

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

*Лесной журнал*

Основан в 1833 г.

Издается в серии ИВУЗ с 1958 г.

Выходит 6 раз в год

2

БИБЛИОТЕКА  
АРХАНГЕЛЬСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

2000

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Заместители главного редактора:

акад. **Е.С. Романов**, чл.-кор. **С.И. Морозов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Чл.-кор. **Е.Д. Гельфанд**, акад. **И.И. Гусев**, акад. **Р.Е. Калитеевский**, акад. **А.Н. Кириллов**, акад. **В.И. Комаров**, проф. **Н.В. Лившиц**, акад. **В.И. Мелехов**, акад. **Е.Г. Мозолева**, **В.В. Мусинский**, доц. **О. А. Неволин**, акад. **А.Н. Обливин**, акад. **В.И. Онегин**, акад. **Г.С. Ошепков**, чл.-кор. **А.В. Питухин**, чл.-кор. **В.К. Попов**, акад. **С.М. Репях**, акад. **А.Р. Родин**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Е.Д. Сабо**, акад. **Э.Н. Сабуров**, акад. **Е.Н. Самошкин**, акад. **В.И. Санев**, акад. **О. А. Терентьев**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, акад. **В.Я. Харитонов**, акад. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельман**

Ответственный секретарь **Р.В. Белякова**

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 2

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

Перевод **Н.Т. Подражанской**

Компьютерный набор **О.В. Деревцовой**, верстка **Е.Б. Красновой**

Сдан в набор 03.04.2000. Подписан в печать 05.05.2000.

Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,5. Усл. кр.-отт. 13,5.

Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.

Архангельский государственный технический университет

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 44 13 37,  
факс: (818-2) 44 11 46. e-mail: sokolov@agtu.ru http:// www.agtu.ru

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.А. Усольцев, А.А. Сальников.</i> Регрессионная модель предельных показателей фитомассы березовых древостоев .....	7
<i>А.С. Тихонов.</i> Возрождение Брянского лесного массива .....	17
<i>А.М. Невидомов, Е.В. Невидомова-Малаха, С.О. Ненюков.</i> Типы пойменных дубрав нижнего течения р. Оки .....	22
<i>С.В. Ушанов, Г.А. Доррер, Н.Г. Бархатов.</i> Математическое моделирование процессов распространения лесных пожаров и борьбы с ними .....	31
<i>М.А. Куцевалов, В.В. Успенский, А.К. Артюховский.</i> Коэффициенты экологической эффективности леса .....	36
<i>В.П. Бельков, Л.М. Козлова, С.А. Мирославова, И.Е. Берг, А.П. Полевщиков.</i> Экспериментальная характеристика разных режимов химического ухода за плантационными культурами ели .....	40
<i>Г.Е. Романов.</i> Учебно-опытное лесничество как объект многоцелевого природопользования .....	45
<i>Л.И. Майоров.</i> Требования потребителя к трактору для лесного хозяйства как первая ступень маркетинга .....	48

### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев, Д.Ю. Маслов.</i> Оптимизация режимов работы двигателя внутреннего сгорания и гидрообъемной передачи трелевочного трактора .....	52
<i>С.И. Морозов.</i> Удар плота о неподвижное препятствие .....	57
<i>В.И. Кучерявый, В.Д. Чарков, О.М. Ведерников.</i> Расчет прочности деталей лесохозяйственных тракторов при случайных процессах нагрузок .....	64
<i>Л.В. Друк, В.А. Дорошенко, Л.В. Леонов.</i> Выбор вариантов технологического оборудования первичной обработки древесины .....	69
<i>А.В. Жуков, М.К. Асмоловский, Д.В. Клоков.</i> Результаты исследовательских испытаний по нагруженности трансмиссии сортиментовоза на базе трактора МТЗ-82В .....	73

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Н.С. Прокофьев.</i> Моделирование экструзии наполненных реактопластов .....	79
<i>Т.П. Стукова.</i> О методике и результатах исследования динамики деревообрабатывающего оборудования .....	91
<i>В.И. Бызов.</i> Главный критерий стабильности работы технологических систем. .....	98
<i>С.В. Ершов.</i> О влиянии неравномерного нагрева на критическую радиальную силу вращающейся круглой пилы .....	105

### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>В.Н. Пиялкин, Е.А. Цыганов, А.Г. Никифоров.</i> Изучение формальной кинетики ультрапиролиза древесины методом теплового удара .....	110
<i>А.М. Айзенштадт, К.Г. Боголицын.</i> Оценка возможности использования системы на основе сульфатов железа в качестве медиатора в косвенной окредметрии .....	116

**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

- Н.П. Чупров.* Об экономическом значении древесных и недревесных лесных ресурсов Архангельской области ..... 123

**МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ**

- В.Н. Петров.* О преподавании дисциплины «Лесная политика и лесное право» ..... 129

**КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

- Р.Е. Капитеевский, А.С. Гудков, А.В. Виногорский, С.А. Смирнова.* Компьютеризация расчета производительности и основных параметров процессов сортировки, складирования и раскроя пиловочника ..... 136
-

---

## CONTENTS

### FORESTRY

<i>V.A. Usoltsev, A.A. Salnikov.</i> Regression Model of Phytomass Limiting Indices of Birch Stands .....	7
<i>A.S. Tikhonov.</i> Renaissance of Bryansk Forest Range.....	17
<i>A.M. Nevidomov, E.V. Nevidomova-Malakha, S.O. Nenyukov.</i> Types of Floodplain Oakeries in the Oka River Downstream .....	22
<i>S.V. Ushanov, G.A. Dorrer, N.G. Barkhatov.</i> Mathematical Simulation of Forest Fires Spreading and Control over them.....	31
<i>M.A. Kutsevalov, V.V. Uspensky, A.K. Artyukhovsky.</i> Coefficients of Forest Ecological Efficiency.....	36
<i>V.P. Belkov, L. M. Kozlov, S. A. Miroslovova, I. E. Berg, A. P. Polevshchikov.</i> Experimental Characteristic of Different Modes of Chemical Treatment for the Plantation Spruce.....	40
<i>G.E. Romanov.</i> Training-experimental Forest Range as Object of Multipurpose Nature Management.....	45
<i>L.I. Majorov.</i> Customer Requirements to Forest Machine as the First Stage of Marketing.....	48

### WOODEXPLOITATION

<i>G.M. Anisimov, A. M. Kochnev, D. Yu. Maslov.</i> Optimization of Internal Combustion Engine Operation and Hydrovolume Transmission of Skidder....	52
<i>S.I. Morozov.</i> Raft Stroke on Motionless Obstacle.....	57
<i>V.I. Kucherjavy, V. D. Charkov, O. M. Vedernikov.</i> Strength Analysis of Agricultural Tractors Parts at Random Load Processes.....	64
<i>L.V. Druk, V.A. Doroshenko, L.V. Leonov.</i> Selection of Options for Technological Equipment of Primary Wood Processing.....	69
<i>A.V. Zhukov, M. K. Asmolovsky, D. V. Klokov.</i> Research Testing Data on Transmission Loading of Short Logger on the MTZ-82V Truck's Base.....	73

### MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>N.S. Prokofjev.</i> Modelling of Extrusion of Filled Thermosetting Plastics.....	79
<i>T.P. Stukova.</i> On Technique and Results of Analyzing the Dynamics of Wood-processing Equipment.....	91
<i>V.I. Bysov.</i> Main Criterion of Stability of Technological Systems Operation.....	98
<i>S.V. Ershov.</i> On Irregular Heating Effect on Critical Radial Strength of Circular Saw.....	105

### CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>V.N. Pijalkin, E.A. Tsyganov, A.G. Nikiforov.</i> Formal Kinetics Study of Wood Ultraprolysis by Thermal Shock Method.....	110
<i>A.M. Aizenshtadt, K.G. Bogolitsyn.</i> Assessment of the System Usage on Ferrum Sulphate Base as Mediator in Indirect Oxredmetricks.....	116

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

- N.P. Chuprov.* On Economic Significance of Wood and Non-wood Forest Resources of the Arkhangelsk Region..... 123

*METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING*

- V.N. Petrov.* On Teaching on Forest Policy and Forest Law Subject ..... 129

*COMPUTERIZATION OF TRAINING AND TECHNOLOGICAL PROCESSES*

- R.E. Kaliteevsky, A. S. Gudkov, A. V. Vinogorsky, S. A. Smirnova.* Computerization of Calculating Productivity and Main Parameters of Sawlog Sorting, Stockpiling and Cutting..... 136
-

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*52:630\*174.754

В.А. УСОЛЬЦЕВ, А.А. САЛЬНИКОВ

Уральская государственная лесотехническая академия  
Институт леса УрО РАН

Усольцев Владимир Андреевич родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства Уральской государственной лесотехнической академии, заведующий лабораторией биологической продуктивности лесов Института леса УрО РАН. Имеет 160 печатных работ по проблемам оценки биологической продуктивности и структуры фитомассы лесов.



