиксированы. Авторам статьи не удалось найти публикаций, в которых «внутренний» элемент сухого трения был бы измерен или грубо оценен.

Подводящее большинство материаловедов, использующих теорию линейной вязкоупругости, либо вообще игнорируют наличие сухого трения во многих материалах, либо, не скрывая этого факта, априорно учитывают его как дополнительный вклад в вязкое трение. С прагматической точки зрения это и понятно, так как теория вязкоупругости элементы Сен-Венана вообще не рассматривает. Но если иметь в виду чисто научный подход к этой проблеме, то такое направление исследований является беспорно приемлемым, но не строгим. Трудности, стоящие на пути корректного подхода, очевидны и заключаются в том, что из линейной задача превращается в нелинейную, в связи с чем возникают дополнительные математические и экспериментальные сложности. Опустив для краткости вывод зависимости силы сопротивления Q от обобщенной скорости смещения q и амплитуды колебаний A от времени t [4], приведем на рис. 1 характерные графики этих кривых. Как видно из рис. 1, функция $Q(q)$ в случае сухого трения имеет разрыв, а экспонента $A = A_0 e^{-bt/2a}$ (b и a — обобщенные коэффициент вязкости и масса; $\delta = b/2a$ — обобщенный коэффициент затухания) заменяется на прямую $A = A_0 - pt$ ($p = \frac{4b}{cT}$; c — обобщенная крутильная жесткость; T — период колебаний).

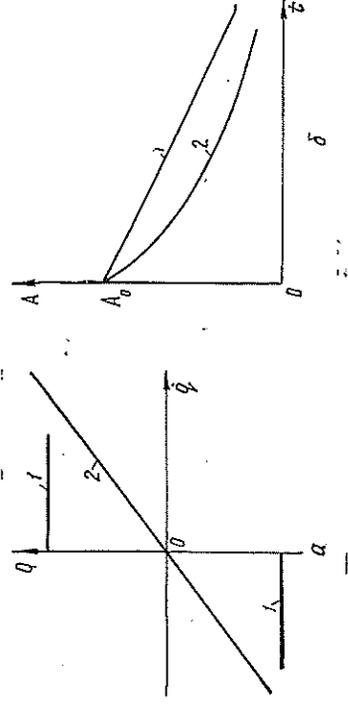


Рис. 1. Зависимость диссипативной силы Q от скорости смещения q (а) и амплитуды колебаний A от времени t (б) для сухого (1) и вязкого (2) трения

Имея одну экспериментально полученную кривую затухающих крутильных колебаний, попробуем оценить вклад вязкого и сухого трения по отдельности.

Для решения поставленной задачи приведем две методики измерений.

Методика амплитудных измерений

Для продольного маятника с сухим трением эта задача решена в работе [5], для крутильного — [2, с. 86—87]. Рассмотрим ее подробнее.

Запишем основное уравнение крутильных колебаний с сухим и вязким трением:

$$I\ddot{\varphi} + \eta\dot{\varphi} + c\varphi + M \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}) = 0, \quad (1)$$

где I — момент инерции колеблющейся системы;

φ — угол закручивания;

η — динамическая сдвиговая вязкость;

c — крутильная жесткость;

M — момент сил сухого трения.

Функция $\operatorname{sgn}(\dot{\varphi})$ введена в уравнение (1) для объяснения разрывного вида характеристики сухого трения (рис. 2).

Для упрощения уравнения (1) заменим производные по времени на производные по $\tau = \omega_0 t = \sqrt{c/I} t$ ($\omega_0 = \sqrt{c/I}$ — круговая частота свободных колебаний). После этого (1) примет вид

$$\varphi'' + 2D\varphi' + \varphi + \mu \operatorname{sgn}(\varphi') = 0, \quad (2)$$

где $D = \eta/2\sqrt{cI}$ и $\mu = M/c$ — соответственно безразмерные коэффициенты вязкого и сухого трения.

На рис. 3 приведена условная осциллограмма затухающего колебательного процесса с соответствующими обозначениями, которые будут использованы в дальнейшем.

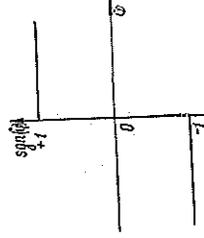


Рис. 2. График функции $\operatorname{sgn}(\dot{\varphi})$

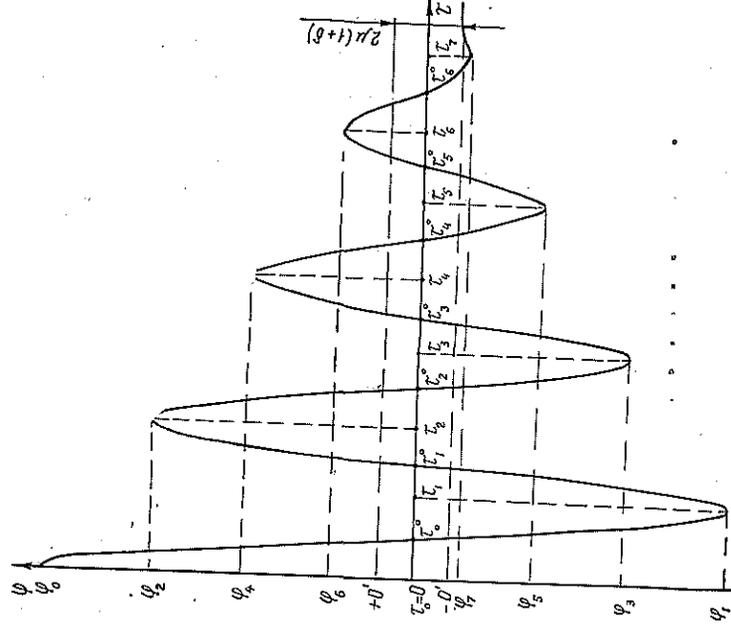


Рис. 3. Характерная осциллограмма затухающего колебательного процесса при наличии вязкого и сухого трения

Из-за разрывности функции $\text{sgn}(\varphi')$ решение уравнения (2) будем искать отдельно на интервалах, где «скорость» системы φ' постоянна по знаку. Рассмотрим интервал от $\tau^0 = 0$ (начало колебаний) до $\tau = \tau_1$, при котором система имеет отклонение в сторону, противоположную первоначальному φ_0 . В этом интервале φ уменьшается, а $\varphi' < 0$. Тогда для интервала $0 \leq \tau \leq \tau_1$ с учетом знака $\text{sgn}(\varphi') = -1$ получим следующее уравнение

$$\varphi'' + 2D\varphi' + \varphi = \mu. \quad (3)$$

Для $D < 1$ и $\mu < \varphi_0$ запишем решение уравнения (3) при начальных условиях $\tau = 0$; $\varphi = \varphi_0 > 0$; $\varphi' = 0$:

$$\varphi = \mu + (\varphi_0 - \mu) e^{-D\tau} \left[\frac{D}{\sqrt{1-D^2}} \sin(\sqrt{1-D^2}\tau) + \cos(\sqrt{1-D^2}\tau) \right]; \quad (4)$$

$$\varphi' = -\frac{\varphi_0 - \mu}{\sqrt{1-D^2}} e^{-D\tau} \sin(\sqrt{1-D^2}\tau).$$

При $\tau = \tau_1$ достигается первая точка возврата, в которой $\sqrt{1-D^2}\tau_1 = \pi$ и, следовательно, $\tau_1 = \pi/\sqrt{1-D^2}$. Амплитуда φ_1 будет выражена как

$$\varphi_1 = \mu + (\varphi_0 - \mu) e^{-D\tau_1} \left[\frac{D}{\sqrt{1-D^2}} \sin \pi + \cos \pi \right] =$$

$$= \mu - (\varphi_0 - \mu) e^{-\pi D/\sqrt{1-D^2}} = -\varphi_0 e^{-\pi D/\sqrt{1-D^2}} + \mu(1 + e^{-\pi D/\sqrt{1-D^2}}).$$

Без учета сухого трения система проходит положение равновесия при $\tau_n^0 = \frac{\pi}{2} \frac{1}{\sqrt{1-D^2}}$. Сдвиг положения равновесия при наличии сухого трения приводит к отклонению от этого равенства. По величине отклонения можно количественно оценить сухое трение.

Решение уравнения (1) для интервала $\tau_n \leq \tau \leq \tau_{n+1}$ имеет вид

$$\begin{aligned} \varphi(\tau_n) = & (-1)^n \mu + (\varphi_n - (-1)^n \mu) \left\{ \frac{D}{\sqrt{1-D^2}} \times \right. \\ & \times \sin[\sqrt{1-D^2}(\tau - \tau_n)] + \cos[\sqrt{1-D^2}(\tau - \\ & \left. - \tau_n)] \right\} \exp[-D(\tau - \tau_n)]. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь

$$\tau_n = \frac{\pi n}{\sqrt{1-D^2}};$$

$$\varphi_n = -\varphi_{n-1} \delta - (-1)^n \mu (1 + \delta);$$

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Учтя, что для многих целлолозно-бумажных материалов $D \ll 1$ и $\mu \ll \varphi_0$, упростим это уравнение:

$$\begin{aligned} \tau_n \simeq \pi n; \quad \exp[-D(\tau_n^0 - \tau_n)] \simeq 1 - D(\tau_n^0 - \tau_n); \\ \sin[\sqrt{1-D^2}(\tau_n^0 - \tau_n)] \simeq \sin(\tau_n^0 - \tau_n); \quad (11) \\ \cos[\sqrt{1-D^2}(\tau_n^0 - \tau_n)] \simeq \cos(\tau_n^0 - \tau_n). \end{aligned}$$

Приняв во внимание обстоятельство, что $\tau_n^0 - \tau_n$ мало отличается от $\pi/2$, преобразуем:

$$\tau_n^0 - \tau_n \simeq \tau_n^0 - n\pi = \tau_n^0 - n\pi + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2} (1 + x_n^0), \quad (12)$$

где $x_n^0 = \frac{2\tau_n^0 - (2n+1)\pi}{\pi} \ll 1$ при любом n .

Величина x_n^0 показывает отклонение точки пересечения положения равновесия от $n \frac{\pi}{2}$. Подставив значение $\tau_n^0 - \tau_n$ из (12) в (11), получим

$$\sin \frac{\pi}{2} (1 + x_n^0) \simeq 1; \quad \cos \frac{\pi}{2} (1 + x_n^0) \simeq -\frac{\pi}{2} x_n^0.$$

С учетом того, что $\delta = 1 - \pi D$

$$\varphi_n = (-1)^n [\varphi_0 (1 - n\pi D - 2n\mu)]. \quad (13)$$

Поставив φ_n из (13) в уравнение (1), преобразуем его:

$$\begin{aligned} \varphi(\tau_n^0) = & (-1)^n \{\mu + [\varphi_0 (1 - n\pi D - (2n+1)\mu)] \times \\ & \times (D - \frac{\pi}{2} x_n^0) [1 - D \frac{\pi}{2} (1 + x_n^0)]\} = 0. \end{aligned}$$

Оставив члены не выше второго порядка малости для D , μ , x_n^0 , запишем

$$\begin{aligned} \mu + \varphi_0 D - \frac{\varphi_0 \pi}{2} x_n^0 - \varphi_0 n\pi D^2 + \frac{\varphi_0 \pi^2}{2} D x_n^0 - (2n+1)\mu D + \\ + \frac{(2n+1)}{2} \pi \mu x_n^0 - \frac{\varphi_0 \pi}{2} D^2 + \frac{\varphi_0 \pi^2}{4} D x_n^0 = 0. \end{aligned}$$

Используя только линейные члены для D , μ и x_n^0 , получим формулу для μ :

$$\mu = \varphi_0 \left(\frac{\pi x_n^0}{2} - D \right), \quad (14)$$

связывающую характеристики сухого μ и вязкого D трения с временными интервалами вдоль «идеального» положения равновесия системы. (Под «идеальным» положением подразумевается положение равновесия при отсутствии сухого трения в материале.) Очевидно, что при наличии только вязкого трения «идеальное» положение равновесия совпадает с действительным.

Так как точность измерения временных интервалов по сравнению с амплитудными измерениями, как правило, существенно выше, то описанный метод представляется более перспективным. В настоящее время эта методика еще недостаточно отработана, потому давать окончательную оценку ее использования еще рано.

Экспериментальная часть работы проведена на приборе КВАМ-1* (крутильный высокочастотный автоматический маятник), являющемся модификацией установки типа УРОМС (установка для резонансного определения модуля сдвига и добротности листовых материалов) [3].

Под научным руководством Поволжского института информатики, радиотехники и связи (г. Самара) в экспериментальных производственных мастерских Центрального научно-исследовательского института бу маги (г. Москва) разработана механическая часть прибора, фирмой «АДЭС» (г. Самара) — электронная часть и программное обеспечение.

Прибор КВАМ-1 работает в режиме свободных крутильных колебаний, реализуемых подачей единичного импульса напряжения на катушку возбуждения системы. После начала колебаний компьютер с заданной частотой опрашивает опто-электронный датчик смещения о местонахождении колебательной системы. После преобразования эти данные выводятся на экран видеомонитора в виде осциллограммы. Для повышения точности временных и амплитудных параметров в программе предусмотрена возможность табличного представления данных.

В соответствии с техническим заданием в приборе КВАМ-1 не предусмотрена возможность измерения истинного положения колебательной системы и все данные представлены в относительных единицах АЦП (от -512 до $+511$). Для численных расчетов, в соответствии с [1], получено соотношение для перевода единиц АЦП в радианы (1 ед. АЦП $\sim 2,7 \cdot 10^{-8}$ рад при амплитуде смещения датчика порядка 1 мкм и длине плеча коромысла, равной 73 мм).

Наличие переходных процессов после возбуждающего систему импульса напряжения, сопоставимость амплитуд колебаний на конце осциллограммы с уровнем шума и неопределенность измерений амплитуд при их дискретном отсчете вынудили для оценки сухого трения разработать и реализовать модифицированный метод амплитудных измерений, суть которого сводится к следующему.

Чтобы не зависеть от положения равновесия, рассмотрим сумму модулей $\varphi_0 + \varphi_1, \varphi_1 + \varphi_2, \varphi_2 + \varphi_3, \dots$, которые обозначим через $\varphi_{01}, \varphi_{12}, \varphi_{23}, \dots$ (рис. 3). Величины $\varphi_{01}, \varphi_{12}, \varphi_{23}$ с максимальной достоверностью могут быть измерены в средней части осциллограммы затухающих колебаний.

* Авторы благодарят своих коллег по разработке нового прибора КВАМ-1 и спонсора ТПФ «Вагет».

Запишем уравнение для модулей φ_1 , φ_2 , φ_3 из системы уравнений (1)

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi_0 \delta - \mu (1 + \delta); \\ \varphi_2 &= \varphi_1 \delta - \mu (1 + \delta); \\ \varphi_3 &= \varphi_2 \delta - \mu (1 + \delta). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Введем для анализа параметр $\varepsilon \equiv 1 - \delta$, мало отличающийся от нуля. Тогда

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{01} &= 2\varphi_0 - \varphi_0 \varepsilon - 2\mu + \mu \varepsilon; \\ \varphi_{12} &= 2\varphi_0 - 3\varphi_0 \varepsilon - 6\mu + 5\mu \varepsilon + \varphi_0 \varepsilon^2; \\ \varphi_{23} &= 2\varphi_0 - 5\varphi_0 \varepsilon - 10\mu + 13\mu \varepsilon + 4\varphi_0 \varepsilon^2 - \varphi_0 \varepsilon^3. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Решив эту систему относительно неизвестных φ_0 , μ и ε , получим

$$\varphi_0 = \frac{\varphi_{01}(-12 + 16\varepsilon - 5\varepsilon^2 + \varepsilon^3) + \varphi_{12}(4 - 4\varepsilon - \varepsilon^2)}{8(2 - \varepsilon)(\varepsilon - 1)}; \quad (17)$$

$$\mu = \frac{\varphi_{01}(-2 + 3\varepsilon - \varepsilon^2) + \varphi_{12}(2 - \varepsilon)}{8(\varepsilon - 1)}. \quad (18)$$

Для нахождения ε решим следующее уравнение:

$$\begin{aligned} &\varepsilon^6(-\varphi_{01}) + \varepsilon^5(9\varphi_{01} - \varphi_{12}) + \varepsilon^4(-28\varphi_{01} + 8\varphi_{12}) + \varepsilon^3(28\varphi_{01} - \\ &- 12\varphi_{12}) + \varepsilon^2(16\varphi_{01} - 24\varphi_{12} + 8\varphi_{23}) + \varepsilon(-40\varphi_{01} + 64\varphi_{12} - \\ &- 24\varphi_{23}) + 16\varphi_{01} - 32\varphi_{12} + 16\varphi_{23} = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Выясним, какой степеню ε можно ограничиться. Для этого разберем числовой пример с наиболее типичными параметрами колебательной системы, сд. АЦП: $\varphi_0 = 400$; $\varepsilon = 0,15$; $\mu = 2$. После подстановки этих значений в формулы (16) и (17) получим

$$\varphi_1 = \varphi_0(1 - \varepsilon) - \mu(2 - \varepsilon) = 336;$$

$$\varphi_2 = \varphi_1(1 - \varepsilon) - \mu(2 - \varepsilon) = 282;$$

$$\varphi_3 = \varphi_2(1 - \varepsilon) - \mu(2 - \varepsilon) = 236;$$

$$\varphi_{01} = \varphi_0 + \varphi_1 = 736;$$

$$\varphi_{12} = \varphi_1 + \varphi_2 = 618;$$

$$\varphi_{23} = \varphi_2 + \varphi_3 = 518.$$

Уравнение (19) примет вид

$$\begin{aligned} &\varepsilon^6(-736) + \varepsilon^5(6006) + \varepsilon^4(-15664) + \varepsilon^3(13192) + \\ &+ \varepsilon^2(1088) + \varepsilon(-2320) + 288 = 0. \end{aligned} \quad (20)$$

Решим уравнение (20), ограничившись сначала 1-й степенью ε , потом 2-й и т. д. Сравним значения ε , μ и φ_0 , полученные по формулам (17), (18), (19), с их истинными значениями.

Анализ табл. 1 показывает, что только уравнение 4-й степени (19) дает удовлетворительное согласование с истинными значениями ε , μ и φ_0 ($\varepsilon = 0,15$; $\mu = 2$; $\varphi_0 = 400$).

Таким образом, алгоритм расчета для оценки сухого трения сводится к следующим процедурам:

- 1) отбрасываем первые 2—3 колебания;
- 2) вычисляем суммы модулей φ_{01} , φ_{12} , φ_{23} ;
- 3) получаем параметр ε , решая уравнение (19);

Таблица 1

| Сте- пень ε | ε | μ | φ_0 |
|-------------------------------|---------------|-------|-------------|
| 1 | 0,1241 | 7,10 | 399,5 |
| 2 | 0,1324 | 5,50 | 399,6 |
| 3 | 0,1586 | 0,34 | 400,0 |
| 4 | 0,1508 | 1,90 | 400,0 |
| 5 | 0,1512 | 1,80 | 400,0 |

Таблица 2

| n | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|-----|------|-----|------|-----|------|
| φ_n | 266 | -219 | 188 | -155 | 132 | -108 |

4) находим μ по формуле (18);

5) определим D по формуле $D = \frac{1}{\pi} \ln \frac{1}{1-\varepsilon}$.

В табл. 2 приведены опытные данные для типографской бумаги № 2. Используя вышериведенный алгоритм расчета, получим:

$$\varepsilon = 0,1324; \quad \varphi_0 = 260; \quad \mu = 2,8; \quad D = 0,045.$$

Переведем μ из относительных единиц АЦП: $\mu = 7,5 \cdot 10^{-8}$ рад.

В табл. 3 представлено сопоставление экспериментальных углов отклонения $\varphi_{оп}$ для бумаги с углом отклонения, рассчитанного при наличии сухого $\varphi_{с.т}$ и эквивалентного $\varphi_{э.т}$ трения.

Таблица 3

| Пока- зате- ли | Значения показателей при различных n | | | | | |
|----------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $\varphi_{оп}$ | 260 | 221 | 187 | 156 | 131 | 109 |
| $\varphi_{с.т}$ | 260 | 221 | 186 | 157 | 131 | 109 |
| $\varphi_{э.т}$ | 260 | 219 | 184 | 154 | 130 | 109 |

По данным табл. 3 при наличии сухого трения имеем среднее квадратичное отклонение $\sigma_{с.т} = \sqrt{2}$, эквивалентного — $\sigma_{э.т} = 3\sqrt{2}$, т. е. в три раза больше. Таким образом, модель, учитывающая сухое трение,

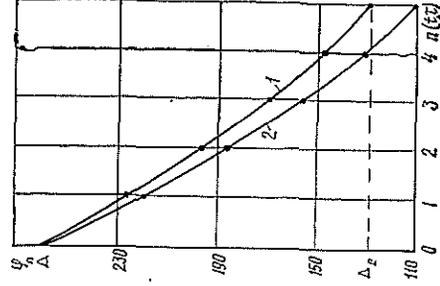


Рис. 4. Огибающие амплитуд за-
тухающих свободных колебаний
в бумаге с учетом только вязко-
го трения (1) и реальная огиба-
ющая (2)

гораздо ближе к поведению реального материала, чем модель с эквивалентным трением.

В заключение попробуем оценить вклад, который вносят в процессе затухания колебаний вязкое и сухое трение. На рис. 4 представлены графики огибающих амплитуд с учетом только вязкого трения (1) и реальной огибающей (2), подразумевающей наличие сухого трения. Как видно из рис. 4, вклад сухого трения существенно сказывается на амплитуде колебаний и уменьшает ее на 13 %.