Сальников Александр Александрович родился в 1970 г., окончил в 1992 г. Уральский лесотехнический институт, аспирант кафедры лесной таксации и лесоустройства Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет 12 печатных работ в области оценки фитомассы лесов.

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ФИТОМАССЫ БЕРЕЗОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

По данным фитомассы 62 пробных площадей, заложенных в березняках Урала и Казахстана, рассчитана рекурсивная система многомерных регрессионных уравнений. Полученная модель описывает предельную траекторию надземной фитомассы (стволы, ветви, листва) березняков региона, выше которой древостои не выходят вследствие самоизреживания.

A recursive system of multivariate regression equations has been developed based on the phytomass data obtained from 62 test plots in birch stands of the Urals and Kazakhstan region. The model derived describes the limiting trajectory of the top phytomass (stems, branches, foliage) in the birch stands of the region, not exceeded in the stands due to natural thinning.

Около 40 лет назад японскими учеными при исследовании связи продуктивности с плотностью древостоя были выведены две основополагающие альтернативные зависимости: правило 3/2 [15], описывающее максимальную массу среднего дерева как функцию плотности (прямая самоизреживания в логарифмических координатах с угловым коэффициентом 3/2), и уравнение обратной дроби [12], описывающее массу среднего дерева в статическом густотном эксперименте как функцию плотности. Обе зависимости получили многократное эмпирическое подтверждение (рис. 1) и

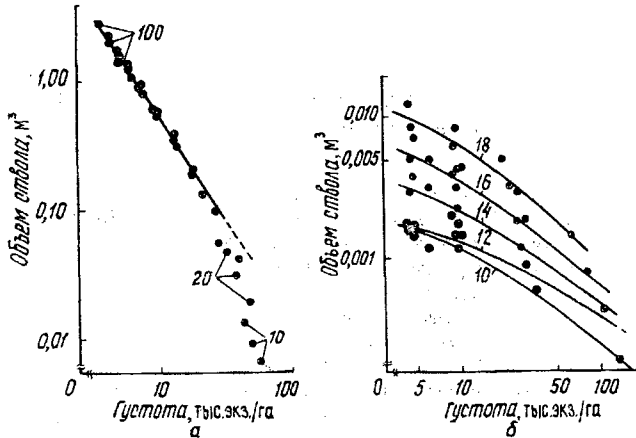


Рис. 1. Альтернативные зависимости объема ствола среднего дерева древостоя от плотности: а – согласно правилу самоизреживания 3/2 для сосны веймутовой [14]; б – согласно уравнению обратной дроби для сосны густоцветной [10]. Цифрами обозначен возраст древостоев

интерпретировались как «законы» самоизреживания [11]. Какое-то время они существовали независимо друг от друга, находясь в явном концептуальном противоречии [2, 11], пока не было показано, что первая (правило 3/2) является предельным случаем (огibaющей кривой) семейства альтернативных кривых густотного статического эксперимента, описываемых уравнениями обратной дроби [11] (рис. 2).

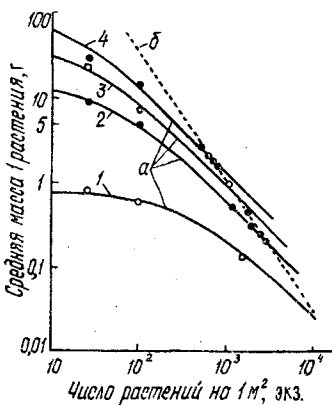


Рис. 2. Зависимость средней массы растения гречихи (*Fagopyrum sagittatum*) в абс. сухом состоянии от числа растений на 1 м<sup>2</sup>: а – семейство кривых, описываемых уравнениями обратной дроби; б – линия самоизреживания как огibaющая семейства кривых (описывающая правило 3/2). Результат густотного эксперимента [11] (посев при начальных густотах от 30 до 50:000 растений на 1 м<sup>2</sup>); 1 – 4 – число дней после посева соответственно 21, 35, 49 и 63



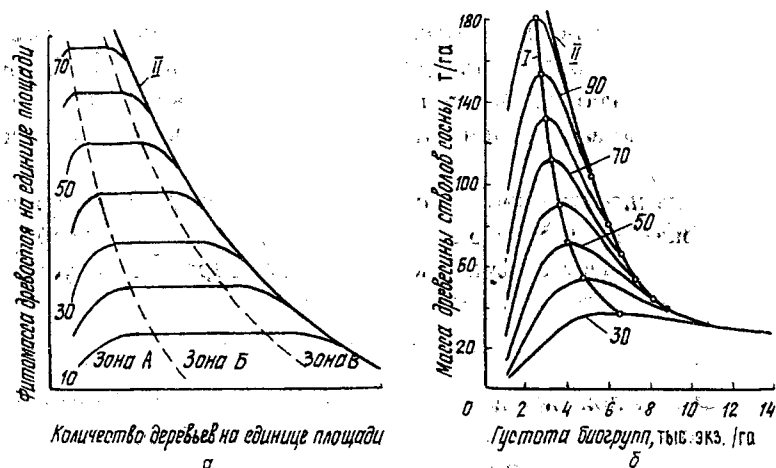


Рис. 3. Зависимость фитомассы древостоя от густоты для различных возрастов (10...90 лет) и линии самоизреживания II как огибающей семейства кривых: а – принципиальная схема с выделением зон неполного использования площади роста (А), полного (Б) и зоны самоизреживания (В) [13]; б – зависимость для стволов биогрупп сосны Казахского мелкосопочника; I – линия оптимальной густоты; II – линия самоизреживания [3]

Позднее П. Уэст [13] названные две концепции совместил аналогичным образом, однако они были выражены в терминах фитомассы древостоев на единице площади, а не массы среднего дерева (рис. 3, а). При этом каждая густотная кривая характеризовалась тремя специфическими участками: неполного использования площади роста (восходящая кривая А), полного (горизонтальный участок Б) и отрезок самоизреживания (нисходящий участок В). Семейство густотных кривых для некоторого возрастного диапазона сформировало зоны неполного использования площади роста (А), полного (Б) и самоизреживания (В), разделенные на рис. 3, а пунктирными линиями. Правые концы густотных кривых и в этом случае образовали огибающую кривую – линию самоизреживания, выше которой древостой не могут находиться в устойчивом состоянии.

Концепция П. Уэста [13] не подтверждена экспериментальными данными и не доведена до уровня аналитического описания. Это было выполнено в наших работах для массы стволовой древесины, отнесенной к единице площади биогрупп, в сосняках Казахского мелкосопочника (рис. 3, б) и в березняках семенного и порослевого происхождения в Северном Казахстане [3, 4]. Поскольку при аналитическом описании семейства густотных кривых двухфакторной регрессионной моделью [3, 4]

$$P_{бр} = f(A, N_{бр}), \quad (1)$$

где  $P_{бр}$  – фитомасса биогруппы, т/ условный га;

$A$  – возраст, лет;

$N_{бр}$  – густота биогруппы, тыс.экз./ условный га),

наличие горизонтального участка (зона *Б*) неочевидно, вместо зоны полного использования площади роста была выделена кривая оптимальной густоты (*I*), соединяющая вершины колоколообразных густотных кривых. Линия самоизреживания при этом выделена как линия предельной густоты (*II*).