Выводы

1. Впервые с помощью высокочастотного крутильного маятника типа КВАМ-1 дана количественная оценка сухого трения.
2. Разработана новая модификация амплитудных измерений, при которых знание истинного положения равновесия не обязательно.
3. Разработан алгоритм расчета параметров сухого и вязкого трения в гетерофазных материалах с учетом вклада малого параметра ϵ .
4. Установлена необходимость учета вклада сухого трения в процессы диссипации энергии в гетерофазных материалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Груздева Т. Н., Ерыхов Б. П., Наумов А. Н. Влияние синусоидальных сдвиговых напряжений на структуру бумаги. // Лесн. журн.—1991.—№ 4.— С. 82—85.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Ерыхов Б. П. Неразрушающие методы исследования целлюлозно-бумажных и древесных материалов.— М.: Лесн. пром-сть, 1987.— 226 с. [3]. ОСТ 13-163—83. Полуфабрикаты целлюлозно-бумажного производства. Бумата. Картон. Резонансный метод определения модуля сдвига и добротности.— М.: Изд-во стандартов, 1983.— 15 с. [4]. Поновко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара.— Л.: Политехника, 1990.— 272 с. [5]. Weidgand A. Einführung in die Berechnung mechanischer Schwingungen. Band 1.— Berlin, 1959.— 35 s.

Поступила 13 июля 1993 г.

УДК 676.084.2 : 661.872.9

Ю. Г. ХАБАРОВ, С. В. МАНАХОВА

Архангельский государственный технический университет

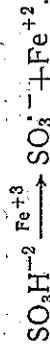
О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЛИГНОСУЛЬФОНОВЫХ КИСЛОТ С КАТИОНОМ ЖЕЛЕЗА (+3)

Рассмотрены возможные механизмы окислительно-восстановительных превращений и комплексообразования при получении железолигносульфонатных комплексов.

Possible mechanisms of oxidation-reduction transformations and complexing in ferri lignosulphonate complexes formation have been considered.

Лигносульфоновые кислоты (ЛСК), образующиеся в результате физико-химических превращений при сульфитной варке древесины, являются производными природных лигнинов. Макромолекулы ЛСК, кроме обычных функциональных групп лигнинов, содержат значительное число сульфогрупп различной степени кислотности. За счет этих групп ЛСК приобретают свойства, не характерные для лигнинов. К ним относятся способность образовывать комплексы с металлами переменной валентности. Такие производные можно применять в качестве микродобавок для различных сельскохозяйственных культур. Хорошая щелочерастворимость позволяет использовать их вместо синтетических (дорогостоящих и зачастую небезвредных) комплексонов.

Параллельно с окислением органического компонента идет процесс окисления сульфит-аниона в несколько ступеней. На первой образуется анион-радикал:



Свободные радикалы неустойчивы и с ними могут протекать разнообразные превращения.

В феноксильных радикалах за счет мезомерного эффекта неспаренный электрон делокализован по ароматическому ядру [4]. Основной реакцией феноксильных радикалов является способность их к рекомбинации. Известно, что такой процесс приводит к образованию С—С- и С—О-связей. Теоретически для полимерных феноксильных радикалов можно предположить два пути рекомбинации. Первый из них — межмолекулярная рекомбинация, которая приводит к увеличению молекулярной массы (ММ), второй — внутримолекулярная рекомбинация при подходящих стерических условиях, вследствие чего возрастает жесткость макромолекулы ЛСТ.

Кроме взаимной рекомбинации феноксильных радикалов может происходить перекрестная рекомбинация между органическими свободными радикалами и неорганическими анион-радикалами. В этом случае не должно происходить заметного увеличения молекулярной массы ЛСТ.

Окислительно-восстановительным превращениям в реакционной системе предшествуют процессы комплексообразования. В четырехкомпонентной системе они многообразны.

Взаимодействие ЛСК с $\text{Fe} (+3)$ в зависимости от условий может привести к образованию внутри- или межмолекулярных комплексов, что сопровождается изменением ММ. При небольших расходах $\text{Fe} (+3)$ наиболее вероятным представляется внутримолекулярное комплексообразование, не приводящее к большому изменению определяемой ММ. При больших расходах $\text{Fe} (+3)$, в дополнение к внутримолекулярному, начинают проявляться межмолекулярные взаимодействия, сопровождающиеся резким увеличением ММ.

В комплексообразовании с $\text{Fe} (+3)$ могут принимать участие и неорганические компоненты системы — гидроксид- и сульфит-анионы.

Роль гидроксид-иона в процессе получения ФЛС комплекса, по-видимому, состоит в том, что при возрастании рН увеличивается степень ионизации ионогенных групп. Макромолекула ЛСК становится полианионом, у которого конформация изменяется таким образом, чтобы в максимальной степени уменьшить силы электростатического отталкивания анионных центров полианиона. В результате повышается степень доступности макромолекулярного компонента реакционной системы.

Предполагаемый механизм химических превращений, протекающих при образовании ФЛС комплекса по разработанному нами способу, весьма сложен. Доказательство его правильности можно получить с помощью физико-химических методов: спектроскопии, потенциометрии, методов определения ММ.

Исследование ММ комплексов было проведено на ультрацентрифуге с использованием метода неустановившегося равновесия [3]. Полученные результаты хорошо согласуются с приведенными выше предположениями относительно возможного механизма реакции.

Об образовании комплекса также свидетельствует появление новых полос поглощения в электронных спектрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. А. С. 988823 СССР, МКИ С.07 G 1/00; С.07 F 15/02. Способ получения железносульфонатных комплексов / Ю. Г. Хабаров, Г. В. Комарова, Г. Ф. Прокшина. —

3282864/23—04; Заявл. 23.03.81; Опубл. 15.01.83 // Открытия. Изобрет.— 1983.— № 2.— С. 104. [2]. Боярская Р. К., Ромашенко Ж. И. Повышение обменной емкости сульфокатионитов на основе лигносульфонатов // 7-я Всесоюз. конф. по химии и использованию лигнина, Рига, 1987: Тез. докл.— Рига: Ин-т химии древесины, 1987.— С. 207—208. [3]. Манахова С. В., Хабаров Ю. Г., Соколов О. М. Исследование конденсационных процессов при получении органоминеральных удобрений на основе технических лигносульфонатов / Материалы междунар. конф. «Инженерные проблемы экологии» (Вологда, 8—1 июня 1983 г.)— РИО ВПИ, 1983.— С. 6—9. [4]. Терней А. Современная органическая химия. Т. 2 / Пер. с англ.— М.: Мир, 1981.— 651 с. [5]. Pat. 286808 DDR, МКК С 05 F 7/02. Verfahren zur Herstellung Von metalliglin sulfonathaltigen Düngemitteln / R. Schmidt, S. Rorpmann, W. Kölling, A. Stof, H. Böhm, K. Weisheit.— Заявл. 09.08.89; Опубл. 07.02.91. // Patent schrift.— DD 286808 A5. [6]. Pat. 2.929.700 USA, НКК 71-1. Composition and method of correcting nutrient deficiency in plants / J. P. Bennett // United States Patent Office.— Patented Mar. 22. 1960.— 10 p.

УДК 676.16 : 630*811.15

Поступила 10 ноября 1993 г.

И. С. ГЕЛЕС, Г. М. ЛЕВКИНА

Петрозаводский государственный университет

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ТРАХЕИД СОСНЫ И ЕЛИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СУЛЬФИТНОЙ ВАРКИ И СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОЙ НЕБЕЛЕНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Изучено состояние окаймленных пор в заболони и ядре сосны. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено положение о лучшей делигнификации безъядровой древесины сосны по сравнению с елью. Установлено, что небеленая сульфитная целлюлоза из древесных сосны имеет повышенную белизну.

The condition of bordered pits in sapwood and heartwood of pine has been examined. There has been theoretically grounded and experimentally proved the principle on the best delignification of coreless wood of pine compared with spruce. It has been stated that unbleached sulphate pulp of the above pine wood has increased whiteness.

Общим признаком древесины хвойных пород является преобладание в ней трахеид, составляющих 90 % и более. Для трахеид хвойных умеренной зоны характерно наличие окаймленных пор, замыкающая пленка которых имеет в центре утолщение — торус [11, 12]. Общепринято, что торус в паре пор, перекрывая одну из них, оказывает влияние на проникновение растворов. По мере удаления от камбия все большее число пор выводится из проведения потока жидкости. Изучение морфологии трахеид хвойных позволило выявить четыре положения торуса: центральное, сдвинутое, прилегающее и замыкающее [6]. Согласно данным этой работы, возникновение спелой древесины связано с резким уменьшением числа открытых пор. Подобное явление менее выражено у поздних трахеид даже после значительного снижения влажности древесины в центральной части. Причем установлено [13], что чем толще стенка трахеид поздней древесины, тем больше открытых пор.

Нужно отметить, что торус в замыкающем положении, перекрывая пору, достаточно прочно связан с окаймлением. На основании этого автор работы [10] делает вывод, что проницаемость ядровой древесины сосны и спелой ели не зависит от того, открыты или закрыты поры.

Одним из авторов данной работы на основании многочисленных оптического- и электронно-микроскопических наблюдений высказано предполо-

ложение [1, 2, 5], что удержание торусов связано с дополнительной лигнификацией кольцевой зоны прилегания их к окаймлению поры, так как торусы с разрывом в центре оставались в трахеидах или после сульфитной варки. Хотя система окаймленных пор характерна для всех хвойных, однако, такие породы, как ель и сосна, различаются системой пор. В месте контакта трахеид и паренхимных клеток сердцевинных лучей у ели существует несколько пицеоидных пор, у сосны — оконцевые поры [12].

Цель данной работы — выявить влияние структуры пор на процесс удаления лигнина при сульфитной варке древесины ели и сосны. Исходя из общности строения окаймленных пор, следовало ожидать в трахеидах сосны после варки присутствия торусов, которые легко можно обнаружить по их окраске красителями, используемыми для идентификации лигнина.

Исследования состояли из нескольких серий. В первой исходным материалом служила древесина 100-летней сосны, взятая в виде диска на высоте 1,3 м. Образцы для исследования отбирали из трех зон: первая (1₀) включает 5 годичных слоев заболони; вторая (2₀) — 20...25 годичных слоев заболони, считая от границы с камбием; третья (3₀) — 5 годичных слоев ядра, примыкающих к заболони. Из каждой зоны выкальвали по окружности пластинки длиной 23...25 мм (по оси трахеид), шириной 5...6 мм (радиальное направление) и толщиной 3...4 мм (тангентальное направление). Для стабилизации исходного положения мембран пор и их измененной после сульфитной варки из образцов нативной древесины и полученной массы отбирали препараты в виде «спичек» размерами 23 × 2 × 2 мм. Препараты без подсушки подвергали фиксации глутаральдегидом с последующей дофиксацией четырехокисью осмия, отмывали от избытка реагентов и обезживали, проводя через серию водных растворов этилового спирта возрастающей концентрации, вплоть до абсолютного. Обезвоженные препараты помещали в специальную смесь эпоксидных смол (эпон). После полимеризации или метиленового голубого, исследовали на ультрамикроскоме ЛКБ (Швеция).

В других сериях исходным материалом служила щепка из древесины сосны и ели в возрасте прореживания (30—40 лет), когда проводится основной вид рубок ухода в молодняках на Северо-Западе России [7]. После валки у деревьев удаляли крону, стволы окашивали вручную и на промышленных рубительных машинах получали технологическую щепу, которую порциями сортировали на анализаторе щепы АЛГ-М, отбрасывая крупную фракцию (остаток на сите с диаметром отверстия 30 мм) и мелкие опилки (менее 5 мм). После объединения кондиционной щепы и тщательного ее перемешивания отбирали среднюю пробу, которую хранили в герметичных условиях.

Щепу сосны и ели подвергали сульфитной варке с получением целлюлозы разной степени делигнификации. Небеленую целлюлозу окрашивали водным раствором указанных выше красителей и подсчитывали число трахеид, в том числе с сохранившимися торусами, согласно предложенной в работе [4] градации: неокрашенные, слабоокрашенные с торусами, сильноокрашенные и т. д.

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1—5.

Как следует из данных табл. 1, плотности древесины сосны и меры трахеид у двух зон заболони близки между собой. Кажущееся несоответствие между плотностью и долей поздней древесины для образцов 1₀ и 2₀ можно объяснить несколько меньшей толщиной оболочек трахеид у последнего. Начало ядровой части (3₀) отличается худшими

Таблица 1

Характеристика исходных образцов древесины сосны, отобранных на высоте 1,3 м (возраст деревьев 100 лет)

| Образец | Плотность, кг/м ³ | Доля | | Число годичных слоев в 1 см | Размеры трахеид | |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------|
| | | ядра, % от площади диска | поздней древесины, % | | Длина, мм | Диаметр, мкм |
| Диск | 486 | 32,2 | — | 6,0 | — | — |
| Заболонь: 1 ₀ | 500 | — | 20,8 | 6,6 | 2,66 | $\frac{57,9}{38,5}$ |
| | 2 ₀ | 498 | — | 9,5 | 2,82 | $\frac{59,0}{37,4}$ |
| Ядро 3 ₀ | 459 | 100,0 | 22,9 | 4,0 | 2,60 | $\frac{55,7}{35,9}$ |

* В числителе — данные для ранних трахеид, в знаменателе — для поздних.

Таблица 2
Химический состав образцов сосны*

| Образец | Выход, % от исходной абс. сухой древесины | Массовая концентрация, % | | | |
|-----------------------------|---|---|---------------------------------------|---|-----------------------|
| | | лигнина, % от абс. сухой проксиранной пробы | веществ, экстрагируемых спирто-бензол | в пересчете на обесмоленный материал, % от исходного количества в древесине | полисахаридов лигвина |
| Заболонь: 1 ₀ | 60,8 | $\frac{27,53}{5,91}$ | 3,21 3,14 | 100,0 81,7 | $\frac{100,0}{13,8}$ |
| | 61,3 | $\frac{27,59}{6,40}$ | 3,19 3,46 | 100,0 80,5 | $\frac{100,0}{14,6}$ |
| Ядро 3 ₀ | 65,5 | $\frac{27,98}{27,71}$ | 9,31 6,52 | 100,0 71,5 | $\frac{100,0}{60,0}$ |

* Здесь и далее в числителе представлены данные для материала до варки; в знаменателе — после варки.

значениями указанных параметров. Из результатов химического анализа (табл. 2) можно заключить, что у древесины указанных зон заболони отсутствует сколько-нибудь заметная разница в составе. Ядро характеризуется несколько большим содержанием лигнина и экстрактивных веществ.

Микроскопические наблюдения показали (табл. 3), что в заболони древесины сосны преобладают открытые поры, независимо от места отбора образца. Довольно значительный процент их обнаружен и в ядре, но в основном у поздних трахеид. У некоторых пор торус занимал промежуточное положение, т. е. был сдвинут в сторону одного из отверстий. После варки в заболони замыкающие оболочки имеют только у закрытых пор. При этом нужно отметить, что сохранялась целостность ткани и, следовательно, разрушение маргинальной зоны и исчезновение

Таблица 3

Характеристика состояния
окаймленных пор трахеид сосны

| Образец | Общее число учтенных латеральных пор* | Доля пор, %, с расположением торуса | | | | |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------|-------------|------------|--------------------------|
| | | центральным | сдвигнутым | примыкающим | всмыкающим | без замыкающих элементов |
| Заболонь: | 493 | 90,7 | 6,1 | 2,8 | 0,4 | — |
| 1 ₀ | 139 | — | — | — | 15,1 | 84,9 |
| 2 ₀ | 245 | 86,5 | 10,1 | 1,2 | 2,2 | — |
| | 261 | — | — | — | 31,0 | 69,0 |
| Ядро 3 ₀ | 144 | 25,7 | — | 2,1 | 72,2 | — |
| | 268 | 2,2 | 3,4 | 3,4 | 91,0 | — |

* Доля пор у образца 3₀ получена для поздних трахеид с центральным расположением торуса.

мембран пор обусловлено процессом варки. В целлюлозе из средней части заболони (2₀) по сравнению с наружной (1₀) число пор с сохранившимся торусом в 2 раза больше. Это согласуется с данными о повышенном содержании в ней лигнина. Учитывая идентичность таких характеристик, как плотность и химический состав образцов исходной древесины (1₀, 2₀), возникшие различия можно с достаточным основанием связать с морфологическим фактором — положением поровых мембран. В ядре у части поздних трахеид они были обнаружены и в центральном положении.

При оценке полученных результатов следует учесть, что выход целлюлозной массы после варки колеблется в пределах 60,8...65,5 % от исходной древесины. Причем массы из заболони и ядра имеют существенные различия в химическом составе. У первой подавляющая часть лигнина перешла в раствор, у второй больше половины его количества осталось в материале после варки (см. табл. 2). Таким образом, процессы делигнификации заболони и ядра в одних и тех же условиях варки протекали по-разному, что нашло отражение в изменении морфологической структуры трахеид. На основании изучения многочисленных образцов небеленой сульфитной целлюлозы можно сделать заключение, что изменения в строении пор у сосны и ели аналогичны — чем

Таблица 4

Зависимость между степенью делигнификации небеленой сульфитной целлюлозы и долей трахеид разной степени изменения

| Порода | Продолжительность стоянки при температуре 140 °С, мин | Степень делигнификации | Белизна, % | Доля трахеид, % | | | сильно окаймленных |
|--------|---|------------------------|------------|-----------------|---|-------------|--------------------|
| | | | | неокрашенных | неокрашенных или слабоокрашенных с торусами | окаймленных | |
| Ель | 40 | 38,2 | 48,0 | 12,2 | 18,4 | 15,3 | 8,2 |
| | 65 | 24,9 | 53,6 | 39,4 | 15,2 | 12,6 | 16,3 |
| Сосна | 40 | 32,2 | 59,8 | 57,5 | 1,0 | 0,6 | 36,3 |
| | 65 | 15,6 | 64,9 | 66,8 | — | — | 33,2 |
| | | | | | | | 45,9 |
| | | | | | | | 16,5 |
| | | | | | | | 4,6 |
| | | | | | | | — |

выше степень делигнификации, тем меньше остается замыкающих оболочек.

Так как заболонь сосны содержит больше открытых пор по сравнению с елью, нами было выдвинуто предположение, что в одних и тех же условиях варки их трахеиды должны различаться между собой по содержанию остатков замыкающих мембран. Исходя из этого были проведены в одних и тех же условиях варки щепы ели и сосны примерно одного и того возраста (около 40 лет) из окрестностей г. Петрозаводска. У сосны ядрообразование начинается обычно после сорока лет [8]. Согласно данным [9] районы средней и южной Карелии не являются исключением. Так, у сосны в возрасте 70 лет ядро составляет 18,3 % (Медвежьегорский лесхоз), а 130 лет — 32,1 % (Олонецкий лесхоз).

Для исследования было выбрано 3 дерева сосны и 4 ели в возрасте рубок прореживания, имеющих соответственно следующие характеристики: высота 13,8 и 6,2 м; диаметр без коры 90,6 и 53,7 мм; доля кроны от массы ствола 11,5 и 98,6 %; число годовых слоев на высоте пня 38 и 35, на высоте 1,3 м — 31 и 22; на высоте 1,3 м число годовых слоев в 1 см — 6,9 и 8,0; доля поздней древесины 31,0 и 26,6 %, условная плотность 370 кг/м³.

Из приведенных характеристик деревьев следует, что сосна значительно превосходит ель как по высоте, так и по диаметру, но такие показатели, как плотность и макроструктура, у них идентичны или близки, что имеет решающее значение для данных исследований. У полученной небеленой сульфитной целлюлозы наряду с обычными показателями определяли содержание трахеид разной градации [4].

Из данных табл. 4 следует, что в идентичных условиях безыдровая древесина сосны проваривается лучше ели и дает целлюлозу с меньшим значением степени делигнификации и повышенной белизной. Это согласуется с результатами микроскопических исследований (табл. 5), в соответствии с которыми у небеленой целлюлозы из сосны преобладают трахеиды, не содержащие остатков поровых мембран, в том числе торусов, тогда как у еловой целлюлозы трахеиды с торусами составляют значительный процент. Более того, у трахеид ели замыкающие пленки пидеонидных пор остаются лигнифицированными, в то время как у сосны оконцевые поры не содержат лигнина. Определенные различия

Таблица 5

Характеристика небеленой сульфитной целлюлозы (возраст деревьев 30—100 лет)

| Порода | Продолжительность стоянки при температуре 140°C, мин | Выход, % от исходной абс. сухой древесины | | Степень делигнификации | Белизна, % | Массовая концентрация | |
|--------|--|---|-------------|------------------------|------------|---|---|
| | | сортостоян-ной мас-сы | непродовара | | | лигнина, % от абс. сухой экстрагированной пробы | веществ, гире-мыш, спирто-бензол-ом (1:2), % от исходного абс. су-хого ма-териала |
| | | | | | | | |
| Ель | 45 | 49,3 | — | 49,3 | 54,7 | 7,83 | 1,07 |
| | 75 | 47,6 | — | 47,6 | 59,1 | 4,30 | 1,21 |
| Сосна | 45 | 52,5 | 0,5 | 53,0 | 58,5 | 5,65 | — |
| | 50* | — | — | — | 67,9 | 2,35 | 1,55 |
| | 75 | 49,4 | 0,3 | 49,7 | 66,3 | 3,10 | 1,70 |

* Для варки использована щепка из отходов лесопиления.