Далее на примере биогрупп березовых древостоев Северного Казахстана было показано [3, 5], что фитомасса биогруппы  $P_{бр}$ , отнесенная к единице ее площади, является функцией не только возраста  $A$  и густоты  $N_{бр}$ , но и диаметра среднего дерева биогруппы  $D_{бр}$ , см:

$$P_{бр} = f(A, N_{бр}, D_{бр}). \quad (2)$$

Поскольку при фиксированных возрасте и густоте биогрупп диаметр среднего ствола варьирует в широком диапазоне, были выделены минимальный, средний и максимальный диаметры среднего дерева (соответственно  $D_{бр}^{мин}$ ,  $D_{бр}^{ср}$  и  $D_{бр}^{макс}$ ) и каждый аппроксимирован по фактическим значениям возраста и густоты. Полученная в итоге рекурсивная система уравнений [7]

$$\left. \begin{array}{l} I. \left\{ \begin{array}{l} D_{бр}^{мин} = f(A, N_{бр}); \\ D_{бр}^{ср} = f(A, N_{бр}); \\ D_{бр}^{макс} = f(A, N_{бр}); \end{array} \right. \\ \downarrow \\ II. P_{бр} = f(A, N_{бр}, D_{бр}) \end{array} \right\} \quad (3)$$

и результаты ее табулирования в последовательности, показанной стрелкой, дали возможность установить не линию (см. рис. 3, б), а полосу оптимума (рис. 4), которая соответствует зоне полного использования площади роста

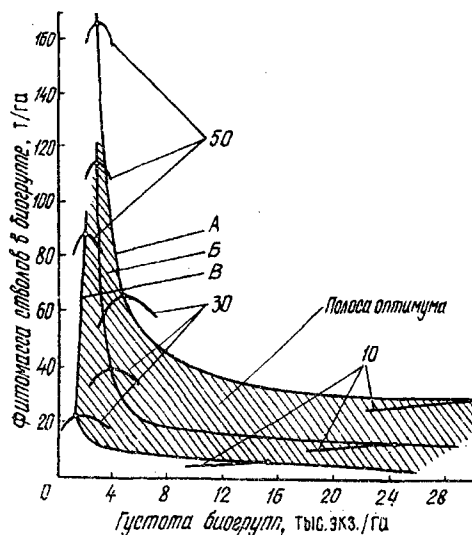


Рис. 4. Зависимость фитомассы стволов от густоты биогрупп березняков семенного происхождения I класса бонитета различного возраста (10...50 лет): *A*, *B*, *C* — линии оптимальной густоты соответственно при максимальном, среднем и минимальном диаметрах среднего дерева в биогруппах [5]

(Б) на рис. 3, а. Позднее было показано, что запас биогруппы  $M_{6r}$ , м<sup>3</sup>/га, фактически определяется четырьмя массообразующими показателями [9]:

$$M_{6r} = f(A, N_{6r}, D_{6r}, H_{6r}), \quad (4)$$

где  $H_{6r}$  – высота среднего дерева биогруппы, м.

В этом случае положение линии предельной густоты (линии самоизреживания) определяется расчетом и последовательным табулированием рекурсивной системы уравнений [9]

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } D_{6r}^{\max} = f(A, N_{6r}); \\ \downarrow \\ \text{II. } H_{6r}^{\max} = f(A, N_{6r}, D_{6r}); \\ \downarrow \\ \text{III. } M_{6r} = f(A, N_{6r}, D_{6r}, H_{6r}). \end{array} \right\} \quad (5)$$

В данной работе нами предпринята попытка рассчитать регрессионную модель предельных показателей фитомассы чистых одновозрастных березняков не на уровне биогрупп (как это было выполнено в работе [9]), а на уровне древостоев. Основой для расчетов послужил обширный экспериментальный материал, полученный в трех регионах: Северном Казахстане (Согровский и Полудинский лесхозы Северо-Казахстанской области на границе с Российской Федерацией, юг Западно-Сибирской низменности, зона лесостепи; Боровской и Аракарагайский лесхозы Кустанайской области в Тургайском прогибе, зона степи), Южном Урале (Кусинский лесхоз Челябинской области в Южноуральской провинции горных южнотаежных и смешанных лесов [1]) и Среднем Урале (Березовский лесхоз Свердловской области и Учебно-опытный лесхоз УГЛТА в Зауральской холмисто-предгорной провинции в подзоне южной тайги [1]). В названных трех регионах было заложено соответственно 40, 11 и 11 (всего 62) пробных площадей при возрасте сомкнутых древостоев от 5 до 90 лет в диапазоне-типов леса от влажных до сухих, на которых взято по ступеням толщины соответственно 500, 100 и 97 (всего 697) модельных деревьев. Методика получения и характеристика экспериментальных данных фитомассы была изложена ранее [4 – 6].

По аналогии со структурой модели (4) запас древостоя  $M$ , м<sup>3</sup>/га, определяется четырьмя массообразующими показателями: возрастом  $A$ , лет; густотой  $N$ , тыс.экз./га; средними диаметром  $D$ , см, и высотой  $H$ , м. Для расчета динамики надземной фитомассы березняков по известной динамике запасов  $M$  применен переводной коэффициент  $P/M$ , т/м<sup>3</sup>, представляющий отношение массы  $i$ -й фракции (ствол, скелет кроны, листва) в абс. сухом состоянии, т/га, к запасу стволовой древесины, м<sup>3</sup>/га. Этот коэффициент, как и запас  $M$ , определяется одними и теми же четырьмя массообразующими показателями [8]. На основе содержательного анализа массива экспериментальных данных запасов и переводных коэффициентов 62 пробных площадей подобрана структура четырехфакторных регрессионных моделей:

Таблица 1

Константы, факторы, их сочетания и показатели адекватности уравнений	Значения констант и показателей адекватности уравнений (6)			
	для запаса стволочной древесины, м <sup>3</sup> /га	для переводных коэффициентов $P/M$ надземной фитомассы, т/м <sup>3</sup>		
		стволов	скелета кроны	листвы
$a_0$	1,149	1,388	6,330	-15,735
$a_1 \ln A$	-1,823	-2,538	10,510	22,101
$a_2 \ln^2 A$	-	-	-3,963	-9,307
$a_3 \ln^3 A$	-	-	0,254	0,732
$a_4 \ln N$	-	-	-7,456	-
$a_5 \ln^2 N$	-	-	0,876	-
$a_6 \ln D$	-	0,292	-13,117	-5,484
$a_7 H$	0,583	-	-	-
$a_8 H^2$	-	0,007	-	-
$a_9 \ln H$	-	-	-1,339	-
$a_{10} \ln^2 A \ln N$	-	-0,080	-	0,301
$a_{11} \ln A \ln N$	0,552	0,877	-	-1,224
$a_{12} H \ln^2 A$	-	0,017	-	-
$a_{13} H \ln A$	-0,047	-0,209	-	-
$a_{14} H \ln D$	-0,113	-	-	-
$a_{15} \ln D \ln H$	-	-	-	-3,635
$a_{16} H \ln N$	-0,072	0,054	-	-
$a_{17} \ln M \ln H$	-	-1,080	-	-
$a_{18} \ln A \ln D$	0,890	-	3,292	3,993
$a_{19} \ln A \ln H$	-	1,312	-	2,197
$a_{20} \ln M \ln D$	-	-	2,477	-
$R^2$	0,977	0,582	0,707	0,807
Стандартная ошибка уравнения $SE$	0,152	0,060	0,281	0,355

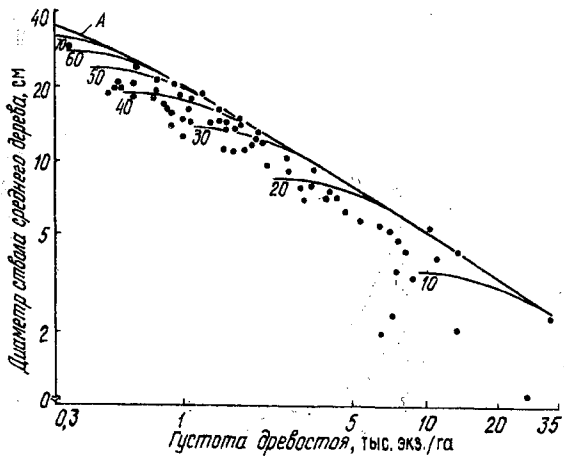
$$\ln Y = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A + a_3 \ln^3 A + a_4 \ln N + a_5 \ln^2 N + a_6 \ln D + a_7 H + a_8 H^2 + a_9 \ln H + a_{10} \ln^2 A \ln N + a_{11} \ln A \ln N + a_{12} H \ln^2 A + a_{13} H \ln A + a_{14} H \ln D + a_{15} \ln D \ln H + a_{16} H \ln N + a_{17} \ln M \ln H + a_{18} \ln A \ln D + a_{19} \ln A \ln H + a_{20} \ln M \ln D, \quad (6)$$

где  $Y$  – запас древостоя  $M$ , м<sup>3</sup>/га, или переводной коэффициент  $P/M$ , т/м<sup>3</sup>.

Уравнения (6) были рассчитаны по программе SYSTAT с отбрасыванием переменных, значимых на уровне ниже  $t_{05}$ . Характеристика рассчитанных уравнений и значения их констант приведены в табл. 1.

Итак, запас древостоя на единице площади (и переводной коэффициент фитомассы) при заданном возрасте в предельном ценотическом состоянии, т. е. при максимально возможной густоте, определяется двумя основными массообразующими показателями – средним диаметром и средней высотой. Поэтому, как и при моделировании предельных показателей фитомассы березы на уровне био групп [9], вначале необходимо рассчитать траектории изменения диаметра среднего дерева, максимального для каждого класса возраста, и в пределах последнего – максимального для каждой градации густоты. Для получения исходных данных к расчету таких траекторий

Рис. 5. Кривые  $D_{\text{макс}} = f(N)$  для березняков в возрастах 10...70 лет, полученные табулированием уравнения (7) по задаваемым значениям возраста и густоты;  $A$  — линия самоизреживания



все экспериментальные данные (62 наблюдения) диаметров среднего дерева древостоя были распределены в двухходовую (по возрасту и густоте) матрицу и из каждой ячейки матрицы отобраны максимальные значения диаметра среднего дерева  $D_{\text{макс}}$ , см. Последние аппроксимированы зависимостью

$$\ln D_{\text{макс}} = -13,894 + 8,491 \ln A - 1,068 \ln^2 A + 3,489 \ln N - 0,257 \ln^2 N - 1,014 \ln A \ln N; R^2 = 0,990; SE = 0,083. \quad (7)$$

Положение траектории предельных состояний древостоев (огibaющей), описываемой уравнением (7), относительно экспериментальных данных показано на рис. 5.

Высота среднего дерева древостоя зависит не только от возраста и густоты, но и диаметра среднего дерева  $D$ . Поэтому для получения исходных данных для расчета траекторий изменения максимальных значений высот среднего дерева все экспериментальные данные высот (62 наблюдения) были распределены в трехходовую (по возрасту, густоте и диаметру среднего дерева) матрицу и из каждой ячейки матрицы отобраны максимальные значения высот среднего дерева. Последние аппроксимированы зависимостью

$$\ln H_{\text{макс}} = -0,902 + 1,547 \ln A - 0,288 \ln^2 A + 0,200 \ln A \ln D + 0,035 \ln N \ln D; R^2 = 0,959; SE = 0,109. \quad (8)$$

Для получения предельных траекторий (огibaющих) запаса стволовой древесины и фракций надземной фитомассы березняков уравнения (6) — (8) объединены в рекурсивную систему

$$\left. \begin{array}{l} \text{I. } D_{\text{макс}} = f(A, N); \\ \downarrow \\ \text{II. } H_{\text{макс}} = f(A, N, D); \\ \downarrow \\ \text{III. } M = f(A, N, D, H); \\ \downarrow \\ \text{IV. } P/M = f(A, N, D, H); \end{array} \right\} \quad (9)$$

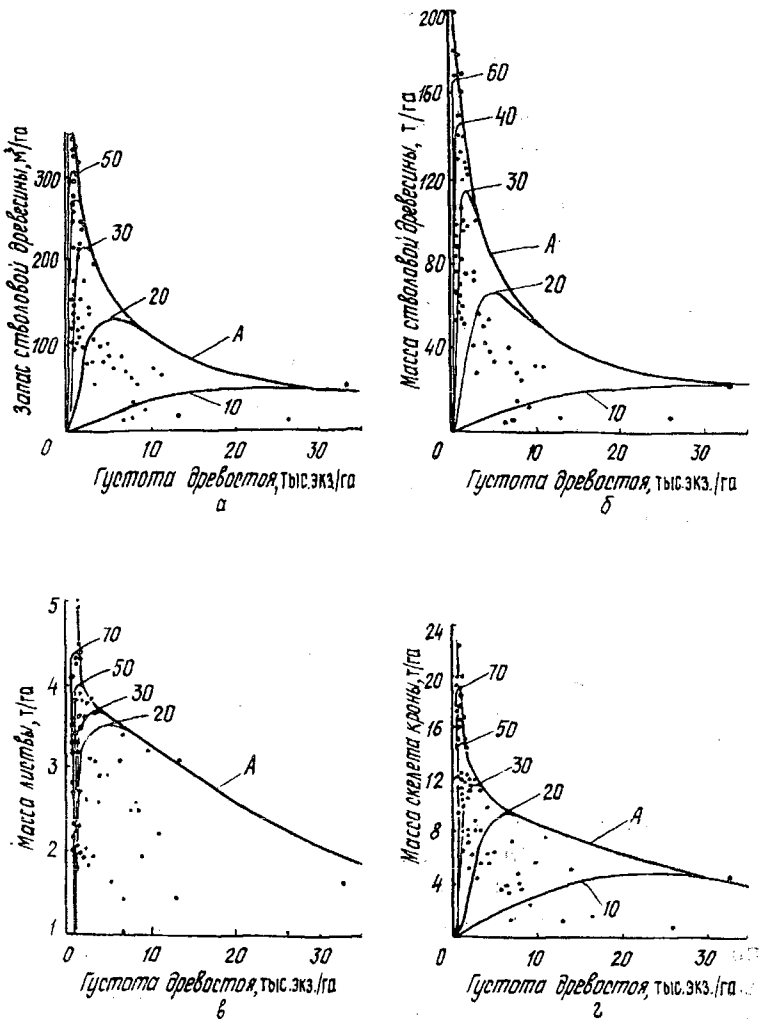


Рис. 6. Колоколообразные густотные кривые запаса стволовой древесины (а), массы стволов (б), массы листвы (в) и массы скелета кроны (г) березняков в абс. сухом состоянии для различных возрастов (10...70 лет), полученные последовательным табулированием рекурсивной системы (9); А – линия самоизреживания

табулированием которой в последовательности, показанной стрелками, получены семейства густотных кривых запасов стволовой древесины и фитомассы березняков по классам возраста. Правые ветви кривых образуют для запаса и фитомассы огибающие, положение которых относительно экспериментальных данных показано на рис. 6, а цифровые значения надземной фитомассы, предельной для задаваемых густот, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Предельные показатели древостоев	Значения показателей при густоте древостоя, тыс. экз./га								
	1	2	3	5	10	15	20	25	35
Диаметр среднего дерева, см	20,5	13,5	10,6	7,9	5,2	4,0	3,3	2,9	2,3
Высота среднего дерева, м	21,4	17,5	15,5	12,7	9,6	8,0	6,9	6,1	5,0
Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га	330	250	220	170	110	80	65	55	45
Надземная фитомасса в абс. сухом состоя- нии, т/га:									
стволов	180	130	108	83	54	40	33	28	24
скелета кроны	21,0	16,2	15,0	13,2	10,8	9,4	8,1	7,0	5,0
листвы	5,4	3,9	3,8	3,6	3,2	2,9	2,6	2,3	1,9
всего	206,4	150,1	126,8	99,8	68,0	52,3	43,7	37,3	30,9

Предельные показатели запаса и надземной фитомассы березняков, рассчитанные по регрессионным моделям на уровне биогрупп с последующим пересчетом на древостой по корректировочному коэффициенту [9], отличаются от рассчитанных по моделям на уровне древостоев (рис. 6), (более близки к полученным здесь предельным значениям соответствующие показатели, рассчитанные опосредованно, через стратификацию по биогруппам, для порослевых березняков). Возможные причины расхождений состоят в том, что для стратификации по биогруппам были подобраны максимально сомкнутые древостои в ограниченном регионе Казахстана, а модели (6) рассчитаны по данным, полученным в некотором диапазоне полнот и лесорастительных условий в древостоях трех регионов.