наблюдаются и в делигнификации поздних трахеид. Если у небеленой еловой целлюлозы преобладают сильноокрашенные волокна и их число весьма велико, то у основных преобладают менее окрашенные трахеиды, у которых можно различить детали строения, в том числе присутствующие замыкающие пленки. Снижение содержания различных лингнифицированных структурных элементов трахеид у сосны привело к улучшению белизны полученных целлюлоз по сравнению с елью.

Таким образом, экспериментально подтверждено положение о различии влияния и изменения морфологической структуры трахеид ели и сосны при сульфитной варке.

В табл. 5 приведены результаты анализа небеленой сульфитной целлюлозы из технологической щепы, полученной из отходов лесопильничия Петрозаводского ДСК. Щепка представляла собой заболонную часть ствола. При сульфитной варке достигнуты высокие степени делигнификации и белизна. Судя по литературным данным и собственным экспериментам, столь высокого значения белизны невозможно достичь при сульфитной варке еловой древесины. В то же время целлюлоза из ели содержит меньше смол и жиров, что имеет немаловажное значение при переработке волокнистых полуфабрикатов.

На основании полученных результатов можно заключить, что у трахеид сосны меньше закрытых пор и торусы менее прочно связаны с окаймлением. Это обуславливает более полное удаление замыкающих пленок при проведении варочного процесса. Кроме того, наличие у трахеид сосны оконцевых пор, пленка которых не лингнифицирована, также улучшает процесс проникновения варочных растворов и ускоряет делигнификацию. Все это приводит к тому, что трахеиды небеленой целлюлозы из безъядровой древесины сосны содержат меньше остаточного лигнина и, соответственно, имеют повышенную белизну по сравнению с трахеидами аналогичной целлюлозы из ели. Не учитывая повышенное содержание смол и жиров, можно признать, что небеленая сосновая сульфитная целлюлоза более пригодна для отбелки, так как требует меньше отбеливающих реагентов и должна иметь лучшую фильтруемость за счет снижения содержания геле-частец [3]. Следовательно, морфология трахеид является реальным фактором, обуславливающим результаты процесса делигнификации и свойства получаемой целлюлозы.

Таким образом, нами теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены некоторые преимущества безъядровой древесины сосны по сравнению с елью, что несколько расходит с известными представлениями о свойствах древесного сырья, проявляемых при сульфитной варке. Проблема обессмоливания сосновой небеленой целлюлозы, определяющая возможность ее использования в производстве бумаги, будет рассмотрена в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Аким Л. Е., Гелес И. С. О некоторых измененных морфологической структуры волокон еловой древесины в процессе сульфитной варки. Сообщение 1. // *Тр. / ЛТИ ЦБП.*— Вып. 23.— С. 46—58. [2]. Аким Л. Е., Гелес И. С. О некоторых измененных морфологической структуры волокон еловой древесины в процессе сульфитной варки. Сообщение 2. // *Тр. / ЛТИ ЦБП.*— 1970.— Вып. 25.— С. 18—25. [3]. Гелес И. С. К вопросу о влиянии морфологической структуры волокна на образование геле-частец // *Лесн. журн.*— 1968.— № 1.— С. 134—137.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Гелес И. С. О связи морфологической структуры трахеид еловой древесины с содержанием лигнина в небеленых сульфитных целлюлозах // *Химия древесины.*— 1975.— № 3.— С. 19—24. [5]. Гелес И. С. Электронно-микроскопическое изучения строения пор трахеид еловой древесины // *Лесн. журн.*— 1968.— № 2.— С. 157.— (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Джаридзе Л. И., Брегадзе Н. Н. Особенности в смещении торусов при возникновении спелой древесины: Материалы к изучению спелой древесины. Сообщение 7. // *Ботан. журн. СССР.*— 1940.— Т. 25, № 4—5.— С. 310—316. [7]. Казимиров Н. И. Наставление по рубкам ух-

да в лесах КАССР.—Петроаводск: Мин-во лесн. хоз-ва КАССР, Ин-т леса КФ АН СССР, 1970.—32 с. [8]. Орлов И. И. Ядрообразование у сосны обыкновенной // Лесн. хоз-во.—1951.—№ 12.—С. 55—58. [9]. Федоров Р. Б. Влияние географического положения на содержание ядровой древесины в стволах сосны обыкновенной // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов Европейско-Уральской зоны.—Л.: ЛТА, 1983.—С. 157—159. [10]. Харук Е. В. Влияние положения торуса на проницаемость древесины // Исследования в области древесины и древесных материалов.—Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1967.—С. 30—39. [11]. Эсау К. Анатомия растений.—М.: Мир, 1969.—564 с. [12]. Яценко-Хмельевский А. А. Краткий курс анатомии растений.—М.: Высш. шк., 1961.—282 с. [13]. Яценко-Хмельевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины.—М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954.—338 с.

УДК 676.16 : 630*378.4

Поступила 23 марта 1994 г.

Ф. Х. ХАКИМОВА, Т. Н. КОВТУН

Пермский государственный технический университет

И. Г. ИЗЮМОВ

Пермское АО «Алур»

КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Показана возможность получения из древесины топяка сульфитной, бисульфитной и сульфатной целлюлозы с хорошими прочностными показателями. Отбелка сульфитной и бисульфитной целлюлозы позволила получить целлюлозу с белизной 84...86 %.

The possibility of producing sunk wood sulphite, bisulphite and sulphate pulp with good strength properties has been revealed. Sulphite and bisulphite pulp bleaching made it possible to produce pulp of 84...86% whiteness.

Вопросы комплексного использования лесосырьевых ресурсов страны актуальны и требуют к себе пристального внимания ученых и производственников. В водоемах, по которым сплавляется лес, велико количество топялой древесины (топяка). Одним из вариантов повышения эффективности использования древесины и расширения сырьевой базы целлюлозно-бумажных предприятий является подъем этой древесины из воды и ее использование для получения целлюлозы и полуцеллюлозы — полуфабрикатов бумажного и картонного производств.

В связи с этим нами исследована возможность получения из древесины топяка целлюлозы различными способами варки (сульфитным, бисульфитным, сульфатным).

Для опытов использовали щепу следующих образцов древесины топяка: 1 — щепя нарублена непосредственно перед проведением исследований в январе 1993 г. (древесина после подъема из воды хранилась в виде длинника); 2 — щепя нарублена в июне — июле 1992 г. (хранилась в кучах до января 1993 г.); 3 — щепя с четко неустановленным сроком рубки и хранения. Поскольку древесина топяка в основном березовая, для сравнения брали щепу балансовой древесины березы, полученную на Пермском ЦБК.

Щепя для варок не была отсортирована по длине и толщине и имела включения бересты, т. к. получена из неокоренной древесины. До проведения варок предварительно выполнен химический анализ исследуемых образцов древесины. Данные в процентах представлены в табл. 1.

Доля в древесине экстрактивных веществ (смолы и жиры) — показатель, сказывающийся на качестве сульфитной целлюлозы и на пригодности ее для дальнейшей переработки. По этому показателю заметно отличается образец 1 (наибольшее содержание). Образцы 2 и 3, хранившиеся в виде щепы, содержат экстрактивных веществ значительно меньше, т. е. можно считать, что хранение древесины топляка в виде щепы положительно сказывается на снижении доли экстрактивных веществ.

В табл. 2 приведены результаты лабораторных сульфитных варок исследуемых образцов древесины топляка и балансовой древесины березы. Конечная температура варки 135 °С. Получены образцы целлюлозы различной степени провара. Как показал эксперимент, сульфитные варки древесины топляка проходят без затруднений. Однако полученная древесина целлюлозы имеет темный цвет (белизна 49...56 %) и не может быть использована без отбелики в композиции газетной бумаги. Но ее можно применять в композиции бумаг, к белизне которых не предъявляются высокие требования (например, оберточная бумага и картон).

При получении целлюлозы одинаковой степени провара древесины топляка варится несколько дольше (на 20...30 мин), чем балансовая древесина березы (сравнить варки 5, 6 и 9 в табл. 2). По этому показателю сравниваемые образцы древесины топляка различаются значительно. Выход целлюлозы из древесины топляка на том же уровне, а в ряде случаев даже выше, чем из балансовой древесины березы, что является положительным результатом.

Массовая доля экстрактивных веществ в целлюлозе из древесины топляка несколько ниже, чем из балансовой древесины березы. Для всех сравниваемых образцов этот показатель превышает требования ГОСТ 6501 на небеленую сульфитную целлюлозу из хвойной древесины (1,5 %).

Сульфитная целлюлоза из березовой древесины топляка имеет показатели механической прочности выше, чем соответствующие для целлюлозы из балансовой древесины березы. Так, по показателю разрывной длины образцы целлюлозы из топляка удовлетворяют требованиям ГОСТ 6501 на сульфитную целлюлозу любых марок из хвойной древесины.

Результаты бисульфитных варок исследуемых образцов представлены в табл. 3. Конечная температура варки составляла 160 °С, что привело к сокращению ее продолжительности (при одинаковой степени провара) по сравнению с сульфитной варкой на 60...80 мин. Белизна бисульфитной целлюлозы из топляка такая же, как и сульфитной. Продолжительность бисульфитной варки до получения целлюлозы аналогичной степени провара для древесины топляка и балансовой березовой древесины различается незначительно. Величины выхода сравниваемых образцов целлюлозы находятся в соответствии со степенью провара.

Выходы бисульфитной и сульфитной целлюлозы одинаковой степени провара из древесины топляка находятся на одном уровне (сравнить варки 3 и 4 в табл. 2; 11 и 12 в табл. 3).

Содержание экстрактивных веществ в небеленой бисульфитной целлюлозе из топляка несколько выше (на 0,5 %), чем в целлюлозе из балансовой древесины березы.

Бисульфитная целлюлоза имеет высокие механические показатели. По разрывной длине и сопротивлению продавливанию образцы соответствуют требованиям ГОСТ 6501 на целлюлозу из хвойной древесины. Сопротивление излому ниже требований ГОСТа для хвойной древесины, т. к. исследовалась лиственная древесина.

Таблица 5

| Но- мер схе- мы от- вет- ств. кн | Номер парки | Образец древесины | Степень прораба небелен- ной цел- люлозы, п. е. | Общий расход лепной цел- люлозы, % | Выход це- люлозы, % | | Белзна | | Тип- порт- лен- ный | Пе- рен- сия в целлю- лозу, % | Массо- вая доля экстрак- тивных веществ, % | Механические показатели | |
|---|----------------|----------------------|--|--|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|---|---|--------------------------------|---|
| | | | | | от лепной целлю- лозы | от небелен- ной цел- люлозы | до от- вет- ств. кн | от- вет- ств. кн | | | | Папир- ная дли- на, м | Сопотрявление продав- ная дли- на, кПа ч. д. л. |

| Сульфитная целлюлоза | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|--------------------------------------|-----|------|------|------|----|----|----|------|------|------|-----|------|
| Бисульфитная целлюлоза | | | | | | | | | | | | | | |
| Сульфатная целлюлоза | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 + 4 | 1 | 8,5 | 89,9 | 46,1 | 44,6 | 55 | 82 | 27 | 3,15 | 1,59 | 8380 | 340 | 340 |
| 2 | 7 | 2 | 7,0 | 91,3 | 46,5 | 44,3 | 49 | 84 | 35 | 1,96 | 1,44 | 7730 | 330 | 530 |
| 3 | 8 | 3 | 7,5 | 91,1 | 48,9 | 46,6 | 49 | 85 | 36 | 2,26 | 1,53 | 7650 | 310 | 660 |
| 4 | 9 | Балансовая древесина на березы | 5,3 | 91,4 | 42,6 | 42,0 | 58 | 88 | 30 | 0,96 | 1,70 | 7830 | 320 | 550 |
| 5 | 11 + 12 | Топляк 1 | 8,0 | 90,0 | 46,4 | 45,6 | 55 | 84 | 29 | 2,16 | 1,88 | 8060 | 310 | 750 |
| 6 | 13 | Балансовая древесина на березы | 9,0 | 89,3 | 45,9 | 44,5 | 61 | 86 | 25 | 1,22 | 1,00 | 9020 | 350 | 870 |
| 107 | 1 | Топляк: | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 9830 | 420 | 1960 |
| 120 | 2 | Топляк: | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 8810 | 490 | 1510 |

Примечание. В числителе приведены данные для небеленой целлюлозы, в знаменателе — для белой.

Отделка сульфитной и бисульфитной целлюлозы проведена по схеме, традиционно используемой на сульфит-целлюлозных заводах — Х-Щ-Х-Щ-Г-Г-К. При отделке на первой ступени щелочения в качестве ПАВ добавляли тринатрийфосфат в количестве 1 % от массы волокон. Условия и результаты отделки приведены в табл. 5.

Белизна небеленой сульфитной целлюлозы из образца 1 заметно выше (55 %), чем из образцов 2 и 3 (49 %), и близка к целлюлозе из балансовой древесины березы (58 %). Однако низкая белизна образцов 2 и 3 не ухудшает их белимость. На отбелку образцов 2 и 3 до белизны 84...85 % расход активного хлора был ниже, чем на образец 1 до белизны 82 %, имеющий близкую жесткость.

Как следует из данных табл. 5, сульфитную и бисульфитную целлюлозу из древесины топыляка можно отбелить без затруднений до белизны 84...85 %, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 3914 на марки целлюлозы В, Б-1, Б-11.

Показатель реверсии белизны (склонность к пожелтению или старению) выше у образцов беленой целлюлозы из древесины топыляка. Эти образцы отличаются от целлюлозы из балансовой древесины повышенным содержанием экстрактивных веществ. По этому показателю целлюлоза как из топыляка, так и сульфитная из балансовой древесины березы не соответствует требованиям ГОСТ 3914 на беленую сульфитную целлюлозу из хвойной древесины (не более 1 %). Следовательно, для использования их в производстве бумаги требуются дополнительные меры по снижению доли смол и жиров в целлюлозе. Нами для этих целей использовано, как указано выше, добавление тринагрийфосфата. Введение его только на первой ступени щелочной обработки целлюлозы не позволило достичь желаемого результата — доля экстрактивных веществ в беленой целлюлозе осталась повышенной (1,4...1,7 %).

Показатели механической прочности образцов беленой целлюлозы из топыляка довольно высоки. По разрывной длине и сопротивлению излому они удовлетворяют требованиям ГОСТ 3914 почти на все марки (за исключением АК-I и АК-II) беленой целлюлозы из хвойной древесины. По показателю разрывной длины беленая сульфитная целлюлоза из топыляка лучше, чем целлюлоза из балансовой древесины березы. Отбелка последней проведена до высокой белизны (88 %). Вероятно, в процессе отбелки этот образец подвергся большей окислительной деструкции.

Показатель сопротивления излому для бисульфитной целлюлозы значительно выше, чем для сульфитной.

Поскольку сульфатный способ варки является более универсальным и требования к качеству сырья для сульфатной варки не такие высокие, как для сульфитной, нами проведены две сульфатные варки древесины топыляка с расходом активной щелочи 18 % и сульфидность варочного щелока 25 % при температуре 170 °С. Продолжительность варок 180 и 170 мин. Получено два образца со степенью делигнификации 22 и 35 и хорошим выходом целлюлозы (51,4 и 49,4 %). Непровар составил 2,2 и 6,3 %. По показателям разрывной длины и сопротивлению продавливанию образцы сульфатной целлюлозы из топыляка соответствуют требованиям ГОСТ 11208 на сульфатную целлюлозу из хвойной древесины.

Выводы

1. Древесина топыляка березы может быть использована для получения сульфитной, бисульфитной и сульфатной целлюлозы. Варки проходят без затруднений. Полученная целлюлоза имеет показатели механической прочности, не уступающие показателям целлюлозы из балансовой древесины березы.
2. Как беленая, так и небеленая сульфитная целлюлоза из древесины топыляка отличается повышенным содержанием экстрактивных веществ.

3. Сульфитная и бисульфитная целлюлоза из древесины топлиака белится без затруднений при сохранении высоких прочностных показателей.

УДК 581.116

Поступила 9 ноября 1993 г.

И. Я. КИСЕЛЕВ

С.-Петербургская лесотехническая академия

МЕХАНИЗМ ФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ ДЕНАТУРАЦИИ ФЕРМЕНТОВ

Показано, что даже незначительное содержание в растворе формальдегида снижает активность фермента каталазы, что связано с денатурацией белка-фермента по механизму, установленному с помощью ИК-спектроскопии.

It has been shown that even slight formaldehyde content of the solution reduces the catalase activity that is related to protein-forment denaturation by IR-spectroscopy mechanism.

В живой клетке имеется свыше двух тысяч специфических ферментов [1, 2, 5].

Повышенная температура, органические растворители и др. вызывают разрыв химических связей в молекуле белка-фермента. Происходит денатурация, т. е. изменение его структуры, и потеря им каталитической активности [3—6]. Известно, что формальдегид CH_2O свертывает белки, делая их более твердыми [7].

Цель данной работы — изучить механизм формальдегидной денатурации ферментов зеленых листьев древесных растений.

Для эксперимента брали 250 мг мелконарезанного зеленого листа клена остролистного влажностью 75...80%. Навеску помещали в стаканчик вместимостью 50 мл и наливали 25 мл водного раствора CH_2O (для контрольного опыта прибавляли 25 мл дистиллированной воды). Экстракцию ферментов производили при комнатной температуре и однократной интенсивности перемешивания раствора мешалкой в течение 1 ч. При этом водорастворимые ферменты переходят в раствор и реагируют с формальдегидом.

Экстракт отделяли на сечтатом фильтре. Затем изучали каталитическую активность содержащихся в экстракте ферментов. Экстракт помещали в колбу газоволюмометрической установки и прибавляли к нему 20 мл 15%-го водного раствора пероксида водорода H_2O_2 [3]. Продолжительность опыта при постоянном перемешивании раствора

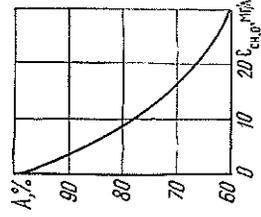


Рис. 1. Зависимость активности А фермента каталазы зеленых листьев клёна остролистного от массовой доли формальдегида $\text{C}_{\text{CH}_2\text{O}}$ в растворе

15 мин. Реакция разложения H_2O_2 на молекулярный кислород и воду катализируется ферментом каталазой. Каталитическую активность фермента оценивали объемом выделившегося кислорода, приведенного к нормальным условиям.

Активность фермента, содержащегося в контрольном экстракте, принята за 100 %.

На рис. 1 представлена зависимость активности *A* фермента каталазы от содержания формальдегида в растворе. Как видно из рис. 1, даже незначительное количество формальдегида (5 мг/л) понижает активность каталазы примерно на 15 %. Увеличение формальдегида в растворе до 30 мг/л инактивирует фермент на 40 %.

Понижение каталитической активности обусловлено структурными изменениями, т. е. денатурацией молекулы белка-фермента. Эффект денатурации в непосредственной близости от активного центра влияет на характер взаимодействия фермент—субстрат. Известно, что при денатурации белка проявляется гипсохромный эффект [5].

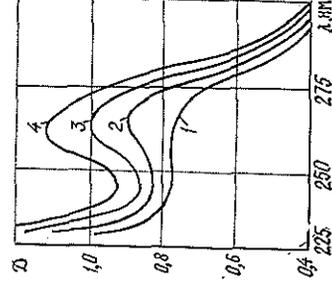


Рис. 2. УФ-спектры поглощения водных экстрактов зеленых листьев клевера остролистного с различной массовой долей формальдегида в экстракте 1 — 0; 2 — 10; 3 — 20; 4 — 30 мг/л

На рис. 2 представлены УФ-спектры поглощения водных экстрактов. Увеличение светопоглощения *D* в ультрафиолетовой области спектра (~ 260 нм) обусловлено денатурацией белков-ферментов. Максимальная длина волны λ_{max} смещается от 270 (в виде плеча) до 260 нм по мере увеличения содержания формальдегида. Кроме того, возрастает интенсивность поглощения.

Для изучения механизма процесса формальдегидной денатурации использовали легкодоступный белок альбумин. Образцы обрабатывали 20 %-м водным раствором CH_2O и подвергали термической обработке в течение 2 ч при температуре 110 °С. Контрольный образец подвергали только термической обработке при данной температуре. В этом случае протекает только процесс температурной денатурации белка.

Для выяснения строения исследуемых образцов белка были сняты ИК-спектры на спектрофотометре UR-20 в области 800...1800 см^{-1} (образцы в виде таблеток с KBr). На рис. 3 представлен ИК-спектр денатурированного белка. Интерпретацию спектра производили согласно [8]. В ИК-спектре образца после формальдегидной и термической обработки (кривая 2) обнаружены следующие колебательные частоты ν , см^{-1} : 940, 1030, 1090, 1240, 1380, 1450, 1530, 1650.

ИК-спектр контрольного образца (кривая 1) резко отличается от исследуемого. Особый интерес представляет полоса поглощения при 1550 см^{-1} .

Область спектра 900...1300 см^{-1} очень важна. Здесь проявляется поглощение O—H-группы. Наблюдается полоса поглощения при 1240 см^{-1} , являющаяся результатом взаимодействия между деформационными колебаниями O—H и валентными колебаниями C—O.