Таким образом, использование рекурсивной системы регрессионных уравнений позволило описать траектории предельно возможных запасов стволовой древесины и надземной фитомассы березняков Урала и Казахстана. Древостои, имеющие более высокие значения названных показателей, не могут находиться в устойчивом состоянии. В какой-то момент они выходят за пределы огибающей, но вследствие срабатывания механизмов саморегуляции (самоизреживания) возвращаются на допороговый уровень показателей.

Предельная огибающая надземной фитомассы представляет собой геометрическое место точек пересечения  $i$  густотных кривых древостоев в смежных возрастах  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$  при их разности  $(A_{n+1} - A_n) \rightarrow 0$ . При экстраполяции смежных густотных кривых за пределы точки их пересечения кривая древостоев старшего возраста находится ниже кривой младшего возраста, однако теоретически таких древостоев не может быть. Этот вывод исходит из представления о линии самоизреживания одновозрастного древостоя в онтоценогенезе: густота древостоя в старшем возрасте не может быть равна или больше, чем в младшем возрасте.

Предельная огибающая надземной фитомассы представляет собой геометрическое место точек пересечения  $i$  густотных кривых древостоев в смежных возрастах  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$  при их разности  $(A_{n+1} - A_n) \rightarrow 0$ . При экстраполяции смежных густотных кривых за пределы точки их пересечения кривая древостоев старшего возраста находится ниже кривой младшего возраста, однако теоретически таких древостоев не может быть. Этот вывод исходит из представления о линии самоизреживания одновозрастного древостоя в онтоценогенезе: густота древостоя в старшем возрасте не может быть равна или больше, чем в младшем возрасте.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. - Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. - 176 с. [2]. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. - 211 с. [3]. Усольцев В.А. Оценка показателей продуктивности в биогруппах разной густоты // Лесоведение. - 1985. - № 2. - С. 62-72. [4]. Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. - Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985. - 191 с. [5]. Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. - 253 с. [6]. Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. - Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1997. - 216 с. [7]. Усольцев В.А. Применение системы связанных регрессионных уравнений в лесоводственных исследованиях: Учеб. пособие. - Екатеринбург: УГЛТА, 1997. - 108 с. [8]. Усольцев В.А., Сальников А.А. Ход роста надземной фитомассы березняков Среднего Урала // Леса Урала и хозяйство в них. - Екатеринбург: УГЛТА, 1999. - Вып.19. - С. 240 - 252. [9]. Усольцев В.А., Усольцев А.В. Оценка предельных показателей продуктивности березовых древостоев по исходным данным составляющих их биогрупп // Лесн. журн. - 1996. - № 4-5. - С.12-21. - (Изв. высш. учеб. заведений). [10]. Ando T. Ecological studies on the stand density control in even-aged pure stands // Gov. For. Exp. Stn. - Tokyo, 1968. - Bul. 210. - P. 1-153. [11]. Drew T.J., Flewelling J.W. Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their application to Monterey pine plantations // Forest Sci. - 1977. - Vol. 23, N 4. - P. 517-534. [12]. Kira T., Shinozaki K. Intraspecific competition among higher plants. VII. Logistic theory of the C-G effect. // J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. - 1956. - Vol. 7 (ser. D). - P. 35-72. [13]. West P.W. Density management diagrams and thinning practice in monoculture // Foresrty - Satisfying National and Regional Needs: The 2nd Joint Conf. of the Inst. of Foresters of Australia and New Zealand Inst. of Foresters Inc. - 1985, Hobart, Tasmania. - P. 163-168. [14]. White J. The allometric interpretation of the self-thinning rule // J. Theor. Biol. - 1981. - Vol. 89. - P. 475-500. [15]. Yoda K. a. o. Intraspecific competition among higher plants. XI. Self-thinning in over-crowded pure stands under cultivated and natural conditions / K. Yoda, T. Kira, H. Ogawa, K. Hozumi // J. Biol. - Osaka City Univ., 1963. - Vol. 14. - P. 107-129.

Поступила 12 февраля 1997 г.

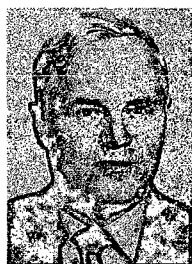


УДК 911.5:630\*187

*А.С. ТИХОНОВ*

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Тихонов Анатолий Семенович родился в 1934 г., окончил в 1959 г. Всесоюзный заочный лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и защиты леса Брянской государственной инженерно-технологической академии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 100 научных трудов по проблемам рубок леса и лесовозобновления.



## ВОЗРОЖДЕНИЕ БРЯНСКОГО ЛЕСНОГО МАССИВА

Дана историческая справка и обоснование размеров Брянского лесного массива на ландшафтной основе как природного комплекса.

A historical reference and substantiation of Bryansk forest range size is presented as a natural complex on the landscape basis.

Еще в летописи XII в. [14] упомянута «лесная земля» за г. Карачевым (Корачевым). Она была известна Петру I, пославшему по указу 1722 г. одного из первых «вальдмейстеров» в г. Брянск. Приехавшие в 1735 г. для отбора корабельных деревьев лейтенанты флота Анхворов и Миротворец охарактеризовали Брянский лесной массив как полосу леса шириной 20 верст (21,2 км), протянувшуюся от Брянска по левому берегу р. Десны на 90 верст (95,4 км). Они указали на пойменный лес около Брянска с дубом для строительства малых судов и на сосну старше 100 лет – для больших судов. В 1766 г. капитан-лейтенант Шишкин описывает по р. Десне и ее притокам Снежесть, Ревна и до г. Трубчевска тысячи корабельных дубов, около «Карачевского великого шляха» – сосны, а вдоль р. Снежети – ясени для фрегатного и шлюпочного набора [15].

О масштабах судостроения можно судить по таким примерам: в 1697 г. в Брянске было построено около 200 стругов, в 1737 г. – 50 бригантин. Суда участвовали в Крымской кампании, а в войне со шведами потребовалось строительство артиллерийского завода. Деревянные части пушек изготавливали из дуба. Вскоре брянская сосна пошла в большом количестве на сооружение судов в г. Херсоне. Древесину заготавливали в основном приисковыми рубками, содействовавшими распространению ели и сокращению площади дубрав до 10 %. Оставляемая нетоварная часть стволов и общая

захламленность увеличивали опасность возникновения пожаров. На горях возобновлялась сосна, и преобладание сосняков продолжалось.

Первые лесоустроительные работы развернулись с 1845 г. в казенных лесничествах, были введены сплошные чересполосные рубки. Сохраняли подрост, при ширине лесосек более 60 м оставляли семенные деревья сосны в количестве от 40 до 60 на десятину (1,1 га) или деревья ели не старше 50 лет. В лиственных лесах ориентировались на естественное возобновление «порослью». Иногда сохраняли II ярус ели, проводили посев и посадку леса на прогалинах [1].

В преобладавших частновладельческих лесах рубку вели довольно бессистемно. Растущие на песчаных почвах леса к концу XIX в. оставались преимущественно сосновыми, на границе с Жиздринским уездом произрастали также дуб, клен, береза. Левобережье р. Десны представляло широкую лесную долину [2].

К началу XX в. резко сократилась площадь ельников, которые страдали от ветровалов, а в период 1876–1896 гг. от засух. Возросла площадь мелколиственных насаждений, которые как барьеры уже сдерживали развитие пожаров. Благодаря этому послепожарные сосняки накапливали к возрасту спелости (100 ... 120 лет) до 400 м<sup>3</sup> в III классе бонитета и до 700 м<sup>3</sup> в Ia. Г.Ф. Морозов писал: «Брянский лесной массив является ... характерным в физико-географическом отношении ... Будучи с запада на всем протяжении своим отграничена Десною... равнина с востока переходит в соседний Карачевский уезд Орловской губ., на юге входит в пределы Черниговской губ., а на севере граничит с Жиздринскими лесами Калужской губ.» [9].