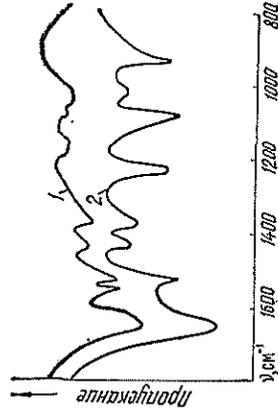
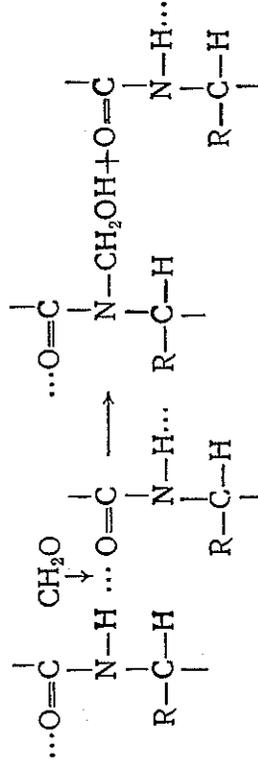


Рис. 3. ИК-спектры белка альбумина: 1 — после термической обработки при 110 °С; 2 — после предварительной обработки 20 %-м водным раствором формальдегида и последующей термической обработки при 110 °С

Полосы поглощения при 1090, 1030, 940 см^{-1} относятся к валентным колебаниям С—О, при 1530, 1450, 1380 см^{-1} — С—N.

Полоса поглощения 1550 см^{-1} (кривая 1) обусловлена взаимодействием между деформационными колебаниями N—H и валентными колебаниями С—N группы С—N—H.

Полоса поглощения карбонильной группы С=О наблюдается при 1650 см^{-1} . Отсутствие поглощения при 1550 см^{-1} (кривая 2) связано с протеканием химической реакции при участии N—H-группы, вследствие чего в молекуле белка появляется гидроксильная группа О—Н. Вероятно, полярные молекулы формальдегида адсорбируются и химически взаимодействуют с пептидной связью молекулы белка по следующей схеме:



При этом разрывается водородная связь, закрепляющая спираль полипептидной цепи, и образуется гидроксометильная группа —СН₂ОН при атоме азота.

Все это ведет к нарушению структуры молекулы белка, в чем и проявляется эффект формальдегидной денатурации.

Было замечено, что белок после формальдегидной обработки обладает повышенной термической стойкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Де Дюв К. Путешествие в мир живой клетки // Пер. с англ.—М.: Мир, 1987.—256 с. [2]. Добрынина В. И. Биологическая химия.—М.: Медицина, 1976.—504 с. [3]. Киселев И. Я. Содержание формальдегида в листьях древесных растений // Лесн. журн.—1992.—№ 1.—С. 129—131.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Крамер П. Д., Козловский Т. Т. Физиология древесных растений // Пер. с англ.—М.: Лесн. пром-сть, 1983.—464 с. [5]. Кротович В. Л. Биохимия растений // Учеб. для биол. фак. ун-тов.—М.: Высш. шк., 1980.—445 с. [6]. Овчинников Ю. А. Биоорганическая химия.—М.: Просвещение, 1987.—815 с. [7]. Огородников С. К. Формальдегид.—Л.: Химия, 1984.—271 с. [8]. Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений // Пер. с англ.; Под ред. А. А. Мальцева.—М.: Мир, 1977.—590 с.

Поступила 18 октября 1993 г.

УДК 658.27

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Л. Б. ИВАНОВ

С.-Петербургская лесотехническая академия

ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

В целях определения возможностей предприятия в условиях рыночной конкуренции предложено применить понятие экономического потенциала. Приведены основные методические положения с учетом новых реальностей.

It has been suggested using a concept of economic potential for determining an enterprise possibilities of competing against on the market. The methodical principles with reference to realities are given.

Составным элементом производственного менеджмента в зарубежном бизнесе является стратегия управления потенциалом предприятия, определяющая успех предпринимательства. В отечественной практике управления понятие потенциала ранее не применялось. Изредка оно встречалось в научной литературе, однако разные авторы давали ему двойное толкование: как ресурсы, вовлеченные в производство или как результат их использования.

Переход к рыночным отношениям и развитие конкуренции требуют формирования стратегии поведения предприятия на рынке, которая зависит от его потенциала, конкурентоспособности и уровня использования, имеющихся резервов, потерь, долго- и краткосрочных целей развития [2]. Поэтому понятие потенциала предприятия, методы его расчета и показателей использования представляют научный и практический интерес. В этой проблеме следует различать концептуальный и расчетный аспекты.

Системный подход дает множество определений, раскрывающих с разных сторон понятие потенциал предприятия: трудовой, производственный, экономический, научно-технический и др. Экономическая компонента здесь имеет определяющее значение.

В предпринимательской деятельности важен экономический потенциал предприятия (фирма, компания, акционерное или государственное предприятие и др.).

В 1981 г. нами разработаны понятие экономического потенциала, методы расчета и показатели использования применительно к оценке эффективности управления предприятием [1].

Под экономическим потенциалом предприятия (ЭПП) понимается выраженная в стоимостной форме сумма ресурсов, включающих авансированные ресурсы средств труда, предметов труда и рабочей силы, которые могут быть использованы для производства продукции и оказания услуг.

Стоимостная оценка совокупных ресурсов предприятия определяет его экономическую сторону. В ней опосредованы технический уровень, сложность технологии, мощность предприятия, фондовооруженность, рабочая сила и т. д.

Модель экономического потенциала в терминах рыночной экономики выглядит так: основной капитал + оборотный капитал + «человеческий капитал» = экономический потенциал предприятия. То же в принятой у нас терминологии: основные фонды + оборотные средства + ресурсы рабочей силы = экономический потенциал предприятия.

Количественно ЭПП определяется как сумма трех составляющих (основные фонды, оборотные средства и ресурсы оплаты труда), выражающих три основных элемента производства в их стоимостной оценке и приведенных в сопоставимый вид как примененные ресурсы:

$$Q = q_0 + q_n + q_p, \quad (1)$$

где Q — экономический потенциал предприятия, млн р.;

q_0 — среднегодовая остаточная стоимость основных производственных фондов, млн р.;

q_n — среднегодовой остаток материальных фондов в составе нормируемых оборотных средств, млн р.;

q_p — примененные ресурсы оплаты труда, млн р.

Основные фонды, как примененные ресурсы, определяются по их остаточной стоимости, учитывающей физический износ и затраты на частичное восстановление. Они выражают сохраняющуюся стоимость, которая может быть перенесена на готовую продукцию в процессе эксплуатации основных средств.

В оценке оборотных средств учитывается лишь стоимость материальных оборотных фондов. Из суммы оборотных средств исключаются стоимость ресурсов оплаты труда и амортизация, так как это не ресурсы, а затраты их, ибо входящие в состав оборотных средств производственные запасы, незавершенное производство и готовая продукция учитываются по производственной себестоимости. Тем самым из оборотных средств выделяются ресурсы оплаты труда, которые составляют самостоятельную часть потенциала предприятия, а также амортизация, отражающая износ основных фондов.

Ресурс рабочей силы может быть выражен путем вычленения издержек на заработную плату из состава оборотных средств предприятия. Проще его получить как отношение фонда потребления (оплата труда), например за год, к коэффициенту оборачиваемости нормируемых оборотных средств.

Полнога оценки ЭПП и ее точность зависят от показателей, выражающих три его составные части. Если первые две могут быть получены сравнительно легко, то человеческий потенциал учитывается лишь частично и не напрямую, хотя является самостоятельным и главным фактором производства. Его оценка должна включать также вложения на здравоохранение, повышение квалификации и др., направленные на улучшение качества рабочей силы.

Структура экономического потенциала предприятия и тенденции в ее изменении очень важны для оценки технического прогресса и поиска оптимального соотношения ресурсов на каждом историческом этапе развития предприятия, прогнозирования и управления им. Так, снижение отношения примененной рабочей силы как ресурса оплаты труда к стоимости производственных фондов ($q_p/q_0 + q_n$) относится к числу основных показателей роста производительности труда, отражающих его фондовооруженность.

Качественная сторона ЭПП раскрывается в процессе его использования. Нами обоснованы следующие группы показателей: полнота, уровень и эффективность использования ЭПП, а также его неиспользованных резервов.

Показатели ЭПП Q_0 и полноты его использования (Q_p , Q_s и Q_n) соотносятся между собой как

$$Q_0 \geq Q_p \geq Q_s \geq Q_n \quad (2)$$

где Q_p, Q_s — реально и экономически доступные к использованию части ЭПП;

Q_n — используемая часть ЭПП.

Общая для их расчета формула имеет вид

$$Q_i = q_0\alpha + q_n\beta + q_p\gamma, \quad (3)$$

где Q_i — реально, экономически доступная или используемая часть ЭПП, млн р.;

α, β, γ — коэффициенты использования трех составляющих ЭПП.

Полная величина ЭПП (Q_0) определяется при $\alpha = \beta = \gamma = 1,0$.

Для реально, экономически доступной и используемой частей ЭПП эти же коэффициенты находят по специально разработанной методике.

Показатели уровня использования и относительных резервов роста использования ЭПП приведены в таблице. В ее правом верхнем углу представлены коэффициенты уровня использования ЭПП и его частей, в левом нижнем — обратные величины, характеризующие пределы роста использования отдельных частей ЭПП. Так, $K_{но}$ — коэффициент использования ЭПП, $K_{он}$ — коэффициент потенциального роста используемой части ЭПП. Аналогичным образом могут быть интерпретированы все другие коэффициенты.

| Показатель для ЭПП | Q_n | Q_s | Q_p | Q_0 |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Q_n | | $K_{нс} = \frac{Q_n}{Q_s}$ | $K_{np} = \frac{Q_n}{Q_p}$ | $K_{но} = \frac{Q_n}{Q_0}$ |
| Q_s | $K_{эн} = \frac{Q_s}{Q_n}$ | | $K_{сп} = \frac{Q_s}{Q_p}$ | $K_{со} = \frac{Q_s}{Q_0}$ |
| Q_p | $K_{pn} = \frac{Q_p}{Q_n}$ | $K_{ps} = \frac{Q_p}{Q_s}$ | | $K_{po} = \frac{Q_p}{Q_0}$ |
| Q_0 | $K_{он} = \frac{Q_0}{Q_n}$ | $K_{ос} = \frac{Q_0}{Q_s}$ | $K_{оп} = \frac{Q_0}{Q_p}$ | |

Неиспользованные резервы ЭПП определяются по разности между ЭПП, его используемой, экономически и реально доступной частями. Так, разность $\Delta Q_{он} = Q_0 - Q_n$ есть полный резерв роста использования ЭПП на предприятии. Он может быть получен также с помощью коэффициентов уровня использования ЭПП. Например,

$$\Delta Q_{он} = Q_0 - Q_n = Q(1 - K_{но}) = Q(K_{он} - 1). \quad (4)$$

Такие расчеты необходимы на стадии прогнозирования и проектирования, а также при определении потерь продукции из-за неполного использования потенциальных возможностей.

Показатели экономической эффективности использования ЭПП по-лучены как отношение результатов производственно-хозяйственной деятельности (реализованная продукция, объем продаж, доход, прибыль) к полной, реально и экономически доступной или используемой частям ЭПП. По своему экономическому содержанию они представляют собой: объем продукции (продаж), доходы или прибыль на единицу ресурсов предприятия. Данная система показателей служит измерителем уровня использования ресурсов (активов) предприятия. При этом могут быть определены показатели экономической эффективности как производст-

венно-хозяйственной деятельности предприятия в целом (отношение результатов к сумме трех составляющих видов ресурсов), так и отдельных видов ресурсов (отношение тех же результатов к стоимости того или иного вида ресурса).

Показатели эффективности производства (использования ЭПП и его составляющих) отражают в сумме совокупную способность предприятия, характеризующую его конкурентоспособность. Комплексная оценка состояния ЭПП и его важнейших нормативов относительно выбранных аналогов по предложенной системе показателей, определяющая конкурентоспособность потенциала предприятия, позволяет прогнозировать пути оптимального развития и использования имеющегося потенциала, выработать стратегию и тактику управления им.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Иванов Л. Б. Проблемы определения экономической эффективности управления предприятием: Докт. дис.—Л.: ЛТА, 1981.—385 с. [2]. Рыночная экономика: Учеб.: В 3 т. Т. 2, ч. 1. Основы бизнеса.—М.: Соинтек, 1992.—160 с.

УДК 630*794

Поступила 9 марта 1994 г.

Н. М. ГОНЧАРОВА

С.-Петербургская лесотехническая академия

РОЛЬ ИНТЕГРАЦИИ В РАЗВИТИИ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Дана информация об интеграционных процессах и структурных сдвигах в экономике лесного комплекса в период формирования новых промышленно-хозяйственных объединений рыночного типа.

The information on the integrating processes and structural changes in the forest complex economy in the period of forming the new economic-industrial amalgamations of the market type is given.

Последние десятилетия во всем мире в экономической деятельности различных организаций и предприятий все большее значение приобретают процессы интеграции. В нашей стране первые практические шаги по реализации экономической реформы и созданию смешанной экономики показали, что в условиях переходного периода, разгосударствления и приватизации собственности, роста самостоятельности предприятий и организаций наблюдаются не интеграционные, а дезинтеграционные процессы, в том числе и в отраслях лесного комплекса. В целом на первом этапе они ведут к ослаблению хозяйственной деятельности небольших предприятий, которые в последующем будут вынуждены объединяться в различные организации более высокого иерархического уровня. Пока же наше продвижение к рынку сопровождается не подъемом деловой и инвестиционной активности, а углублением и усилением экономического кризиса. Чтобы правильно понять, с кем, когда и по какому принципу интегрироваться, необходимо иметь критерии — полную и качественную систему показателей эффективности [4, с. 53].

При определении эффективности интеграции следует пользоваться апробированным и общепризнанным подходом: определением соотношения стоимости ресурсов на входе и результатов на выходе экономической системы (организации). При этом сырье, идущее на перера-

ботку в другие подразделения фирмы, должно оцениваться не по рыночной цене, а по себестоимости с добавлением стоимости обработки на каждой последующей стадии внутри фирмы. Таким образом, будут упорядочены система учета и отчетности, налогообложение и другие элементы хозяйственного механизма для всех уровней управления и производственного функционирования. От объективности системы ценообразования и распределения прибыли зависит эффективность производств. Распределение должно осуществляться пропорционально затратам и вкладу каждого подразделения фирмы в процесс создания совокупной стоимости совместно произведенной конечной продукции.

Развитие интеграционных связей может идти в горизонтальном и вертикальном направлениях. При горизонтальной интеграции объединяются компании, которые выпускают одинаковую продукцию, оказывают одинаковые услуги или выполняют аналогичные операции технологического процесса. Горизонтальная интеграция — это слияние фирм, работающих в одном и том же сегменте рынка.

Вертикальная интеграция технологически, экономически и организационно увязывает обособленные комплексы производств по углублению обработки сырья и материалов в изготовлении конечной готовой продукции. Вертикальная интеграция возникает в результате взаимодействия покупателя и поставщика и означает, что рыночные сделки заменяются внутрифирменными поставками.

Изменение производственных затрат и цен основных видов лесобумажной продукции на отечественных и зарубежных рынках показывает, что каждая последующая ступень углубления переработки древесины расширяет дифференциацию изделий, увеличивает темпы роста массы прибыли на единицу вырабатываемой продукции, расширяет возможности накопления капитала, переливания его в другие сферы и маневрирования им в процессе организации за счет роста доходов от продаж более сложной готовой продукции.

Практика высокоразвитых стран с рыночной экономикой свидетельствует, что прибыль особенно быстро увеличивается у тех фирм, которые провели вертикальную интеграцию по технологической цели изготовления конечной продукции или осуществили диверсификацию производственной деятельности предприятий путем их слияния в одну, многопрофильную фирму [1—3].

Вертикально интегрированные предприятия имеют в своем составе структурные единицы, в функции которых входит обеспечение сырьем, комплектующими изделиями и услугами, необходимыми для изготовления и реализации конечного продукта [2, с. 16].

В лесном комплексе вертикальная интеграция дает эффект в силу того, что контроль организации над ключевым видом сырья и ресурсов резко усиливает ее конкурентоспособность и эффективность. А переход на аренду лесов создаст неоспоримые преимущества по сравнению с другими типами хозяйств лесопромышленного комплекса.

Вертикальная интеграция является частью более общего процесса диверсификации. Диверсификация — одновременное развитие многих, не обязательно связанных, видов производств, расширение ассортимента производимых товаров в рамках одной компании. Диверсификация способствует переливанию капитала из одних отраслей в другие, увеличению прибыли, превращению специализированных предприятий в многоотраслевые комплексы, фирмы-конгломераты.

Формы организации деятельности различных производственно-хозяйственных структур разнообразны. Одна из них — классический холдинг — общество, созданное крупными собственниками для управления дочерними предприятиями через систему участия. Владея контрольным пакетом акций многих предприятий, холдинговая компания

направляет их развитие. Такая форма организации предпринимательства позволяет добиться централизованного управления и наряду с этим децентрализации оперативной хозяйственной деятельности.

Распространение на предприятиях лесопромышленного комплекса мелких непрофильных производств, созданных ранее для удовлетворения своих нужд в целях снижения зависимости от ненадежного снабжения, может послужить хорошей основой для быстрого развития диверсификации и освоения предприятиями рынков других продуктов. Это особенно важно в отраслях лесного комплекса при создании фирм-объединений, промышленно-финансовых и финансовых холдингов, корпораций, концернов, ассоциаций и других формируемый нового рыночного типа.

Современное состояние экономики России в определенной степени обусловлено тем, что, обладая объективными предпосылками для создания мощных промышленно-хозяйственных компаний наподобие западных транснациональных корпораций, отечественная экономика еще не успела создать подобные объединения рыночного типа. Однако именно образование таких фирм и компаний является важнейшей составляющей формирования рынка производителей и услуг — условием налаживания конкуренции между ними. А крупные предприятия служат базой для будущих объединений рыночной экономики.

Одновременно создается благоприятная среда для возникновения и успешного функционирования мелкого и среднего бизнеса. Без крупных корпораций мелким и средним предприятиям трудно выйти и утвердиться на отечественном и мировом рынках. Только при условии интегрирования с крупными производителями для них откроются более широкие перспективы. При этом важно учитывать мировой опыт организации ведущих корпораций, их взаимосвязь с массой мелких и средних поставщиков, методы продвижения на рынки готовой продукции [5, с. 42].

В настоящее время в лесопромышленном комплексе взят курс на создание крупных промышленно-финансовых групп на основе межотраслевой интеграции. Ясно, что стихийно такая структурная перестройка промышленности произойти не может. Для формирования многопрофильных крупных компаний необходима государственная поддержка, которая гарантируется Указом Президента РФ «О создании фирм-аново-промышленных групп» и постановлением Правительства РФ «Об учреждении лесопромышленных холдинговых компаний».

Как свидетельствует опыт образования комплексных структур в сырьевых отраслях, предприятия объединяются главным образом на основе общности освоения сырьевой базы и сквозной технологии (от поставщика до потребителя). Насущной для добывающих отраслей стала проблема обеспечения оборудованием, поэтому вполне вероятно перспектива включения машиностроительных предприятий в корпорации сырьевых отраслей.

В сложившихся условиях ограничена номенклатура производимой лесозаготовительной техники, практически не выпускается оборудования для ограниченного лесопользования, комплексного использования лесных ресурсов. Принятая концепция преимущественного развития сортиментной скандинавской технологии сдерживается монополистами отечественного лесного машиностроения.

Одним из путей увеличения количества и расширения ассортимента лесозаготовительного оборудования может стать конверсия военного промышленного комплекса.

За рубежом существует множество компаний, которые имеют в своем составе разные подразделения, осуществляющие последовательно стадии процесса производства, а также структурные единицы, обеспе-

чивающие их сырьем, комплектующими изделиями и оборудованием. Так, акционерное общество «Раума — Релола» является крупнейшей компанией в Финляндии и представляет собой международный концерн, занимающийся судостроением, лесопилением, деревообработкой и лесным машиностроением.

В условиях рыночной экономики рост организаций на основе приобретения, объединений и слияния фирм, создания дочерних компаний, интеграции и диверсификации является эффективным способом завоевания новых рынков, повышения конкурентоспособности. С углублением структурных сдвигов в экономике лесопромышленного комплекса и усилением меотраслевого переливания капитала значение этих методов роста будет постоянно возрастать. Под влиянием интеграции и диверсификации узкоспециализированные предприятия лесного комплекса могут быть в короткие сроки трансформированы в мощные многопрофильные компании высокой эффективности и конкурентоспособности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Д о л а н Э. Дж., Л и н д с е й Д. Рынок микроэкономическая модель / Пер. с англ. В. Лукашевича и др.—СПб., 1992.—496 с. [2]. К а р л о ф Б. Деловая стратегия / Пер. с англ.—М.: Экономика, 1991.—239 с. [3]. М е с к о н М. Х., А л ь б е р т М., Х о д у о р и Ф. Основы менеджмента / Пер. с англ.—М.: Дело, 1992.—702 с. [4]. М и н г а з о в Х. Становление новых организационно-хозяйственных структур в российской индустрии // Российск. экономич. журн.—1993.—№ 10.—С. 50—60. [5]. Цыгичко А. Корпоративная организация производства и государственная собственность // Экономист.—1993.—№ 7.—С. 41—50.

Поступила 8 июня 1994 г.