Изучавший здесь геологическое строение П.А. Землятинский [6] перечислил казенные лесничества от г. Брянска и р. Болвы до Карачева и назвал их площадь 80 тыс. десятин (87,2 тыс. га), между ними внедряются частные леса. Но такое выделение массива он считал условным, поясняя, что район с песчаными почвами простирается более чем на 100 верст на юг и юго-запад, где сменяется лесными островами. В зависимости от смывности ледниковыми потоками у поймы р. Десны обнажены пески с прослойками глинистой породы, которые в сочетании с нижележащими юрскими глинами обуславливают высокое стояние грунтовых вод. Третья и четвертая террасы образовались на глауконитовых песках с включением на различной глубине фосфоритов, встречается зеленый суглинок и выше неразмытый меловой рухляк.

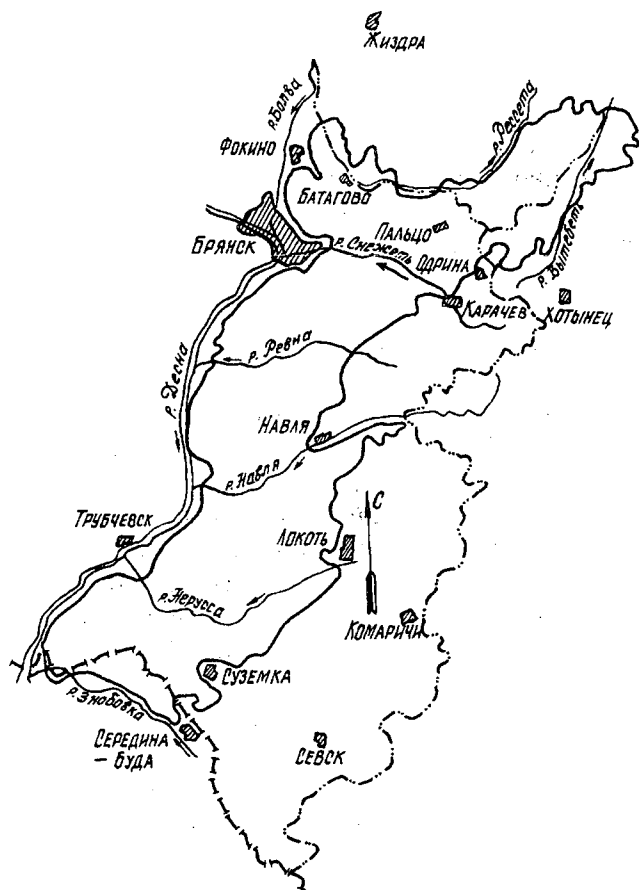
Позже и Г.Ф. Морозов, повторяя, что Брянский лесной массив занимает громадное пространство, но границы указать трудно, назвал в нем ограниченное число рек: «Болва, Радица, Свень, Снежить, относящиеся к системе Десны, и болотистая Рессета с ее притоками системы Оки» [10].

В статьях БСЭ [3, 12] описана только эта часть, с чем многие ученые были не согласны. Б.В. Гроздов [5], характеризуя леса Брянской области в многотомнике «Леса СССР», даже не упомянул Брянский массив. Не отражен он ни в «Лесной энциклопедии» [8], ни в энциклопедическом издании «Лес России» [7].

Учитывая историческую значимость Брянского массива, в котором население укрывалось от степных кочевников [13] и отбирались деревья для строительства военных судов, его природоохранную роль по положению между ополем и лесостепью и экономическую важность как источника древесины сосны, а также дуба при восстановлении хвойно-широколиственной формации, стали прорабатывать тему НИР «Морфология, экология и динамика Брянского лесного массива». Исходя из принципов непрерывности лесов, геоморфологической однородности и принимая за единицу измерения массива площадь одного лесничества (5 ... 10 тыс. га), установили, что Брянский лесной массив шириной 25 ... 40 км имеет протяженность 190 км и общую площадь лесного фонда 5163 км<sup>2</sup> (см. рисунок).

Его происхождение обязано действию двух соединившихся потоков из ледникового озера Окского бассейна и от таяния днепровского уступа днепровско-окского ледника, а также последующих потоков от таяния московского и валдайского ледников.

В северной части массива водораздел, в пределах населенных пунктов Батагово—Одрина, имеет седловину ниже 200 м над уровнем моря.



Карта Брянского лесного массива

Стекая через нее, воды Окского бассейна, перекрытого окским уступом ледника в районе нынешней Калуги, смыли верхние отложения мелового периода и размывли левый берег р. Болвы; за северными пределами массива он остался крутым. Под Палец сохранилась в водоразделе промоина глубиной до 10 м, образовавшаяся при спаде стока и заболотившаяся со временем. (В настоящее время торф разработан). Да и весь этот выположенный стоком участок водораздела имеет повышенную заболоченность. Как река на перекате, так и этот поток отложили пески и перед водоразделом. Теперь там произрастают леса с преобладанием сосны (Еленский лесхоз Калужской области и национальный парк «Орловское полесье»).

За водоразделом потоки отложили четвертую террасу, обнажившуюся после прекращения стока в результате таяния ледника и освобождения русла р. Оки. Последовавший за ним поток при таянии московского ледника размыв нижележащие пески и отложил вторую террасу, а запруженные в р. Днепре валдайским ледником гляциальные воды, перелившиеся через водораздел в р. Десну, образовали первую террасу. Так сформировались характерные для Брянского лесного массива ландшафты.

К нему отнесено также Батаговское лесничество Жиздринского лесхоза Калужской области, за которым проходит полоска Ульяновского ополья, расширяющегося на восток к р. Рессете [4]. Здесь еще доминируют флювиогляциальные пески, но все чаще к северу встречаются богатые почвы на элювии кремнистой опоки, меловом рухляке и переотложенной глинистой морене. Именно отсюда в XVIII в. сплавливали плотами дуб по р. Рессете в р. Оку. Это привело к смене дуба на березу и осину, доминирующих также на местах современных сплошных рубок в смежном Журиничском лесхозе Брянской области и открывшемся в 1988 г. заповеднике «Брянский лес».

В состав массива включены в пределах Брянской области левобережные Снежетьское, Ковшовское, Стяжновское и Белобережское лесничества Брянского лесопаркового лесхоза, Полужское и Деснянское лесничества Выгоничского лесхоза, Учлесхоз БГИТА, Карачевский лесхоз, КЭУ (леса обороны), Клюковенский семлесхоз, Брянское государственное опытное лесохозяйственное хозяйство, Навлинский лесхоз и межхозлесхоз, Трубочевский лесхоз, Суземский лесхоз и межхозлесхоз, Брасовский лесхоз без Радогошского лесничества. В них преобладают не сосняки, а дубравы, а среди мелколиственных не березняки, а осинники, сменившие широколиственные леса. Это уже ландшафт лесовых плато лесостепи [11], куда входит и весь Севский лесхоз.

Далее четкая кайма Брянского массива переходит на Украину и поворачивает на северо-запад по р. Знобовке. За ней песчаные почвы речных террас сменяются супесями, которые давно распаханы. Но некоторые истощенные сельхозпользованием земли облесяются преимущественно сосной, ее культуры имеют вид колков. В среднем течении р. Знобовка выходит на сельхозугодия, а граница массива идет к государственной границе и по ней к пойме р. Десны. На Украине принимается решение об организации запо-

ведника на территории Голубовского и Старо-Гутского лесничеств Середина-Будского гослесхоза.

С запада «крайной» массива является опушка леса или левый меженный берег р. Десны и Болвы [6], за которыми простирается ополье.

В Брянском лесном массиве наиболее распространены сосняки (47 %) и березняки (23 %), затем осинники (8,5), черноольшаники (7,3), ельники (6,8), дубравы (6,2 %). Встречаются древостои с преобладанием липы мелколистной, ясеня, ивы, клена остролистного и экзотов.

Большая часть сосняков (17 %) представлена брусничной хозяйственной группой типов леса, черноольшаники – болотно-травяной, ивняки – пойменной, все остальные – сложной. Основными и в сложной хозгруппе являются сосняки (14 %), эта группа доминирует (37 %).