МЕТОДИКА И ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК 33 : 630* (07.07)

И. С. МЕЛЕХОВ

Московский государственный университет леса

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ЛЕСНЫХ ЗНАНИЙ
НА ЛЕСОЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКУЛЬТЕТАХ
МЕЖДУНАРОДНОЙ СФЕРЫ**

Необходимость изучения главнейших особенностей лесохозяйственных и лесотехнологических дисциплин лесными экономистами не должна вызывать сомнений. Но в связи с современной дифференциацией лесной экономики требуются и особые дифференцированные подходы к использованию арсенала знаний о лесе.

Одна из областей экономики — внешнеэкономическая сфера, включающая многообразные цели. В соответствии с ними нам представляется обязательным освещение комплекса лесных знаний в трех ракурсах:

- 1) дать представление о лесе как природном явлении, хозяйственном объекте, источнике получения лесной продукции, его экологической роли, методах обращения с лесом, его восстановления, улучшения состояния и повышении продуктивности;

- 2) изучить отечественные и зарубежные древесные породы, имеющие наибольшее коммерческое значение, особенно те, продукция которых выходит на мировой рынок. Эти знания имеют двоякое значение: во-первых, позволяют познать природу леса и его многостороннюю роль использования и воспроизводства; во-вторых, имеют важное самостоятельное значение для профессии экономистов-специалистов по международным связям лесного комплекса;

- 3) установить твердые терминологические основы и понятия в номенклатуре особенно древесных пород в целях выяснения и возможного устранения многочисленных искажений и противоречий, накопившихся в мировой лесной литературе и лесоторговой практике (в том числе и в специализированных словарях). Эта задача приобретает особо важное значение, поскольку в круг обязанностей специалистов, выпускаемых лесоэкономическими факультетами международными факультетами и функциями специализированных переводчиков.

Первое соприсосновение автора этих строк с преподаванием лесного энциклопедического курса для лесоэкономистов произошло в начале 30-х гг. на лесоэкспортной специализации в Архангельском лесотехническом институте. Уже тогда почувствовалась потребность в составлении такого курса не в виде простого сокращения и механического переноса лесных дисциплин, читаемых на лесохозяйственном факультете, но и введения в предмет новых элементов, наиболее близких к данной специальности. Лесоэкспортерам необходимо прежде всего знать древесные породы, конкурирующие с нашими на мировом рынке. Некоторым толчком послужили и появившиеся к тому времени на Западе наладки на архангельскую сосну, у которой, якобы, древесина хуже, чем у сосны из других стран. Научные исследования автора* показали вы-

* Мелехов И. С. О качестве северной сосны.— Архангельск: Севкрайгиз, 1932.

сокое качество древесины северной сосны, способствовали быстрому восстановлению ее репутации на мировом рынке.

Среди конкурирующих видов сосны в начале XX в. более или менее выделялась одна из южных сосен США. В связи с наступившим затем истощением запасов и возросшими потребностями внутреннего американского рынка ее значение на мировом рынке на некоторое время ослабло. Участие древесины русской, особенно северной, сосны на мировом рынке в дальнейшем также несколько упало из-за истощения ее запасов (к концу XX в.), особенно на Европейском Севере России. Тем временем на мировом рынке расширился породный ассортимент, но по-прежнему высоко ценилась сосна.

Время от времени нас интересовали эти вопросы, особенно при поездках по лесам разных стран, включая и США. В настоящее время в Московском государственном университете леса создан факультет по международным связям лесного комплекса. Близкие по профилю экономические факультеты и специализации открываются в других лесных вузах.

Вновь возникла, теперь уже на расширенной основе, необходимость возвращения к этим и другим вопросам в соответствии с требованиями времени. Можно выделить следующий круг вопросов, необходимых для лесозащитников, имеющих дело с внешней сферой.

1. Понятия о лесе

Лес — понятие многогранное. Будучи важной составной частью растительного покрова планеты, он представляет сложное природное образование. Вместе с тем его можно рассматривать в экономическом, технологическом, юридическом, аграрном, историческом и других разрезах. Но с каких бы позиций не подходить к лесу, исходное, ключевое определение его связано прежде всего с природой.

Лес — явление биологическое и физико-географическое, составная часть географического ландшафта и биосферы планеты Земля. Но и в этом случае понятие «лес» неоднозначно. Оно может иметь несколько разных по объему значений. С одной стороны, закономерно широкий глобальный взгляд на лес. С другой, — это явление локальное; занимающая определенную участок земной поверхности, он представляет собою низшую элементарную единицу в общей иерархии лесов.

Между этими крайними значениями лес предстает в виде отдельных промежуточных ступеней единой системы. На одном ее полюсе — небольшая однородная группа лесных деревьев — биогруппа. Она может состоять, например, из нескольких деревьев березы или осины, вкрапленных в хвойно-лиственный лес. С нею может соседствовать другая группа деревьев, скажем, из ели и березы или одной ели и т. д. Такие биогруппы в совокупности составляют более крупное однородное в определенных границах образование, именуемое насаждением или лесным фитоценозом. В лесном хозяйстве его принято считать элементарной природной и хозяйственной единицей.

На противоположном полюсе лес представляется как глобальная составная часть биосферы. Это — леса мира.

2. Леса и лесные продукты* мира

Леса мира занимают площадь более 3 млрд га (по данным ФАО 1989 г. 3603731 тыс. га). Общий запас древесины составляет

* В данном случае под лесными продуктами подразумеваются древесина, древесная продукция и ее производные. В специальной англоязычной литературе закрепилось такое понимание (Forest products).

360 млрд м³. Ежегодно в мире вырубается более 3 млрд м³ (3 462 639 тыс. м³, из них хвойных 1 360 137 тыс. м³).

В современных условиях мировое потребление древесины зависит главным образом от двух обширных составных частей планеты: 1) занятых тропическими лесами; 2) бореальными — лесами северной части северного полушария. От этих же, преимущественно вечнозеленых, лесов во многом зависит и экологическое благополучие Земли.

Поэтому мировая научная общественность, ряд международных организаций забили тревогу за судьбу лесов, особенно тропических, интенсивно вырубаемых во второй половине XX в. Не меньшего внимания заслуживают и бореальные леса, подвергавшиеся интенсивной вырубке, особенно начиная с 30-х гг. XX столетия.

Наиболее богаты лесом Россия — лесопокрытая площадь 676 174 тыс. га, Бразилия — 518 335, Канада — 264 100, США — 226 454, Заир — 177 612, Китай — 127 780, Индонезия — 118 813 тыс. га.

Из стран с меньшей лесной площадью, но играющих активную роль в мировой лесной торговле, можно назвать Швецию (24 400 тыс. га), Финляндию (19 885), Норвегию (7635), Австралию (41 658), Японию (23 889), Францию (13 875), Малайзию (21 022), Папуа Новую Гвинею (38 197 тыс. га). Даже маленькая Швейцария (935 тыс. га) выступает не только в роли импортера, но в определенной степени и лесоэкспортера (импорт — 1981, экспорт — 992 млн долларов).

Резким повышением экспорта леса над импортом (данные 1989 г.) отличаются Канада (18 379 против 1928 млн долларов), Финляндия (8526 и 574 млн долларов), Швеция (8745 и 1183 млн долларов). В США стоимость экспортной лесопроизводки составила 12 399, импортной 15 799 млн долларов (данные 1989 г.).

Традиционным, устойчивым импортером леса является Великобритания (импорт 10 238, экспорт 1398 млн долларов). К странам с преобладанием импорта лесной продукции можно отнести Испанию, Италию, Францию, Японию, Германию, Нидерланды, Бельгию, Люксембург, Китай, Индию, Турцию. Имеются и другие потенциальные импортеры.

В 1989 г. по экспорту лесопроизводки на мировом рынке СССР (прежде всего Россия) уступал Финляндии, Швеции, ряду других стран. Поэтому важно восстановить утраченные позиции.

3. Другие проблемы

В ряде богатых лесом стран в связи с интенсивной лесозексплуатацией произошли большие изменения в площадях, запасах, характере лесов, особенно их составе. Хвойные породы в ряде мест сменились лиственными. В России, особенно ее европейской части, некоторые многолесные в прошлом районы стали лесодефицитными. Возникли новые проблемы: разработка системы мероприятий по возрождению экспортного значения русской хвойной древесины, особенно сосны, усиление требований ее бережного, рационального использования; расширение использования мелколиственных пород (береза, осина), выход с их продукцией не только на внутренний, но и на внешний рынок; борьба с потерями, начиная от пня в лесу и кончая выпуском продукции на деревообрабатывающих, целлюлозно-бумажных или лесохимических предприятиях.

Обострилась необходимость действенных мер по восстановлению хвойных лесов, особенно сосновых, их многосторонней охране и повышению продуктивности.

Лесопользование, производство лесной продукции, торговля лесом и его продуктами должны опираться на развитое лесоводство, его высокий уровень, классические постулаты и новые достижения. Поучитель-

ные примеры показывают сегодня многие страны мира, в том числе наши соседи Финляндия и Швеция.

Шведские целлюлозно-бумажные компании проявляют большую заботу об обеспеченности сырьем своих предприятий путем создания собственных плантаций из канадской сосны. Дело доведено до таких масштабов, что пришелица из Канады сосна скрученная (*Pinus contorta* var. *laifolia*) стала третьей хозяйственной хвойной породой Швеции. В Финляндии умело сочетают малогабаритную лесозаготовительную технику с возобновлением и выращиванием леса и получением лесопродукции при минимальных потерях.

Ценные юго-восточные леса США были сильно истощены в результате хищнических рубок в конце XIX — начале XX вв. Создалась угроза существованию и развитию деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности региона. В связи с этим для него была разработана и осуществлена программа создания «Вторичного леса», в настоящее время решаются вопросы «Третьего леса».

Миниатюрная Швейцария не только сохранила эстетичность своих лесов, сделав их достоянием мирового туризма и рекреации, но, как уже отмечалось, благодаря высокому уровню лесоводства, сумела использовать их даже для экспорта.

Таким образом, для решения экономических проблем, связанных с рациональным лесопользованием, технологией производства, внутренней и внешней торговли лесом, необходимо знать вопросы лесоводства: древесные породы, входящие в состав лесов разных стран мира, природные и хозяйственные особенности этих лесов.

Следует предупредить русского читателя, что в лесопромышленной, лесохозяйственной и лесоторговой практике и литературе по отношению к хвойным применяется термин «softwood», буквально означающий «мягкая древесина», «мягкие породы». Начало такому названию положили американские лесопромышленники. Оно противостоит названию листовых пород, для которых был введен термин «hardwoods» — «твердая древесина», «твердолиственные породы». Приведенные названия не совсем удачны, так как и среди хвойных имеются породы с твердой древесиной, и среди лиственных — с мягкой (осина, тополь и др.).

Точно так же в работах иностранных авторов на английском языке названия «Broadleaved trees» могут совсем не означать «широколиственные деревья» в нашем понимании; сюда часто относят и березу, ольху, осину, иву.

Все это породило большие искажения в переводной литературе (даже в словарях). В переводе на русский язык вместо «хвойных пород», «хвойной древесины» стали появляться «мягкие породы», «мягкая древесина», а вместо «мягких лиственных» — «твердолиственные» или «широколиственные».

Дело дошло до того, что американскую длиннохвойную сосну с лучшей древесиной в переводе стали называть «болотной», пихту — елью. Сосну обыкновенную — нашу главную породу из рода сосен — переводчики преподносят русскому читателю под названием «шотландской» без всяких пояснений, так же как и ель обыкновенную — «норвежской». Эти термины есть в англоязычной литературе, но их надо приводить с пониманием синонимии и региональных особенностей. В процессах преподавания основ лесных знаний на лесозаготовительных факультетах международного профиля важно внести уточнения в международную лесную лексику.

В заключение еще раз подчеркнем, что подготовка специалистов внешнеэкономической сферы требует серьезного внимания, многостороннего подхода.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 620.178.7 : 621.869.4

Е. И. ХАНКИН

Воронежская государственная архитектурно-строительная академия

ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МЕХАНИЗМОВ ЛЕСНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ

Рассмотрена возможность комбинированного метода исследования динамических процессов, происходящих в механизмах лесных погрузчиков в периоды неустановившегося движения.

The possibility of combined method of research into dynamic processes taking place in forest loaders' mechanisms in the periods of unstable movement has been considered.

При динамическом анализе движения звеньев механизмов лесных погрузчиков в периоды разгона или торможения груза избыточные моменты определяют из экспериментальных предположек. Несмотря на некоторые различия, многие авторы методик расчета принимают функцию ускорения ведущего звена механизма от угла поворота ведущего звена φ_1 , а следовательно, и избыточного момента, линейной. Однако, как показывают эксперименты [1, 2], реальные законы изменения как избыточных моментов, так и ускорений далеки от линейных. Кроме того, при составлении систем дифференциальных уравнений движения звеньев подъемного механизма и груза сложно определить приведенную жесткость всей системы.

Для уточнения результатов решения динамических задач предлагается комбинированный метод, суть которого рассмотрим на примере двухкривошипного механизма с упругим спарником или его аналогов, имеющих широкое применение в различных конструкциях погрузочно-разгрузочных лесных машин (см. рисунок). После упрощений нелинейных дифференциальных уравнений с помощью метода малых перемещений [2] движение ведущего и ведомого звеньев механизма на каждом шаге перемещений опишем системой

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\varphi}_{11} + c r^2 \beta_1 (\beta_1 \varphi_{11} - \delta_1 \varphi_{21} + \gamma_{1l}) = M_{11}; \\ I_2 \ddot{\varphi}_{21} + c r^2 \delta_1 (\delta_1 \varphi_{21} - \beta_1 \varphi_{11} - \gamma_{2l}) = M_{21}, \end{cases} \quad (1)$$

где I_1, I_2 — момент инерции соответственно ведущего и ведомого звеньев;

c — коэффициент упругости спарника;

r — длины кривошипов;

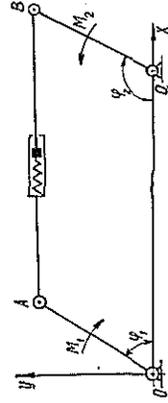


Схема двухкривошипного механизма

M_1 — движущий момент;

M_2 — главный момент сил сопротивления;

$\beta_i, \delta_i, \eta_i$ — шаговые константы [1].

При неустановившемся движении — разгоне или торможении — ведущее звено OA движется с некоторым угловым ускорением $\ddot{\varphi}_1$. Предположим, что ускорение начинается с момента $t_0 = 0$ и $\ddot{\varphi}_1(t_0) = 0$; в момент времени t_1 ускорение имеет максимальное значение $\ddot{\varphi}_1(t_1) = h$, а в момент t_2 $\ddot{\varphi}_1(t_2) = 0$, т. е. движение становится установившимся.

За аналитическое выражение ускорения ведущего звена $\ddot{\varphi}_1(t)$ на сегменте $[t_0, t_2]$ примем интерполяционный полином Лагранжа с узлами интерполяции t_0, t_1 и t_2 :

$$\ddot{\varphi}_1 = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_0-t_1)(t_0-t_2)} \ddot{\varphi}_1(t_0) + \frac{(t-t_0)(t-t_2)}{(t_1-t_0)(t_1-t_2)} \ddot{\varphi}_1(t_1) + \frac{(t-t_0)(t-t_1)}{(t_2-t_0)(t_2-t_1)} \ddot{\varphi}_1(t_2). \quad (2)$$

Для уточнения расчета число узлов интерполяции с осциллограммы можно увеличить. Упростив (2), получим

$$\ddot{\varphi}_1 = \frac{h}{t_1^2 - t_1 t_2} t^2 - \frac{h t_2}{t_1^2 - t_1 t_2} t. \quad (3)$$

Выражение $t_1^2 - t_1 t_2 < 0$, так как $t_2 > t_1$.

Решая дифференциальное уравнение (3) с начальными условиями $\dot{\varphi}_1(t_0) = 0$ и $\varphi_1(t_0) = 0$, получаем уравнение движения ведущего звена OA в период неустановившегося движения:

$$\varphi_1 = \frac{h}{12(t_1^2 - t_1 t_2)} t^4 - \frac{h t_2}{6(t_1^2 - t_1 t_2)} t^3. \quad (4)$$

Из второго уравнения системы (1) определяем φ_2 , учитывая, что в начале движения $\beta_i = \delta_i = 1$ и $\eta_i = 0$ [1]. Запишем это уравнение в виде

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 + c r^2 \varphi_2 = c r^2 \varphi_1 + M_2. \quad (5)$$

Решая (5), находим

$$\varphi_2 = \frac{h}{c r^2 (t_1 t_2 - t_1^2)} \left(\frac{2 I_2^2}{c r^2} \cos \sqrt{\frac{c r^2}{I_2}} t + \frac{t_2 I_2 \sqrt{I_2}}{r \sqrt{c}} \sin \sqrt{\frac{c r^2}{I_2}} t - \frac{c r^2}{12} t^4 - \frac{c r^2 t_2}{6} t^3 + I_2 t^2 - I_2 t_2 t - \frac{2 I_2^2}{c r^2} \right) + \frac{M_2}{c r^2}. \quad (6)$$

Уравнение (6) позволяет провести полное кинематическое и динамическое исследование ведомого звена. В частности, поскольку время разгона и торможения груза в погрузочно-разгрузочных механизмах мало, то, разлагая $\cos \sqrt{\frac{c r^2}{I_2}} t$ и $\sin \sqrt{\frac{c r^2}{I_2}} t$ в ряд Маклорена и ограничиваясь первыми двумя членами каждого разложения, находим, что ускорение $\ddot{\varphi}_2$ достигает максимума в момент времени $t_3 \gg t_2$.

В связи с тем, что конечные скорости ведущего и ведомого звеньев равны, т. е. $\int_{t_0}^{t_2} \ddot{\varphi}_1(t) dt = \int_{t_0}^{t_4} \ddot{\varphi}_2(t) dt$, а $t_4 > t_3 \gg t_2$, то в силу непрерывности функций $\ddot{\varphi}_1(t)$ и $\ddot{\varphi}_2(t)$ следует, что в периоды неустановившегося движения груза $\varphi_2(t) < \varphi_1(t)$, т. е. включение упругого эле-

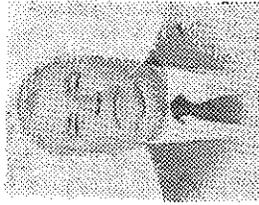
мента между ведущим и ведомым звеньями ведет к снижению динамической нагруженности конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

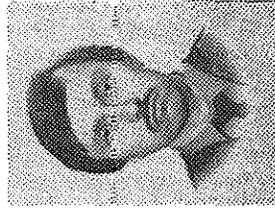
- [1]. Нартов П. С., Ханкин Е. И. Экспериментальные исследования влияния упругого звена на динамику щитового бревнообрасывателя // Лесн. журн.— 1985.— № 2.— С. 38—41.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Нартов П. С., Ханкин Е. И. Пути снижения динамических нагрузок в механизмах лесных погрузчиков // Лесн. журн.— 1987.— № 4.— С. 64—67.— (Изв. высш. учеб. заведений).

УДК 536.24

Э. Н. САБУРОВ, А. Н. ОРЕХОВ



Сабуров Эдуард Николаевич родился в 1939 г., в 1961 г. окончил Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, проректор по научной работе Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент Российской и Международной инженерных академий. Имеет 263 публикации в области аэродинамики и конвективного теплообмена в сильно закрученных потоках, их использования для интенсификации процессов теплообмена в аппаратах различного технологического назначения.



Орехов Алексей Николаевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, ст. преп. кафедры теплотехники Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных трудов и изобретений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ В ЦИКЛОННЫХ КАМЕРАХ БОЛЬШОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДЛИНЫ

Решена задача о теплоотдаче на боковой поверхности рабочего объема в циклонной камере большой относительной длины. Полученные уравнения рекомендуются для практического использования.

A problem of the heat output on the lateral surface of the operation space in the cyclone chamber of large relative length has been solved. The equations obtained are recommended for the practical use.

Результаты исследования аэродинамики циклонных камер большой относительной длины [4, 5], применяемых, в частности, в качестве сепарационных устройств в целлюлозно-бумажной, гидролизной и деревообрабатывающей промышленности, дали возможность перейти к изучению теплоотдачи на боковой поверхности их рабочего объема, которая определяет интенсивность протекания технологических процессов, связанных с теплопередачей.

В данной статье приведены результаты аналитического и экспериментального исследования теплоотдачи на боковой поверхности циклон-

ных камер большой относительной длины, которые позволяют выполнить необходимые в инженерной практике расчеты.

Для решения задачи используем схему движения потока, принятую в работе [4]. Течение потока вблизи боковой поверхности рабочего объема представим в виде струйного, распространяющегося с постоянным радиусом продольной кривизны R_w . Координату x направим вдоль поверхности камеры, а y — нормально к ней. Начало координат совместим со срезом входного шлица. Полную скорость потока (практически совпадающую с ее проекцией на ось x) обозначим v . Рассмотрим общий случай теплообмена с начальным необогреваемым участком стенок. Безразмерная длина необогреваемого участка $\bar{x}_{н.у} = x_{н.у}/l_{вх}$, где $l_{вх}$ — высота входного шлица. Полагаем физические характеристики среды и температуру на границе пристеночного пограничного слоя T_0 постоянными. Поскольку скорость потока умеренная, тепловыделением за счет трения пренебрегаем.

При принятых предположениях интегральное соотношение энергии может быть записано следующим образом:

$$-\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_T} v(T_w - T) dy = \frac{q_w}{\rho c_p}, \quad (1)$$

где δ_T — толщина теплового пограничного слоя;
 T_w , T — соответственно температура поверхности теплообмена (стенки) и среды;

q_w — плотность теплового потока на стенке;

ρ , c_p — плотность и теплоемкость среды при постоянном давлении.

Предположим, что профиль избыточной температуры, по аналогии с профилем скорости [4]

$$v/v_0 = (y/\delta)^{1/12}, \quad (2)$$

описывается уравнением

$$v/v_0 = (y/\delta_T)^{1/12}, \quad (3)$$

где v_0 — полная скорость потока на границе гидродинамического пограничного слоя;

δ — толщина гидродинамического пограничного слоя;

$v = T - T_w$ — избыточная температура среды;

$v_0 = T_0 - T_w$ — избыточная температура среды на границе теплового пограничного слоя.

Распределения касательного напряжения трения τ и плотности теплового потока q в турбулентном пограничном слое определяем по формулам [8]

$$\tau = \mu \left(1 + \frac{\varepsilon_a}{\nu} \right) \frac{dv}{dy}; \quad (4)$$

$$q = \lambda \left(1 + \frac{\varepsilon_q}{\nu} \frac{Pr}{Pr-1} \right) \frac{d\theta}{dy}, \quad (5)$$

где λ , ν , μ — коэффициенты теплопроводности, кинематической и динамической вязкости среды;

ε_a , ε_q — кинематические коэффициенты турбулентного переноса количества движения и теплоты;

Pr , Pr_{T_0} — физическое и турбулентное числа Прандтля.

Так как в турбулентном пограничном слое коэффициенты турбулентного переноса намного превосходят соответствующие им молекулярные, то для рассматриваемой задачи формулы (4) и (5) примут вид

$$\frac{\tau}{\rho} = \epsilon_a \frac{dv}{dy}; \quad (6)$$

$$\frac{q}{\rho c_p} = \epsilon_q \frac{d\theta}{dy}. \quad (7)$$

Для вычисления градиентов скорости и температуры воспользуемся их степенными распределениями (2) и (3). Разделив уравнение (7) на (6), получим

$$\frac{q}{\tau} = \frac{c_p}{Pr_{\tau 6}} \frac{v_0}{v_0'} \left(\frac{\delta_{\tau}}{\delta} \right)^{-1/12}. \quad (8)$$

Считаем, что в пределах тонкого (по сравнению с радиусом кривизны поверхности теплоотдачи) пограничного слоя выполняется условие $q \approx q_w$, $\tau \approx \tau_w$. Перейдя на безразмерные переменные, запишем уравнение (8) следующим образом:

$$St = \frac{c_f}{2 Pr_{\tau 6}} \left(\frac{\delta_{\tau}}{\delta} \right)^{-1/12}, \quad (9)$$

где St — число Стантона, $St = q_w / (\rho c_p v_0' v_0)$;

c_f — коэффициент сопротивления трения, $c_f = 2 \tau_w / \rho v_0'^2$.

Подставим в уравнение (1) выражения для скорости (2), температуры (3) и, проделав указанные в нем операции, получим дифференциальное уравнение

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{\delta_{\tau}}{\delta} \right)^{13/12} + \frac{1}{Re_0} \left(\frac{\delta_{\tau}}{\delta} \right)^{13/12} \frac{dRe_0}{dx} = \frac{7}{6} St \frac{1}{\delta}, \quad (10)$$

где Re_0 — число Рейнольдса, $Re_0 = v_0 \delta / \nu$.

При решении (10) воспользуемся следующими формулами, полученными в работе [4]:

$$\bar{\delta} = 0,02 k_0^{-0,64} \bar{R}_w^{0,155} Re_w^{-0,129} \bar{x}^{0,986}; \quad (11)$$

коэффициент сопротивления трения

$$c_f = 0,019 Re_0^{-2/13} \bar{L}_K^{0,174}; \quad (12)$$

скорость на границе пограничного слоя $\bar{v}_0 = v_0' / v_{Bx}$

$$v_0 = 6 \bar{x}^{-0,57} \bar{L}_K^{-0,105} v_{Bx}, \quad (13)$$

где k_0 — геометрический параметр, $k_0 = 340 \bar{f}_{Bx}^{1,64} \bar{d}_{Bx}^{-0,96} \bar{L}_K^{-0,6}$;

\bar{f}_{Bx} — относительная площадь входа, $\bar{f}_{Bx} = 4 \bar{f}_{Bx} / \pi D_K^2$;

\bar{d}_{Bx} , \bar{L}_K — безразмерные (отнесенные к диаметру камеры $D_K = 2R_K$) диаметр выходного отверстия и длина камеры;

\bar{R}_w — радиус кривизны поверхности траектории движения потока, $\bar{R}_w = R_w / h_{Bx}$;

Re_{Bx} — число Рейнольдса на входе, $Re_{Bx} = v_{Bx} D_K / \nu$;

ν_{Bx} — кинематическая вязкость среды при входных условиях;

x — безразмерная продольная координата, $x = x / h_{Bx}$;

v_{Bx} — входная средняя скорость потока в шлицах.

Подставив (9), (11) ... (13) в (10) и выполнив необходимые преобразования, получим линейное дифференциальное уравнение

$$\frac{d\bar{\delta}}{d\bar{x}} + 0,448 \frac{\bar{\delta}}{\bar{x}} = 0,905 k_0^{0,623} \bar{L}_K^{0,170} \bar{R}_w^{-0,005} Re_{Bx}^{-0,035} Pr_{\tau 6}^{-1} \bar{x}^{-1,05}, \quad (14)$$

где $\bar{\delta} = (\delta_{\tau} / \delta)^{7/12}$.

Решение (14) относительно δ позволило получить расчетную формулу для соотношения толщин теплового и динамического пограничных слоев

$$\frac{\delta_T}{\delta} = 2,03 k_0^{0,535} \bar{L}_k^{0,163} \bar{R}_w^{0,021} Re_{\text{вх}}^{-0,004} Pr_{T_0}^{-0,657} \bar{x}^{-0,043} \times \left[1 - \left(\frac{\bar{x}_{\text{н.у}}}{\bar{x}} \right)^{0,4} \right]^{0,557} \quad (15)$$

Местное число Стантона представим в виде

$$St = Nu / (Pr Re_{\text{вх}} v_0), \quad (16)$$

где Nu — местное число Нуссельта, $Nu = \alpha D_{\text{кл}}/\lambda$;

α — местный (локальный) коэффициент теплоотдачи на поверхности стенки.

Из уравнения (16) с учетом зависимостей (9) и (13) получим расчетную формулу для определения местного коэффициента теплоотдачи по траектории движения потока

$$Nu = 0,0816 k_0^{0,089} \bar{L}_w^{0,072} \bar{R}_k^{0,132} Re_{\text{вх}}^{0,866} Pr_{T_0}^{-0,930} \bar{x}^{-0,631} \times \left[1 - \left(\frac{\bar{x}_{\text{н.у}}}{\bar{x}} \right)^{0,4} \right]^{-0,071} \quad (17)$$

В рассмотренных диапазонах изменения основных геометрических характеристик циклонной камеры ($f_{\text{вх}} = 0,02 \dots 0,21$, $d_{\text{вых}} = 0,43 \dots 0,62$, $L_k = 3,5 \dots 21,5$) величина $k_0 = 0,61 \dots 3,39$. Поэтому значение $k_0^{0,089}$ можно принять равным 1,015 с точностью $\pm 3,4\%$, $\bar{L}_k^{0,072} = 1,164$ с точностью $\pm 7,0\%$. При их замене расчетное уравнение (17) упрощается и примет вид

$$Nu = 0,096 \bar{R}_w^{0,132} Re_{\text{вх}}^{0,566} Pr_{T_0}^{-0,930} \bar{x}^{-0,631} \left[1 - \left(\frac{\bar{x}_{\text{н.у}}}{\bar{x}} \right)^{0,4} \right]^{-0,071} \quad (18)$$

Следует заметить, что формула (11), а следовательно (17) и (18), получены при полиномиальной аппроксимации распределения $\tau(y)$. Если пренебречь изменением трения поперек пограничного слоя, считая $\tau(y) = \tau_w$, как это сделано при выводе исходного дифференциального уравнения, и использовать в расчетах соответствующую формулу для δ [4], то уравнение для Nu запишется следующим образом:

$$Nu = 0,096 \bar{R}_w^{0,135} Re_{\text{вх}}^{0,367} Pr_{T_0}^{-0,930} \bar{x}^{-0,634} \left[1 - \left(\frac{\bar{x}_{\text{н.у}}}{\bar{x}} \right)^{0,4} \right]^{-0,071} \quad (19)$$

Сопоставление расчетных значений чисел Nu , определяемых по уравнениям (18) и (19), показало, что они отличаются между собой незначительно (на 1,0...1,5%), несмотря на то, что значения δ при соответствующих условиях определения $\tau(y)$ различаются в 1,09...1,15 раза. Видимо, основное влияние на расчетные значения Nu оказывают функции $v_0(x)$ и $c_f(Re_0)$, которые в обоих рассмотренных вариантах были одинаковыми, полученными из опытов при реальном распределении $\tau(y)$.

Рассматриваемая задача может быть решена и другим способом, если использовать полученные в работе опытные распределения скорости в пограничном слое на боковой поверхности рабочего объема камеры. Как и раньше, полагаем, что, в пределах тонкого, по сравнению

с радиусом кривизны $R_{\text{ш}}$, пограничного слоя, значения трения и плотности теплового потока равны их значениям на поверхности. В этом случае уравнения (4) и (5) принимают вид

$$\frac{\tau_{\text{ш}}}{\rho} (v + \epsilon) \frac{dv}{dy}; \quad (20)$$

$$\frac{q_{\text{ш}}}{\rho c_p} = (a + \epsilon_d) \frac{dv}{dy}, \quad (21)$$

где a — коэффициент температуропроводности.

Разделим уравнение (20) на (21) и перейдем на универсальные безразмерные переменные: полная скорость потока $v^+ = v/(\tau_{\text{ш}}/\rho)^{0.5}$; координата $y^+ = (y/\nu)(\tau_{\text{ш}}/\rho)^{0.5}$; избыточная температура $\theta = (\rho c_p/q_{\text{ш}})(\tau_{\text{ш}}/\rho)^{0.5}$. В результате получим уравнение, связывающее распределение температуры и скорости в пограничном слое:

$$\frac{d\theta^+}{dy^+} = \frac{1 + \epsilon_d/\nu}{(1/Pr) [1 + (Pr/Pr_0)(\epsilon_d/\nu)]} \frac{dv^+}{dy^+}. \quad (22)$$

При решении уравнения (22) полагаем, как это делалось раньше, что в ламинарном подслое ϵ_d/ν и $\epsilon_d/a \ll 1$, а в турбулентном ядре $\epsilon_d/\nu \approx \epsilon_d/a \gg 1$. Для буферной области из выражения (20) имеем

$$\frac{\epsilon_d}{\nu} = \frac{\tau_{\text{ш}}}{\rho \nu} \frac{1}{dv^+/dy^+} - 1 = \frac{1}{dv^+/dy^+} - 1 = \frac{y^+}{5} - 1. \quad (23)$$

Используя зависимость (12) для коэффициента сопротивления трения, опытное распределение скорости в пристенном пограничном слое можно представить в универсальных координатах v^+ и y^+ . На рис. 1 приведены опытные данные авторов, полученные в относительно длинных циклонных камерах [4] как с разносторонним вводом и выводом газов (вариант 1), так и односторонним (вариант 2) в различных сечениях рабочей объема, характеризующих координатой $\bar{z} = z/D_k$ (z — расстояние от торца камеры, ближайшего к сечению ввода газов, до сечения замеров).

В работе применена следующая трехслойная схема деления пограничного слоя: вязкий подслой ($0 \leq y^+ \leq 5$); буферная зона ($5 \leq y^+ \leq 30$); турбулентное ядро ($30 \leq y^+ \leq \delta^+$) (δ^+ — безразмерная

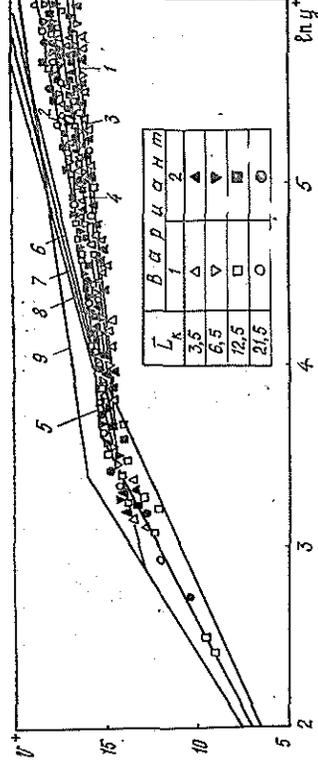


Рис. 1. Распределение скорости потока в пограничном слое на боковой поверхности рабочего объема относительно длинной циклонной камеры: 1, 2 — расчет по уравнению (26) соответственно при $x = 50$ и $x = 450$; 3 — расчетная кривая по [9]; 4 — [8]; 5 — [2]; 6 — [1]; 7 — [7]; 8 — [1]; 9 — [3]

толщина пограничного слоя). Если принять, что в ламинарном подслое и буферной зоне распределения скорости в рассматриваемой задаче хорошо описываются уравнениями, обычно используемыми для этих целей в трубах, плоских каналах и на пластине [1], то полученное в исследованиях универсальное распределение скорости можно вполне удовлетворительно представить следующими уравнениями:

$$\text{при } 0 \leq y^+ \leq 5$$

$$v^+ = y^+; \quad (24)$$

$$\text{при } 5 \leq y^+ \leq 30$$

$$v^+ = 5 \ln y^+ - 3,05; \quad (25)$$

$$\text{при } 30 \leq y^+ \leq 8^+$$

$$v^+ = (1,2 \cdot 10^{-5} \bar{x}^{1,8} + 1)(\ln y^+ - 1) + 11,3. \quad (26)$$

Из приведенной на рис. 1 графической интерпретации имеющихся рекомендаций по расчету скорости потока в пограничном слое на плоских и криволинейных поверхностях видно, что большинство экспериментальных точек расположены между линиями 1 и 2, полученными по уравнению (26) соответственно при $\bar{x} = 50$ и $\bar{x} = 450$. Интенсивность изменения опытных зависимостей $v^+(y^+)$ увеличивается с ростом \bar{x} (или \bar{z}). Так, в начальных сечениях циклонной камеры опытные данные располагаются вблизи линии 3 [9]. По мере удаления потока от входных шпилев угол наклона линии $v^+(y^+)$ возрастает и опытные точки распределяются около линий 4 [8] и 5 [2]. На максимальном удалении от входного шлица, по мере раскрутки потока, угол наклона линии $v^+(y^+)$ достигает наибольшей величины (линия 2), оставаясь, однако, ниже, чем при осевом турбулентном течении в трубах [1] (линия 6) или при обтекании пластины [1, 7] (линии 8, 7).

Внешняя граница буферной зоны по полученным в работе данным имеет осевую координату $y^+ = 30$, что соответствует данным [1, 3, 8, 9] и несколько отличается от [6] ($y^+ = 16$) и [7] ($y^+ = 60$).

За внешней границей турбулентного ядра пограничного слоя в относительно длинных циклонных камерах (рис. 1) можно принять координату $y^+ = 400$.

Решив уравнение (22) с использованием (24) — (26), найдем распределение температуры в пограничном слое пристенного струйного потока:

$$\text{при } 0 \leq y^+ \leq 5$$

$$v^+ = \text{Pr } y^+; \quad (27)$$

$$\text{при } 5 \leq y^+ \leq 30$$

$$v^+ = 5 \text{Pr}_{r,6} \ln \left[1 + \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{r,6}} \left(\frac{y^+}{5} - 1 \right) \right] + 5 \text{Pr}; \quad (28)$$

$$\text{при } 30 \leq y^+ \leq 8^+ \quad (\delta^+ = 400)$$

$$v^+ = 5 \text{Pr}_{r,6} \left[\ln \left(1 + 5 \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{r,6}} \right) + \frac{1,2 \cdot 10^{-5} \bar{x}^{1,8} + 1}{5} \ln \frac{y^+}{30} \right] + 5 \text{Pr}. \quad (29)$$

Подставим в выражении (29) вместо y^+ значение δ^+ и получим величину температурного напора в пристенном пограничном слое:

$$v_0^+ = 5 \text{Pr}_{r,6} \left[\ln \left(1 + 5 \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_{r,6}} \right) + 6,2 \cdot 10^{-6} \bar{x}^{1,8} + 0,52 \right] + 5 \text{Pr}. \quad (30)$$

Известные величины температурного напора и плотности теплового потока на стенке позволяют получить расчетное уравнение теплоотдачи. Преобразуем число Нуссельта следующим образом:

$$Nu = \frac{\alpha D_k}{\lambda} = \frac{q_w D_k}{v_g \lambda} = \frac{Pr^{0.92}}{v_g^+} \left(\frac{v_w}{Pr} \right)^{0.5} \frac{D_k}{\lambda} = \frac{Pr}{v_g^+} \left(\frac{c_f}{2} \right)^{0.5} Re_{v_g} \bar{v}_g. \quad (31)$$

Подставим в (31) значения $\bar{\delta}$, c_f , \bar{v}_g и v_g^+ , определяемые из соотношений (11) — (13) и (30), и найдем расчетное уравнение теплоотдачи:

$$Nu = 0,69 \frac{Pr}{v_g^+} k_0^{0,0415} \bar{L}_k^{-0,01} \bar{R}_w^{-0,012} \bar{h}_{вх}^{-0,077} \bar{x}^{-0,6} Re_{v_g}^{0,92}. \quad (32)$$

В уравнении (32) при диапазоне изменения $k_0 = 0,61 \dots 3,39$ прием $k_0^{0,0415}$ равным 1,016 с погрешностью $\pm 3,4$ %; при $\bar{L}_k = 3,5 \dots 21,5$ — $\bar{L}_k^{-0,01} = 0,98$ с погрешностью $\pm 0,5$ %; при $\bar{R}_w = 3 \dots 18$ — $\bar{R}_w^{-0,012} = 0,977$ с погрешностью $\pm 1,1$ %; при $\bar{h}_{вх} = 0,038 \dots 0,15$ — $\bar{h}_{вх}^{-0,077} = 1,221$ с погрешностью $\pm 4,9$ %. В результате этого получим

$$Nu = 0,82 \frac{Pr}{v_g^+} Re_{v_g}^{0,92} \bar{x}^{-0,6}. \quad (33)$$

Подставим (30) в (33) и найдем уравнение для определения местного числа Нуссельта

$$Nu = 0,164 \frac{Pr Re_{v_g}^{0,92} \bar{x}^{-0,6}}{Pr_{r_0} \left[\ln \left(1 + 5 \frac{Pr}{Pr_{r_0}} \right) + 6,2 \cdot 10^{-6} \bar{x}^{1,8} + 0,52 \right] + Pr}. \quad (34)$$

Расхождение расчетных значений чисел Nu по уравнениям (18) и (34) не превышает 8 %.

Если принять $Pr = 0,72$ (воздух), $Pr_{r_0} = 0,9$, то уравнение (34) может быть преобразовано к виду

$$Nu = \frac{0,118 Re_{v_g}^{0,92} \bar{x}^{-0,6}}{2,634 + 5,6 \cdot 10^{-6} \bar{x}^{1,8}}. \quad (35)$$

Влияние угла наклона линии, описываемой уравнением (26), в рассмотренных диапазонах изменения \bar{x} и Re_{v_g} на величину числа Nu в формуле (35) составляет в среднем $\pm 5,5$ %.

В экспериментальной части работы ставилась задача не только проверить полученные расчетные формулы, но и выявить особенности теплоотдачи в относительно длинных циклонных камерах, возможность существования которых определяется установленной в работах [4, 5] спецификой их аэродинамики.

Схема экспериментального стенда для исследования конвективного теплообмена приведена на рис. 2. Теплоотдачу конвекцией к закрученному потоку воздуха в циклонной камере 1 большой относительной длины изучали по методу изменения агрегатного состояния греющего агента — конденсации легка перегретого (на $2 \dots 3$ °C) водяного пара, подаваемого внутрь calorиметра.