Таким образом, лесной массив имеет характер боров, но основной формацией является хвойно-широколиственная (32 %). Для повышения его ценности следует ограничить создание лесных культур ели и расширить исследования по выращиванию дуба с ясенем и елью или только с елью в северной части и везде с сосной на надпойменных террасах, или с ясенем в поймах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Агафонов М.В. Лес и лесное хозяйство в Брянском лесном массиве // Тр. по лесному опытному делу в России. - 1908. - Вып. 12. - С. 1-108. [2]. Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А. Энциклопедический словарь. Т. 8. - 1890. - 938 с. [3]. Брянский лесной массив // БСЭ. - М., 1951. - С. 211. [4]. География Калужской области. - Тула: Приок. кн. изд-во, 1989.-120 с. [5]. Гроздов Б.В. Леса Брянской области // Леса СССР. - М., 1966. - Т. 2. - С. 257-276. [6]. Земятчинский П. Отчет по исследованию геологии и почв в Брянском лесном массиве // Тр. по лесному опытному делу в России. - 1907. - Вып. 6. - С. 1-46. [7]. Лес России. - М.: БРЭ, 1995. - 446 с. [8]. Лесная энциклопедия. Т.1.- М.: Сов. энциклопедия. - 1985. - 563 с. [9]. Морозов Г.Ф. К вопросу об образовании опытного лесничества в Брянских лесах // Лесн. журн. - 1906. - № 3. - С. 283-293. [10]. Морозов Г.Ф. Избранные труды. Т. 2.- М., 1971. - 536 с. [11]. Природное районирование и типы сельскохозяйственных земель Брянской области / Г.Т. Воробьев, В.К. Жучкова, Г.Г. Кольцов и др. - Брянск, 1975.- 611 с. [12]. Разумов В.П. Брянский лесной массив // БСЭ.- М., 1971. - С. 80. [13]. Скобелев Э.М. Мирослав, князь Дреговичский.- Тула: Приок. кн. изд-во, 1990. - 335 с. [14]. Соловьев С.М. История России с древнейших времен. Кн. 1. - М.: Изд-во соц.-экон. литературы, 1959. - 811 с. [15]. Редько Г.І., Шлапак В.П. Корабельні ліси України. - Київ: Либідь, 1995. - 336 с.

Поступила 6 января 1998 г.

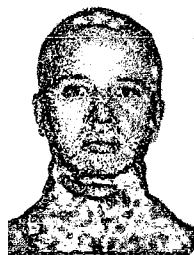
УДК 630\*187

*А.М. НЕВИДОМОВ, Е.В. НЕВИДОМОВА-МАЛАХА, С.О. НЕНЮКОВ*Поволжское государственное лесоустроительное предприятие  
Нижегородский государственный педагогический университет

Невидомов Алексей Михайлович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Горьковский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий инженер Поволжского государственного лесоустроительного предприятия. Имеет более 20 научных трудов и внедрений в лесохозяйственное производство.



Невидомова-Малаха Елена Викторовна родилась в 1962 г., окончила в 1984 г. Красноярский государственный университет, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры ботаники Нижегородского государственного педагогического университета. Имеет более 10 научных трудов в области систематики, географии, экологии растений и геоботаники.



Ненюков Станислав Олегович родился в 1975 г., студент-дипломник кафедры ботаники Нижегородского государственного педагогического университета. Научные интересы – лесная геоботаника, лесоведение.

### ТИПЫ ПОЙМЕННЫХ ДУБРАВ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ОКИ\*

Выделены эколого-генетические ступени развития пойменных дубняков. Установлены стержневые типы леса для каждой градации в исследованном районе.

The ecological-and-genetic stages of floodplain oakeries development have been found out. The core forest types have been determined for every gradation in the region under investigation.

\* В проведении полевых научно-исследовательских работ активное участие принимал В.Г. Угольников.

Долине р. Оки, как и среднему течению р. Волги и верховьям р. Дона (т. е. в общих пределах выделяемой нами средней климатической фации дубрав, характерной для зоны широколиственных лесов) свойствен следующий природный эколого-генетический ряд развития пойменной растительности: ивняки (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Wild.), ветляники (*S. alba* L.), осокорники (*Populus nigra* L.), вязовники (*Ulmus laevis* Pall.), дубняки (*Quercus robur* L.), черноольшаники (*Alnus glutinosa* (L.) Gaer) [10].

Для полного типологического анализа субклимаксовой лесной формации пойменных дубрав и прогнозной экологической оценки состояния долинных дубняков, по нашему мнению, нужен разносторонний интегрирующий географо-генетический подход, основывающийся на принципах лесной типологии Б.А. Ивашкевича [4] – Б.П. Колесникова [5, 6]. Б.П. Колесников [6] включает в тип леса вместе с коренными все возрастные состояния и фитоценозы, последовательно сменяющиеся в данном типе условий местопроизрастания. Таким образом, тип леса в трактовке Ивашкевича–Колесникова – крупное по объему и комплексное по содержанию понятие, представляющее собой относительно кратковременные стадии развития, т. е. лесные ассоциации, в которых сохраняется морфологическая однородность фитоценозов. Примерно такая же трактовка соотношения понятий «тип леса» и «лесная ассоциация» приведена И.Д. Юркевичем, В.С. Гельманом [14]. В самой общей формулировке Б.П. Колесникова тип леса – это этап (звено) лесообразовательного процесса, протекающего в границах некоторого типа лесорастительных условий и на территории определенного лесорастительного района за отрезок времени, равный продолжительности жизни минимум одного поколения лесообразующей древесной породы [6].

Географическая направленность классификации заключается в выделении климатических фаций дубрав: южной (лесостепная и степная зоны), средней (зона широколиственных лесов) и северной (зона хвойно-широколиственных лесов). Геоморфологический комплекс типов леса долинных дубняков был охарактеризован нами ранее для южной фации [7, 8]. Данная статья посвящена пойменным дубравам средней климатической фации на примере их ассоциаций в нижнем течении р. Оки.

Общие закономерности генезиса пойменных дубрав определяются нами через выделение эколого-генетических ступеней развития, представляющих определенные этапы естественной гологенетической (геоморфогенной, аллювиальной) сукцессии. Для Волжского бассейна в целом установлены три закономерные ступени (градации) такого рода: I – нижняя (сравнительно низкие дубравные местообитания переходной поймы среднего уровня – выше низкого и до середины среднего уровня); II – средняя (близка к середине среднего уровня и чуть выше – невысокие гривы и повышенные выровненные участки пологогривистой поймы); III – верхняя (на вершине среднего уровня и на высоком уровне переходной поймы – на высоких, редко заливаемых повышениях и гривах). Первая ступень – станов-

ление пойменных дубрав; вторая – кульминация их природного развития; третья – постепенное естественное угасание и направленная трансформация в процессе гологенетической сукцессии в зональную растительность.

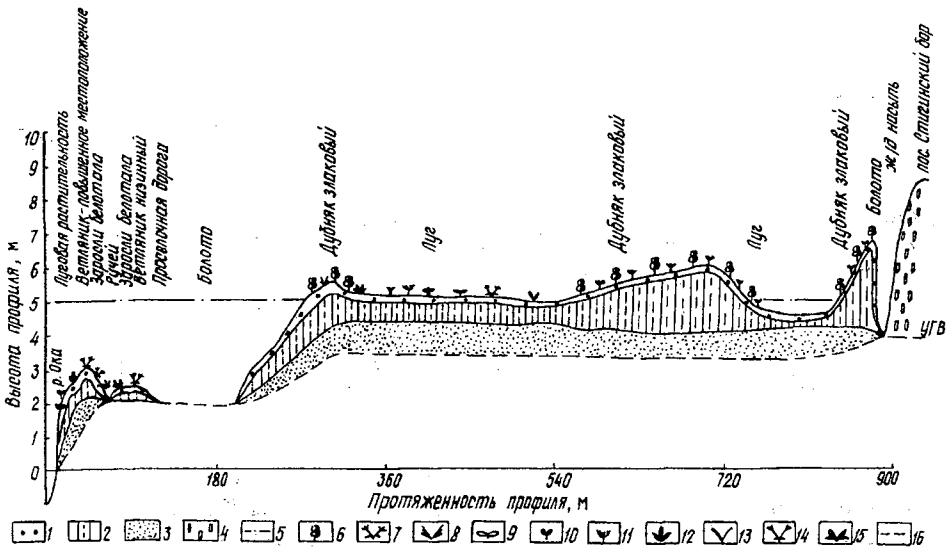
Такой подход позволяет первоначально смоделировать естественный лесообразовательный процесс в поймах рек Волжского бассейна с указанием точного места дубрав по их типам как субклимаксовым звеньям природного эколого-генетического ряда развития лесной растительности речных долин, а затем на основе этого с достаточной степенью достоверности проанализировать и оценить все основные антропогенные отклонения (абerrации) от природного процесса. Иными словами, нужно сначала точно диагностировать эколого-генетическую ступень развития пойменных дубрав (каждой градации соответствует свой стержневой коренной тип леса в каждой климатической фации), а затем оценить степень антропогенной абerrации по предложенной нами шкале стадий антропогенной дигрессии.