Calorиметр 4 представляет из себя передвижную секцию, имеющую такую же систему крепления, как и секции самой циклонной камеры, что позволяет переставлять его по всей длине рабочего объема. Внутренний диаметр calorиметра равен диаметру рабочего объема циклонной камеры, 160 мм. Рабочая секция calorиметра 5 имеет длину рабочего участка 80 мм. Для предотвращения перегрева конденсата из

Результаты опытов в виде зависимости местного числа Нуссельта Nu от входного числа Рейнольдса $Re_{вх}$ приведены отдельно для камер с разносторонним вводом и выводом газов (рис. 3, *a*) и односторонним — (рис. 3, *б*). В обоих вариантах схем интенсивность теплоотдачи на боковой поверхности рабочего объема камер снижается с ростом координаты z . В камере с разносторонним вводом и выводом газов при всех рассмотренных \bar{L}_k и \bar{z} показатель степени n в зависимости

$$Nu = A Re_{вх}^n \quad (36)$$

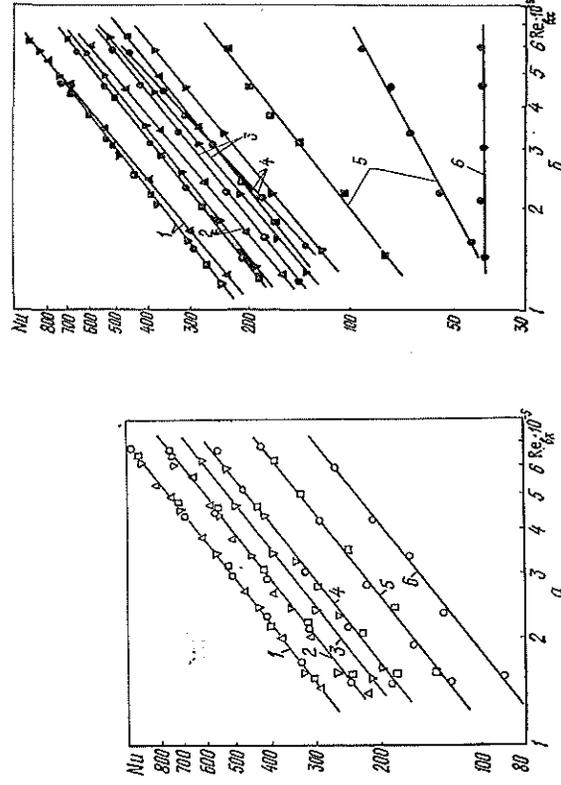


Рис. 3. Теплоотдача на боковой поверхности циклонных камер с разносторонним (*a*) и односторонним (*б*) вводом и выводом газов при различных значениях z : 1 — 1,5; 2 — 3,0; 3 — 4,5; 4 — 6,0; 5 — 12,0; 6 — 21,0. (Обозначения для \bar{L}_k см. на рис. 1)

имеет одно и то же значение, равное 0,8. В камере с односторонним вводом и выводом газов показатель n сложным образом зависит от продольной координаты \bar{x} (или \bar{z}) и относительной длины камеры. С определенного значения \bar{x} наблюдается рост n до максимального значения, а затем его снижение при приближении к торцевой поверхности рабочего объема камеры. Такой характер зависимости $n(\bar{x})$, вероятно, можно объяснить радиальным перетокom массы газов через границу пограничного слоя камеры при подтормаживании периферийного обратного вихря вблизи глухого торца рабочего объема и возникающим при этом интенсивным крупномасштабным перемешиванием масс газа. Интересно, что этот процесс сопровождается снижением интенсивности теплоотдачи примерно на 15...28%. Протяженность зоны изменения n и снижения числа Nu при этом зависит от \bar{L}_k и находится в диапазоне $\bar{L}_k - \bar{z} = 1,3 \dots 2,8$, увеличиваясь с ростом длины рабочего объема камеры.

На рис. 4 приведено изменение значений n вдоль траектории струйного потока для обоих вариантов схем подвода и вывода газов и всех \bar{L}_k в зависимости от \bar{x} . Полученные данные подтверждают сделанные выводы и более наглядно показывают характер изменения n . Особый интерес представляет зависимость $n(\bar{x})$ в самой длинной из рассмотрен-

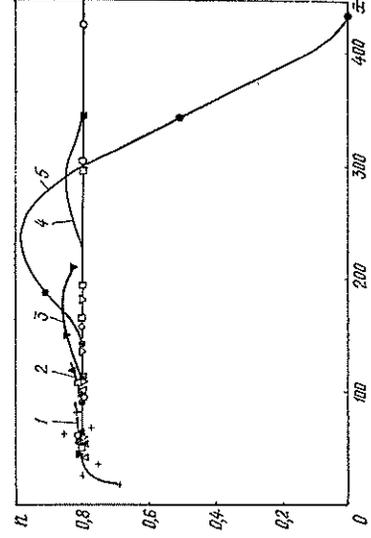


Рис. 4. Изменение показателя η в зависимости (36): 1 — $\bar{L}_k = 1,7$; 2 — 3,5; 3 — 6,5; 4 — 12,5; 5 — 21,5 (см. обозначения на рис. 1)

ных камер с $\bar{L}_k = 21,5$ (рис. 4). Максимум η , равный 0,98, здесь достигается при $\bar{x} = 240$. В диапазоне \bar{x} от 160 до 300 значения η превышают 0,8. Начиная с $\bar{x} = 300$ с увеличением \bar{x} показатель η становится меньше 0,8 и достигает нулевого значения при $\bar{x} \approx 430$. Здесь происходит практически полное торможение потока. Это, так называемая, застойная зона [4].

Резкое увеличение η в области перехода от активной зоны течения к застойной, возможно, связано с особым режимом периодического течения [10], с касанием вихря о боковую поверхность камеры и его турбулизирующим влиянием при вращении в поперечной плоскости на течение в пограничном слое. К сожалению, в наших опытах поток не визуализировался. Косвенным подтверждением возможности существования отмеченного режима течения являются наблюдавшиеся в опытах сильные периодические колебания показаний цилиндрического зонда в этой зоне.

На рис. 4 приведены опытные значения η и для камеры сравнительно небольшой длины ($\bar{L}_k = 1,7$) с односторонним вводом и выводом

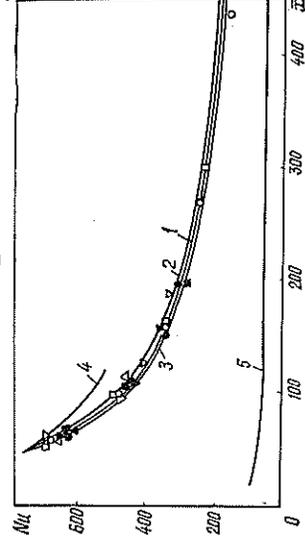


Рис. 5. Сопоставление опытных данных авторов с зависимостями (18) — кривая 1; (35) — кривая 2; (19) — кривая (3) и данных работ [3] — кривая 4 и [1] — кривая 5 (Обозначения опытных точек приведены на рис. 1)

газов (опыты Т. Г. Загоскиной, Э. Н. Сабурова обозначены +). Эти данные позволяют предположить возможность изменения $n(\bar{x})$ и в области малых значений \bar{x} , т. е. в области влияния закручивателя.

Таким образом, в циклонных камерах большой относительной длины с односторонним вводом и выводом газов, с точки зрения теплообменных процессов, на боковой поверхности камеры следует различать зону влияния закручивателя (входную), зону стабилизированного теплообмена и зону влияния приторцевой перестройки потока. Вероятно, зона влияния приторцевых потоков, как и зона влияния закручивателя, имеет место и в камерах с разносторонним вводом и выводом газов.

На рис. 5 представлено сопоставление опытных результатов теплоотдачи на боковой поверхности рабочего объема циклонных камер с разносторонним и односторонним вводом и выводом газов в расчетной зоне потока с зависимостями (18), (35) и данными работ [1, 3]. Сопоставление выполнено при $\bar{R}_w = 6,67$; $\bar{f}_{вх} = 0,04$; $\bar{n}_{вх} = 0,075$; $Pr = 0,72$; $Pr_{т6} = 0,9$ и $Re_{вх} = 5 \cdot 10^5$. Экспериментальные точки, полученные для циклонной камеры с разносторонним (вариант 1) и для активной части рабочего объема с односторонним (вариант 2) вводом и выводом газов, вполне удовлетворительно обобщаются аналитическими зависимостями (18), (35) и (19) (соответственно линии 1, 2, 3). Изменение значений числа Nu вдоль координаты \bar{x} в циклонных камерах большой относительной длины несколько интенсивнее, чем в камерах с периферийным выводом газов [3] (линия 4). Однако даже при максимальном из приведенных в работе значений $\bar{x} = 450$ уровень теплоотдачи в циклонной камере большой относительной длины при прочих равных условиях оказывается в 3,7 раза выше, чем при осевом течении в трубе [1] (линия 5). Вблизи же сечений входных щлицев это различие достигает 10 и более раз.

Выводы

1. Двумя способами решена задача о теплоотдаче на боковой поверхности рабочего объема в циклонных камерах большой относительной длины. Полученные расчетные соотношения дают близкие результаты.
2. Выполнено экспериментальное исследование теплоотдачи в циклонных камерах большой относительной длины. Установлены особенности теплоотдачи в условиях одностороннего и разностороннего ввода и вывода газов.
3. Разработаны расчетные уравнения теплоотдачи на боковой поверхности рабочего объема в циклонных камерах большой относительной длины, которые рекомендуются для практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Кириллов П. Л., Юрьев Ю. С., Бобков В. П. Справочник по гидравлическим расчетам (Идерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / Под общ. ред. П. Л. Кириллова.—М.: Энергоатомиздат, 1984.—296 с. [2]. Сабуров Э. Н., Карпов С. В. Циклонные устройства в деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве / Под ред. Э. Н. Сабурова.—М.: Экология, 1993.—368 с. [3]. Сабуров Э. Н., Леухин Ю. Л. Аэродинамика и теплообмен закрученного потока в цилиндрической камере // Инж.-физ. журн.—1985.—Т. 48, № 3.—С. 369—375. [4]. Сабуров Э. Н., Орехов А. Н. Расчет аэродинамических характеристик циклонных камер большой относительной длины // Лесн. журн.—1994.—№ 1.—С. 115—124.—(Изв. высш. учеб. заведений). [5]. 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). [6]. Сакипов З. Б. Теория и методы расчета пограничных струй и настильных факелов.—Алма-Ата: Наука КазССР, 1978.—204 с. [7]. Славочник по теплообменникам: В 2 т. Т. 2 / Пер. с англ. под ред. О. Г. Мартыненко.—М.: Энерго-

атомизмат, 1987.— 352 с. [8]. У стименко Б. П. Процессы турбулентного переноса во вращающихся течениях.— Алма-Ата: Наука КазССР, 1977.— 288 с. [9]. Х а л а т о в А. А. Теория и практика закрученных потоков.— Киев: Наук. думка, 1989.— 192 с. [10]. Smith J. L. An experimental study of the vortex in the cyclon separator // Trans ASME.— 1962.— Ser. D, vol. 84.— P. 602—608.

УДК 634*864.1

В. К. ЛЮБОВ, В. А. ДЬЯЧКОВ, В. И. ШМАКОВ, Ф. З. ФИНКЕР

Архангельский государственный технический университет
С.-Петербургский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

Приведены результаты исследования теплотехнических характеристик гидролизного лигнина, находящегося в отвалах заводов медобнопрома.

The research results of thermotechnical properties of hydrolysis lignin available in the medbioproton's plants disposal areas have been given.

В настоящее время на предприятиях микробиологической промышленности и заводах медбиопрома значительны запасы лигнина, находящегося в отвалах. Они наносят существенный вред окружающей среде за счет отчуждения больших территорий и воздействия кислотосодержащих компонентов.

Один из возможных путей использования лигнина — применение его в качестве энергетического топлива. На многих предприятиях установлены утилизационные котлоагрегаты, но пока они используют только лигнин, поступающий непосредственно с производства. Использование лигнина, находящегося в отвалах, позволит не только снизить вредное воздействие на природу, но и значительно уменьшит затраты на дорогостоящее топливо.

Для организации эффективного сжигания лигнина необходимо знать его теплотехнические характеристики. С этой целью проведено обследование отвалов Архангельского и Онежского гидролизных заводов (АГЗ) и (ОГЗ) и Кедейиньского биохимического завода (КБХЗ).

На АГЗ вывоз лигнина в отвал начал в 1941 г. Площадь территории, занятой под ним 13,4 га, высота слоя составляет примерно 9 м, запасы около 7 млн т. Рядом с заводом расположен дополнительный отвал, в котором лигнин находится в течение 8—10 лет. Площадь территории 0,5 га, высота слоя около 2,5 м. Загрязненность отвала инородными примесями незначительная.

Вывоз лигнина в основной отвал КБХЗ начал в 1971 г. По приблизительной оценке его запасы составляют 1,0...1,5 млн т. Площадь территории отвала около 10 га, высота слоя 8 м. Кроме основного отвала имеются две небольшие площадки (старый отвал), на которых лигнин находится в течение 17—22 лет. Он сильно, но равномерно загрязнен инородными примесями.

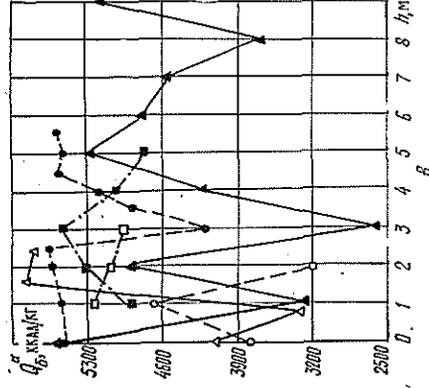
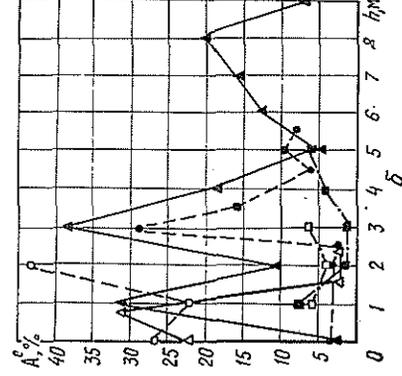
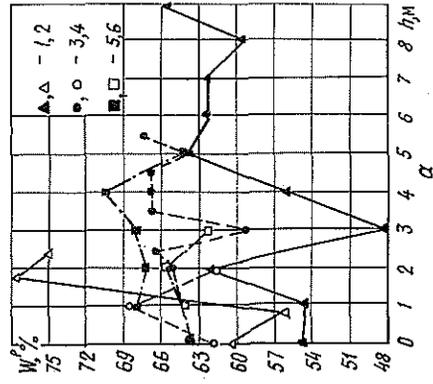
На ОГЗ лигнин вывозят в отвал с 1955 г. Его запасы составляют 6...7 млн т. Площадь территорий основного отвала 15 га, высота слоя 5...12 м; старого отвала — 2 га, высота слоя примерно 5 м. Оба они загрязнены инородными примесями незначительно. Пробы были отобраны из равноудаленных зон с глубины 0,5 м (вдоль поперечного сечения старого и в двух сечениях основного отвалов).

Влажность W^p отобранных в весенний период проб определена по ГОСТ 27314—87. Доля общей влаги установлена двухступенчатым ме-

тодом, включающим нахождение содержания внешней влаги и влаги воздушно-сухого топлива. Колебания влажности по толщине слоя для отвалов КБХЗ не превышают 9 % (рис. а), что вызвано изменением содержания внешней влаги. Влажность в отвалах АГЗ колеблется в более широком диапазоне. Однако влажность, отнесенная к аналитической массе, является довольно стабильной величиной и составляет соответственно для КБХЗ, АГЗ и ОГЗ 3,9...5,6 %; 6,5...9,0 и 8,2...9,9 %.

Влажность проб из отвалов в основном не превышает влажность исходного гидролизного лигнина, которая для АГЗ, КБХЗ и ОГЗ составляет соответственно 65,2; 67,2 и 67,8 %. Повышенное содержание влаги в лигнине дополнительного отвала АГЗ частично объясняется тем, что отборы проб были выполнены ранней весной (в летний период влажность снижается).

Зольность A^c гидролизного лигнина определена по ГОСТ 11022—75. Минеральные примеси по высоте отвалов КБХЗ распределены неравномерно (рис. б). В основном отвале более всего засорен слой, залегающий на глубине 3...4 м. Наибольшей забалластированностью минеральными примесями водоносного и ветрового происхождения характеризуется старый отвал КБХЗ. Максимально засорен поверхностный слой основного и дополнительного отвалов АГЗ. Лигнин с глубины 2,5...4,0 м основного отвала АГЗ имеет также повышенную зольность. Засоренность минеральными примесями отвалов ОГЗ незначительна, а его зольность близка к исходному лигнину. (Исходный лигнин АГЗ, КБХЗ и ОГЗ имеет A^c , равную соответственно 1,8...4,8; 2,1...5,0 и 2,0...6,1 %.)



Изменение влажности W_p (а), зольности A^c (б) и теплоты сгорания по бомбе Q_6^a (в) гидролизного лигнина по глубине отвала h : 1, 2 — основной и дополнительный АГЗ; 3, 4 — основной и старый КБХЗ; 5, 6 — основной и старый ОГЗ в различных точках отбора

Исследование отвалов лигнина на содержание летучих веществ (ГОСТ 6382—80) показало, что выход летучих, отнесенный к горючей массе, по высоте слоя меняется незначительно и близок к исходному лигнину (64...69%). Коксовый остаток всех проб ОГЗ и большинства проб КБХЗ и АГЗ — порошкообразный (у некоторых слипшийся).

Вышая теплота сгорания гидролизного лигнина определена по ГОСТ 147—74 с помощью калориметра В-08МА. Как низшая теплота сгорания $Q_{н}$, отнесенная к рабочей массе лигнина, так и высшая, меняются незначительно по высоте слоя отвалов и близка к исходному лигнину. (Исходный лигнин АГЗ, КБХЗ и ОГЗ имеет $Q_{н}$ соответственно 1840, 1430 и 1220 ккал/кг.) Это относится и к теплоте сгорания по бомбе, отнесенной к аналитической массе лигнина Q_b (рисунок 6). (Исходный лигнин АГЗ, КБХЗ и ОГЗ имеет Q_b соответственно 5990; 5900 и 5240 ккал/кг.) Колебания теплоты сгорания гидролизного лигнина вызваны разной степенью забалластированности влагой и минеральными примесями.

Массовая концентрация серы в исходном лигнине, в общих пробах основных отвалов ОГЗ и КБХЗ, в общей пробе дополнителного отвала АГЗ определена методом осаждения сернокислого бария по ГОСТ 8606—72. Для приготовления общей пробы смешивали одинаковое количество лигнина от проб с каждой точки отбора. Массовая доля серы (на аналитическую массу) в исходном лигнине КБХЗ составила 0,31%, а в общей пробе основного отвала — 0,34%. Лигнин ОГЗ как исходный, так и из общей пробы основного отвала содержал серы меньше (соответственно 0,21 и 0,04%). В общей пробе дополнительного отвала АГЗ этот показатель был равен 2,32%. Повышенное содержание серы может быть обусловлено наличием серосодержащих примесей в одном из пластов дополнительного отвала. (После сгорания навески лигнина в бомбе появлялся резкий запах сероводорода.)

Анализ проб исходного лигнина и общей пробы с основного отвала КБХЗ на содержание углерода, водорода и азота проводили на анализаторе СНН-1. В качестве стандарта использовали *l*-нитроанилин. Хромографическое разделение продуктов сгорания (N_2 , CO_2 , H_2O) осуществляли в колонке из нержавеющей стали длиной 1,3 м, наполненной паронаком. Массовая доля С, Н и N в исходном лигнине и лигнине из основного отвала составила соответственно 44,3; 3,1 и 0,9% при влажности $W^a = 2,97\%$ и 43,1; 2,5 и 1,1% при $W^a = 4,20\%$.

Исследование теплотехнических характеристик гидролизного лигнина в отвалах показало возможность и целесообразность его использования в качестве топлива для утилизационных котлоагрегатов.

УДК 630*232.3

А. А. КУЛЫГИН

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА СОЗРЕВАНИЕ СЕМЯН КАШТАНА КОНСКОГО И ЯСЕНЯ ЗЕЛЕНОГО

На основании 17-летних фенологических наблюдений установлены суммы эффективных температур, при которых начинают созреть семена каштана конского и ясеня зеленого.

*) On the basis of 17-year phenological observations the sums of effective temperatures have been revealed at which the ripening of seeds of horse chestnut and green ash begins.

Потребность древесных пород в тепле, необходимом для формирования семян, изучена недостаточно [2—4].

Многолетние фенологические наблюдения позволили установить суммы эффективных температур, необходимые для созревания плодов каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) и ясеня зеленого (*Fraxinus viridis* Mchx.).

Объектами наблюдения служили отдельные деревья каштана и ранних форм ясеня в возрасте от 20 до 50 лет, произрастающие в Новочеркасске и его окрестностях. Район относится к разноотравно-типчаковой степи. Почва — североприазовские черноземы.

Плоды каштана конского — мясистые коробочки — при созревании раскрываются, и семена опадают на землю. Начало созревания крылаток ясеня зеленого отмечалось датой, когда большая их часть приобрела бурую окраску. Расчет сумм эффективных температур выполнен по общепринятой методике [1].

Ясень и каштан плодоносили ежегодно. Плодоношение первого в рассматриваемый период оценивается баллами 4 и 5, второго — 3 и 4 по шкале В. Г. Каппера.

| Год наблюдений | Каштан конский | | Ясень зеленый | |
|----------------|---|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| | Дата созревания и начала опадения семян | Сумма эффективных температур, °С | Дата созревания крылаток | Сумма эффективных температур, °С |
| 1976 | 15.09 | 2096,9 | 12.09 | 2060,7 |
| 1977 | 6.09 | 2134,2 | 19.09 | 2268,6 |
| 1978 | 27.09 | 2130,6 | 21.09 | 2092,1 |
| 1979 | 24.09 | 2549,1 | 15.09 | 2449,9 |
| 1980 | 1.10 | 2210,5 | 17.09 | 2118,4 |
| 1981 | 27.09 | 2474,0 | 28.09 | 2487,9 |
| 1982 | 1.10 | 2288,2 | 27.09 | 2260,6 |
| 1983 | 5.09 | 2326,3 | 10.09 | 2396,9 |
| 1984 | 10.09 | 2206,4 | 12.09 | 2233,4 |
| 1985 | 16.09 | 2284,0 | 20.09 | 2316,2 |
| 1986 | 12.09 | 2362,7 | 21.09 | 2490,2 |
| 1987 | 18.09 | 2051,8 | 29.09 | 2146,8 |
| 1988 | 18.09 | 2349,7 | 25.09 | 2405,0 |
| 1989 | 18.09 | 2392,8 | 15.09 | 2365,0 |
| 1990 | 12.09 | 2240,5 | 19.09 | 2303,1 |
| 1991 | 16.09 | 2387,8 | 25.09 | 2482,8 |
| 1992 | 17.09 | 2168,1 | 1.10 | 2269,6 |
| Среднее | 18.09 | 2273,7 ± 32,3 | 20.09 | 2302,8 ± 33,1 |

Как следует из таблицы, дата начала опадения семян каштана колебалась по годам: от 5 сентября в 1983 г. до 1 октября в 1980 и 1982 гг. в среднем 18 сентября.

Наименьшая сумма эффективности температур к началу опадения семян каштана составила 2051,8 °С в 1987 г., наибольшая 2549,1 °С в 1979 г., средняя за 17-летний период наблюдений 2273,7 ± 32,3 °С. Коэффициент вариации ± 5,85, точность наблюдений ± 1,42 %, что свидетельствует о небольшой амплитуде колебаний рассматриваемого показателя и достоверности полученных данных.

Крылатки ясеня созревали от 10 сентября в 1983 г. до 1 октября в 1992 г., в среднем 20 сентября, при накоплении суммы эффективных температур от 2060,7 до 2490,2 °С, в среднем 2302,8 ± 33,1 °С. Коэффициент вариации ± 5,93 %, точность наблюдений ± 1,44 %, что показывает наличие прямой связи между изучаемыми показателями.

Зная суммы эффективных температур, можно прогнозировать сроки начала созревания семян. Анализируя ход их накопления за 10... 20 лет, можно рассчитать самые ранние, поздние и средние даты созревания семян ясеня и каштана для отдельных географических пунктов, не прибегая к прямым фенологическим наблюдениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Венцкевич З. Г. Сельскохозяйственная метеорология.—Л.: Гидрометеонадат, 1952.—322 с. [2]. Кулыгин А. А. Влияние температурных условий на созревание семян гледичии обыкновенной и софоры японской // Лесоведение.—1984.—№ 1.—С. 73—76. [3]. Кулыгин А. А. Влияние температурных условий на созревание семян тополя и вяза // Лесн. журн.—1987.—№ 2.—С. 105—106.—(Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Кулыгин А. А. Влияние температурных условий на созревание семян акании белой // Лесн. журн.—1992.—№ 1.—С. 123—124.—(Изв. высш. учеб. заведений).

УДК 630*232.311

А. И. БАРАБИН

Архангельский государственный технический университет

ОБ ОБИЛЬНОМ УРОЖАЕ ШИШЕК ЕЛИ НА СЕВЕРЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ В 1989 г.

Показано полное совпадение данных прогноза и фактического обильного семеношения ели в 1989 г. Установлен огромный ареал урожая на Севере. Число семенящихся деревьев в чистых древостоях колебалось от 75 до 98 %. Семенная продуктивность ельников в Мурманской области в 2—3 раза ниже, чем в других областях, в худших же типах леса во всем регионе урожай меньше в 2—5 раз.

A total agreement of the forecast data and the actual abundant spruce cone bearing in 1989 has been revealed. The vast harvest area in the North is established. The amount of seed-bearing trees in pure stands varied from 75 to 98%. Seed productivity of spruce forest in Murman Region was 2 - 3 times lower than in other regions, but in the worst types of forest of the whole region the cone crops were 2 - 5 times as low.

При составлении прогноза «цветения» ели на ближайшую весну по разработанной нами и апробированной на производстве методике [2] в октябре 1988 г. был предсказан на 1989 г. обильный урожай семян в Архангельской и Вологодской областях. Прогноз полностью подтвердился [3]. По данным зональных семенных станций 1990 г., в Архангельской и Вологодской областях была апробирована максимальная за последние 25 лет масса семян ели — соответственно 155,7 и 53,3 т. В Коми Республике она достигла 35 т [4].

Для количественного учета урожая шишек в летний период 1989 г. в различных лесах Севера заложены 23 пробные площади по 0,25... 0,50 га каждая (см. таблицу). Характеристика пробных площадей довольно разнообразная: класс возраста V... IX; класс бонитета III... Va; доля ели в формуле состава 5... 10; полнота древостоев 0,4... 0,8; географическое положение местности от 69 до 59° с. ш.; типы леса от кисличника до хвощово-сфагнового. Общий урожай определяли по числу шишек на индикаторных (сигнальных) пяти верхних мутовках кроны каждого дерева также по разработанной нами методике [1].

Так как исследование проведено в большом регионе, характеристики даже одноименных типов леса различны в зависимости от природных условий той или иной части тайги. Для ельников Мурманской об-

| № проп. дн. | Тип ельника | Состав древостоя | Класс | | Под-та | Сред. диаметр, см | Число деревьев на 1 га | Процент ценных пород | Урожай шишек на 1 га, тыс. шт. | Урожай шишек на 1 га, меньше 1 се-на | Соот-ношение проп. кая, % |
|-------------|---------------------|------------------|-----------|----------|--------|-------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| | | | воз-раста | бонит-та | | | | | | | |
| 1 | Черничные свежий | 10Е + С, ед. В | IX | V | 0,5 | 24 | 336 | 97 | 35,9 | 110 | 100,0 |
| 2 | » | 9Е1С + В | VII | V | 0,5 | 16 | 296 | 91 | 28,8 | 107 | 80,2 |
| 3 | Хвощово-черничные | 10Е + В | VIII | V | 0,5 | 20 | 196 | 96 | 27,5 | 146 | 76,6 |
| 4 | Черничные свежий | 10Е, ед. В | VII | V | 0,5 | 16 | 202 | 83 | 23,0 | 137 | 64,1 |
| 5 | Чернично-вороничные | 9Е1В, ед. С | IX | Va | 0,4 | 20 | 194 | 98 | 14,5 | 76 | 40,4 |
| 6 | Вороничные | 10Е, ед. В | VIII | Va | 0,4 | 16 | 172 | 81 | 7,0 | 50 | 19,5 |
| 7 | Черничные свежий | 10Е, ед. С | VIII | IV | 0,5 | 24 | 456 | 75 | 109,1 | 319 | 100,0 |
| 8 | » | 9Е1С + Ос | IX | IV | 0,7 | 22 | 604 | 85 | 97,5 | 190 | 89,4 |
| 9 | Кисличные | 9Е1В + Ос | VII | III | 0,6 | 24 | 324 | 86 | 85,2 | 274 | 78,1 |
| 10 | Разнотравные | 7ЕЗВ + Ос | V | V | 0,4 | 18 | 226 | 91 | 71,4 | 347 | 65,4 |
| 11 | Черничные влажные | 9Е1В + Ос | IX | IV | 0,7 | 18 | 416 | 89 | 62,2 | 168 | 57,0 |
| 12 | Хвощово-сфагновые | 8Е2В, ед. С | VII | Va | 0,5 | 16 | 340 | 96 | 33,0 | 101 | 30,2 |
| 13 | Широкотравные | 7Е2П + 1В | VII | IV | 0,7 | 24 | 360 | 86 | 63,5 | 205 | 100,0 |
| 14 | Кисличные | 8Е1С1В | VI | III | 0,7 | 20 | 480 | 78 | 51,7 | 138 | 81,4 |
| 15 | » | 8Е1С1В | VI | III | 0,6 | 24 | 400 | 73 | 41,0 | 140 | 64,6 |
| 16 | Черничные влажные | 6Е2С2В | VI | IV | 0,5 | 18 | 360 | 68 | 23,7 | 97 | 37,3 |
| 17 | Травяно-сфагновые | 5Е1С4В | VI | IV | 0,6 | 16 | 372 | 56 | 14,8 | 71 | 23,3 |
| 18 | » | 7Е2С1В | VII | V | 0,6 | 16 | 302 | 74 | 9,8 | 44 | 15,4 |
| 19 | Черничные свежий | 9Е1С + В | VII | III | 0,6 | 24 | 504 | 58 | 69,6 | 238 | 100,0 |
| 20 | Друсничные | 7ЕЗС | VI | III | 0,7 | 22 | 560 | 68 | 65,5 | 172 | 94,1 |
| 21 | Черничные влажные | 6Е3С1Ос | VI | IV | 0,6 | 20 | 608 | 68 | 49,4 | 214 | 71,0 |
| 22 | Долгомощный | 7Е2С1Ос | VII | V | 0,6 | 20 | 564 | 43 | 39,8 | 164 | 57,2 |
| 23 | Травяно-сфагновые | 6Е3С1Ос | VII | V | 0,5 | 18 | 528 | 42 | 30,4 | 137 | 43,7 |

Мурманская область, Мурманский лесхоз

Архангельская область, Няндомакий лесхоз

Архангельская область, Котлясский лесхоз

Вологодская область, Вытегорский лесхоз

ласти характерно малое число деревьев на 1 га, почти чистые по составу древостой, сильнообожженные стволы высотой 10...15 м, класс бонитета V-Va. С продвижением на юг таксационные показатели и условия произрастания, естественно, улучшаются, состав древостоя более разнообразный, число деревьев на 1 га, а следовательно, и полнота, возрастают, бонитет улучшается.

Из таблицы видно, что с ухудшением условий произрастания во всех пунктах урожай шишек уменьшается. Наибольшие урожаи наблюдаются в зеленомошной группе типов леса, наименьшие в долгомощной, травяно-болотных и сфагновых. Если наибольший урожай принять за 100 %, то в ельниках травяно-болотных и сфагновых групп он в 2—5 раз ниже, чем в зеленомошных.

Согласно математической модели [3], описывающей урожай в зеленомошной группе типов леса, его обилие в наибольшей степени зависит от доли участия ели в составе древостоя, ее среднего диаметра и

процента семеносящих деревьев. Влияние полноты сказывается только при резком ее увеличении или уменьшении. Большое участие листовых в составе может вызвать существенное снижение семенной продуктивности насаждений (см. пробные площади 1, 2, 4, 7, 8, 14, 15, 19, 20).

Лучшее семеношение ели в Няндомском лесхозе по сравнению с Котласским объясняется наличием более чистых древостоев, большего класса возраста, числа деревьев ели на 1 га и процента семеносящих (см. таблицу, пробные площади 7—12 и 13—18).

Выводы

1. Обильный урожай ели в 1989 г. охватил Мурманскую, Архангельскую, Вологодскую области и Коми Республику. Число семеносящих деревьев в ельниках почти чистого состава колебалось от 75 до 98 %. С продвижением на юг оно снижалось из-за большего участия листовых в составе древостоя, что влечет за собой снижение урожая шишек на единице площади.

2. Урожай шишек в Мурманской области по зеленомошной группе типов леса в 2—3 раза ниже, чем в Архангельской и Вологодской, что объясняется сильной разреженностью древостоев.

3. С ухудшением условий местообразования урожая шишек в заболоченных ельниках уменьшается во всех пунктах в 2—5 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Барабин А. И. Семеношение ели на Европейском Севере / Арханг. лесотехн. ин-т.—Архангельск, 1986.—181 с.—Деп. в ЦБНТИлесхоз 24.11.86, № 537-ЛХ.
- [2]. Барабин А. И. Временные рекомендации по прогнозированию и количественному учету урожаяв семян ели на Европейском Севере.—М.: ЦУ КМТ Центра НОТ Минлесхоза РСФСР, 1987.—20 с. [3]. Барабин А. И. Закономерности семеношения ели на Европейском Севере и основы лесосеменного прогнозирования: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук.—М., 1990.—35 с. [4]. Барабин А. И. Зависимость качества семян сосны и ели от обилия урожая // Лесн. журн.—1992.—№ 2.—С. 13—16.—(Изв. высш. учеб. заведений).

НЕКРОЛОГИ

ЧУПКА ЭДУАРД ИМЕРИХОВИЧ

На 59-м году жизни скоропостижно скончался доктор технических наук, профессор, заведующий отделом физико-химических методов исследований Всероссийского научно-исследовательского института бумаги Эдуард Имерихович Чупка, многолетняя деятельность которого была целиком посвящена служению отечественной науке и целлюлозно-бумажной промышленности.

Э. И. Чупка родился в 1936 г. в г. Ленинграде. В 1964 г. он окончил Ленинградскую лесотехническую академию, а затем химический факультет Ленинградского государственного университета.

Эдуард Имерихович занимался научной деятельностью на кафедре химии древесины и целлюлозы ЛТА. В 1971 г. ему присуждена ученая степень кандидата технических наук, в 1975 г. — доктора наук.

С 1976 г. его жизнь была связана с Сибирским научно-исследовательским институтом целлюлозы и картона, где он возглавлял лабораторию физико-химических методов делигнификации древесины, а в 1979—1986 гг. занимал должность заместителя директора по научной работе.

С 1986 г. Эдуард Имерихович — заведующий отделом физико-химических методов исследований ВНИИБ.

Э. И. Чупка был признанным авторитетом в области совершенствования щелочных способов делигнификации и стабилизации свойств готовой продукции. Под его руководством в СибНИИЦКе и ВНИИБе выполнены пионерские работы по фотофизике и фотохимии лигнина, хемилюминесценции при окислении компонентов древесины, подбору ингибиторов при делигнификации древесины, применению электрохимической отбелилки целлюлозы, по свето- и термостабилизации целлюлозных материалов.

Э. И. Чупка — автор более 280 научных трудов, в том числе 14 изобретений. Созданная им научная школа признана в нашей стране и за рубежом, о чем свидетельствуют многочисленные связи с зарубежными научными центрами, участие в международных конференциях и совещаниях, частое использование его разработок. Под руководством Э. И. Чупки подготовлено к защите и защищено 23 диссертационные работы.

Э. И. Чупка был членом научно-технического совета по проблеме «Комплексное использование и воспроизводство лесных ресурсов».

Эдуард Имериховича отличала широкая эрудиция, незаурядные организаторские способности, принципиальность, чуткость, доброта и внимательное отношение к людям.

Свежая память об Эдуарде Имериховиче Чупке навсегда сохранится в наших сердцах.

Коллеги по работе, друзья

ЧИТАТЕЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЛЕСНОГО ЖУРНАЛА»

С 12 по 13 апреля 1994 г. в Воронежском лесотехническом институте под председательством проректора по научной работе проф. В. Г. Шаталова была проведена читательская конференция по материалам работы «ИВУЗ. Лесного журнала».

В конференции приняли участие зам. главного редактора проф. С. И. Морозов, ответственный секретарь редакции Р. В. Белякова и 56 читателей журнала, в том числе представители Воронежского управления лесами, воронежской газеты «Берег», НИИ лесной генетики и селекции, Воронежского педагогического университета, преподаватели и сотрудники Воронежского лесотехнического института и других организаций.

За время работы конференции в институте силами библиотеки были организованы выставки «Лесного журнала» за различные периоды его существования и отписок публикаций преподавателей, аспирантов и сотрудников института.

До начала конференции С. И. Морозов и Р. В. Белякова проконсультировали авторов журнала, рассмотрели рукописи поступивших статей, познакомились с кафедрами и научными лабораториями института.

С докладами на конференции выступили член редколлегии журнала, зав. кафедрой ботаники и физиологии растений ВЛТИ, проф. А. В. Веретенников, зам. главного редактора журнала проф. С. И. Морозов и ответственный секретарь редакции Р. В. Белякова.

В докладе проф. А. В. Веретенникова был дан обзор истории становления и трансформации «Лесного журнала». Отмечены основные периоды деятельности журнала: 1833—1851; 1871—1904; 1904—1918 гг. и с 1958 г. по настоящее время. Как видно, журнал дважды за 160 лет своего существования закрывался (1851 и 1918 гг.). Причины этого сводились к отсутствию средств или недостатку субсидий на издание, трудностям подписки и т. п.

Наиболее плодотворным был третий период (1904—1918 гг.), когда главным редактором являлся выдающийся представитель лесной науки, основоположник учения о лесе проф. Г. Ф. Морозов. В эти годы основное внимание «Лесной журнал» обращал на публикацию работ по лесоведению, лесоводству, экономике и организации лесного хозяйства.

С 1906 г. вместо 6 стало выходить 10 номеров (выпусков) «Лесного журнала». С ним активно сотрудничали известные ученые профессора М. М. Орлов, Д. Н. Кайгородов, Д. М. Товстолес, В. Д. Огневский, Н. П. Кобранов, Н. С. Нестеров, И. А. Холодковский, Г. Н. Высоцкий и многие другие. Их статьи представляли собой буквально поэмы о лесе с очень яркими примерами из его жизни и отрывками из художественных произведений и мифов. Проф. Г. Ф. Морозов сам опубликовал ряд оригинальных исследований, в частности из области учения о лесе, лесоведения и лесоводства.

В 1958 г., после длительного перерыва, «Лесной журнал» возродился в рамках «Известий высших учебных заведений». Много сил и энергии становлению журнала в новом амплуа отдали его главные редакторы — ректоры Архангельского лесотехнического института профессора Ф. И. Коперин, И. М. Боховкин и акад. РАСХ И. С. Медакции А. И. Кольцова. В настоящее время многоотрудную работу по подготовке и изданию журнала выполняют главный редактор журнала, ректор Архангельского государственного технического университета, акад. О. М. Соколов, зам. главного редактора, профессор Е. С. Романов и С. И. Морозов, ответственный секретарь редакции Р. В. Белякова.

В заключении доклада прозвучала просьба к присутствующим преподавателям, представителям производства, аспирантам и студентам активно сотрудничать с «Лесным журналом», оказать посильную материальную помощь журналу, частично за счет активной подписки на второе полугодие 1994 г.

Свое выступление проф. С. И. Морозов посвятил ознакомлению присутствующих со структурой журнала, текущим состоянием дел, трудностям и задачам по изданию журнала, его перспективам.

Он отметил, что учредителем «Лесного журнала» является Государственный комитет Российской Федерации по высшему образованию, соучредителем — Архангельский государственный технический университет. На страницах «Лесного журнала»

публикуются результаты исследований работников вузов, НИИ и производства по всем вопросам лесного комплекса — от ведения лесного хозяйства до получения товарной продукции.

Журнал выходит 6 раз в год. Следний за год фактический объем (журнала 9,0 печ. л. Ежегодно публикуется от 200 до 210 статей, срок публикации 5...7 месяцев. Тираж журнала 1000 экземпляров. География подписки в 1993 г.: РФ — 90; страны СНГ — 9; зарубежные страны — 1 %.

В 1992—1993 гг. существенно возросла публикация статей ученых РФ, уменьшилось число статей из Украины и Белоруссии, не поступают статьи из стран Прибалтики, Грузии, Узбекистана, Казахстана и других стран СНГ.

Рефераты журнала публикуются в реферативных биологическом и лесном журналах. Со второго квартала 1991 г. Институт научной информации в США помещает аннотации статей «Лесного журнала» в трех информационных изданиях. Для популяризации журнала за рубежом оглавление статей и их аннотации публикуются на английском языке.

В 1993 г. наибольшее число статей опубликовали работники АЛТИ (23 %), С.-Петербургской лесотехнической академии (11,5 %), затем Московского государственного университета леса (7,7 %), Воронежского (7,2 %) и Уральского (6,2 %) лесотехнических институтов. Число авторов составило 321 чел. Большинство из них имеют высокую научную квалификацию, что обеспечивает достаточно высокий уровень публикуемых статей.

Условия для издания «Лесного журнала» с 1992 г. существенно ухудшились. Подписка проходит с большими трудностями и запозданием. Возникают сложности и при отправке журнала наложенным платежом.

Некоторые из проблем преодолеваются изданием тематических номеров. В 1992 г. был выпущен тематический номер «Бореальные леса — проблема международная», в 1993 г. — «Комплексное использование и воспроизводство древесного сырья», в 1994 г. выходит номер по этой же тематике. Этим же целям служит и публикация заказных статей ведущих ученых лесотехнического профиля.

Далее докладчик остановился на необходимости расширения списка рецензентов «Лесного журнала», обновления и дополнения состава редколлегии и других злободневных задачах журнала.

Ответственный секретарь редакции Р. В. Белякова подробно рассказала о порядке оформления и прохождения рукописей в «Лесном журнале», о возможности издания специального номера журнала, посвященного исследованиям по комплексной переработке древесины и, в частности, по проблемам, разрабатываемым предприятием Молдрева, а также методическим разработкам института. Она сообщила, что отпечатанные номера журнала лежат в типографии из-за отсутствия финансирования. Этим же объясняется и отказ от отдельных отрывков публикуемых статей.

Р. В. Белякова перечислила принятые редколлегией журнала статьи, подготовленные преподавателями и сотрудниками ВЛТИ.

Докладчики ответили на многочисленные вопросы читателей и авторов «Лесного журнала». В решении конференции отмечены:

необходимость дальнейшего повышения научного уровня публикаций и сокращения сроков прохождения рукописей;

желательность более тесной связи авторов с редакционной коллегией журнала; целесообразность выпуска тематических номеров журнала;

возможность подготовки номера журнала, целиком посвященного научной и методической работе ВЛТИ.

Участники конференции высказали просьбу к ректорату и профессорско-преподавательскому составу ВЛТИ об оказании материальной помощи журналу.

С. И. Морозов

Архангельский государственный технический университет

А. В. Веретенников

Воронежский лесотехнический институт

От редакции. Выражаем глубокую благодарность коллективу Воронежского лесотехнического института, ректору, чл.-кор. РАЕН В. К. Попову, проректору по научной работе проф. В. Г. Шаталову, члену редколлегии проф. А. В. Веретенникову, директору библиотеки ВЛТИ О. Н. Ушаковой за большую работу по подготовке конференции и гостеприимную встречу работников «Лесного журнала».