Объединение же всех высотных ступеней развития долинных дубняков в практикующееся, к сожалению, до сих пор при лесоустройстве в странах СНГ эклектичное понятие «тип леса – дубрава пойменная» и поиск вариаций внутри него пусть даже по ряду признаков, но без учета классических закономерностей лесообразовательного процесса в поймах, выражаемых через основной обобщенный эколого-генетический ряд развития долинной растительности, неправомерно как в теоретическом, так и практическом аспектах. Находясь на различных ступенях развития, пойменные дубравные фитоценозы подчиняются правилу плавной выпуклой биологической (экологической) кривой (по логике природного генезиса максимальных продуктивности и устойчивости они достигают на второй градации со стержневым коренным типом леса «дубняк ландышевый», соответствующей как бы оптимуму) и требуют принципиально различных систем мероприятий по поддержанию и восстановлению, которые нужно рассматривать прежде всего с точки зрения стабилизации лесообразовательного процесса.

По нашим данным, для нижней эколого-генетической ступени геоморфологического комплекса долинных дубняков средней климатической фации стержневым (ключевым) типом леса является дубняк крапивный, в средней дубняк ландышевый (или крапивно-ландышевый), в верхней дубняк злаковый.

Геоботанические и лесотипологические исследования пойменных дубрав нижнего течения р. Оки проводились нами на протяжении 1991–1996 гг. по единым методикам, приведенным ранее [7, 8]. Кроме того, заложенные нами пробные площади (ПП) геоботаническим экологическим профилем от уреза воды в р. Оке до коренного берега Окской долины (см. рисунок) интегрированы в единую систему изучения растительности поймы нижнего течения р. Оки на экологической основе.





Эколого-геоботанический профиль через пойму левого берега р. Оки (Нижегородская область, Нижегородский лесхоз, Автозаводское лесничество, квартал № 25): 1 – гумусовый горизонт; 2 – переходный горизонт (супесчано-суглинистый); 3 – материнская почвообразующая порода (песчаный аллювий); 4 – железнодорожная гравийная насыль; 5 – высота затопления в пики половодья; 6 – дуб черешчатый; 7 – ветла (ива белая, древовидная); 8 – тальник (ива кустарниковая); 9 – подорожник большой; 10 – мятлик луговой; 11 – тимopheевка луговая; 12 – щавель конский; 13 – осока; 14 – пастушья сумка; 15 – полынь горькая; 16 – меженный уровень грунтовых вод (УГВ)

Для более глубокого ретроспективного анализа полученные нами характеристики сравнивались с данными К.К. Полуяхтова [9] для пойменных дубрав нижней Оки как единственными опубликованными подробными геоботаническими описаниями в исследуемом нами районе, которые включены в табл. 1–4. Используются также данные таксационных описаний материалов лесоустройства долинных дубняков нижней Оки, элементарной пространственной единицей которых является таксационный выдел. Поскольку они содержат только фрагментарную информацию о типе растительности, продуктивности, возрастном и видовом составе древостоя, отчасти подроста и подлеска, о типе местообитания, то как одна из баз данных в лесной фитоценологии могут быть использованы только дополненными материалами точечных геоботанических описаний [3] (здесь данными как нашими, так и К.К. Полуяхтова [9]). Анализ показал, что в течение двух истекших десятилетий просматривается прогрессирующая деградация пойменных дубрав района нижнего течения р. Оки.

Для нижней Оки К.К. Полуяхтов [9] выделил лишь две ассоциации пойменных дубрав: шиповниково-ландышево-ежевиковую, примерно соответствующую описанной нами крапивно-ландышевой ассоциации, и ежеви-

Таблица 1

**Ценоморфный состав травянистых растений  
в пойменных дубравах нижнего течения р. Оки**

Тип леса	Ассоциация	Ценоморфы, % видового состава				
		Сильванты	Пратанты	Рудеранты	Палюданты	Степанты
Дубняк крапивный « ландышевый	Крапивная	36,8	31,6	20,2	10,1	1,3
	Шиповниково-ландышево-ежевиковая*	45,9	25,0	12,5	16,6	-
« злаковый	Крапивно-ландышевая	32,2	32,0	20,5	12,8	2,5
	Ежевиково-злаково-разнотравная*	39,8	35,8	7,5	15,1	1,8
	Злаковая	32,1	37,7	15,2	10,3	4,7

Примечание. Звездочкой отмечены данные проведенного нами ценоморфного анализа списка видов по ассоциациям из работы К.К. Полуяхтова [10], далее в таблицах – непосредственно данные К.К. Полуяхтова. Определенные им ассоциации на основании изложенных принципов географо-генетической классификации Ивашкевича – Колесникова мы включили в состав более крупных синтаксонов – в установленные нами соответствующие типы леса (шиповниково-ландышево-ежевиковую ассоциацию в тип леса дубняк ландышевый; ежевиково-злаково-разнотравную – в дубняк злаковый).

ково-злаково-разнотравную, сопоставимую со злаковой в нашей трактовке. Нами дополнительно установлена ассоциация крапивных дубняков.

Нами проведен анализ флористического состава травянистого покрова (см. табл. 1) с выделением ценоморф по А.Л. Бельгарду [1]: лесные виды (сильванты), луговые (пратанты), болотные (палюданты), степные (степанты) и сорные (рудеранты). Из таблицы видно, что фитоценозы пойменных дубрав нижнего течения р. Оки находятся на IV–V стадиях антропогенной дигрессии. По мере повышения эколого-генетической ступени над меженным уровнем реки явно прослеживается уменьшение процентного состава сильвантов в травянистом покрове и прогрессирующее увеличение доли рудерантов, пратантов и степантов. Особенно ярко это вырисовывается при сравнении наших данных с данными 20-летней давности К.К. Полуяхтова [9]. В то время число сильвантов было на целый порядок выше, а число рудерантов – на порядок ниже. Максимальной дигрессии (V стадия) долинские дубняки достигают на третьей эколого-генетической ступени развития. Это обусловлено наложением антропогенного пресса на естественные процессы постепенной трансформации субклимаксовых пойменных дубрав в зональные (климаксовые) типы растительности в ходе природной гологенетической сукцессии, сопряженной с закономерным

\* Были проанализированы как наши данные, так и список видов высших сосудистых растений, выявленных в свое время в пойменных дубняках нижнего течения р. Оки К.К. Полуяхтовым [10]. Это позволило провести анализ не только в пространстве, но и во времени.

Таблица 2  
Лесотаксационные характеристики пойменных дубрав средней климатической фации,  
ранжированные по представленным возрастным стадиям развития

Тип леса	Ассоциация	№ ПП	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Процент, сушевершинности
					H, м	D, см				
Дубняк крапивный	Крапивная	165	7ДЗОс	55	19,5	21,0	II	0,5	115	7
		153	10Д, ед.Б	55	20,3	23,7	II	0,4	108	5
		172	10Д	60	23,0	33,5	II	0,6	180	12,5
		151	10Д+Б	65	23,0	34,2	II	0,6	184	10
« ландышевый	Шиповниково-ландышево-ежевиковая	9*	10Д	60	20,0	24,0	II	0,7	190	5
		98	10Д	70	21,0	28,7	III	0,8	235	20
« злаковый	Крапивно-ландышевая Ежевиково-злаково-разно-травная Злаковая	10*	9Д1С, ед.В	70	22,0	24,0	II	0,6	190	10
		152	10Д	65	18,0	26,0	III	0,6	140	30
		106	10Д	80	22,0	30,0	III	0,7	220	36
		96	10Д	80	22,0	31,1	III	0,6	200	45
		97	10Д	100	23,0	45,0	III	0,7	240	60
		156	10Д	100	19,7	43,5	IV	0,6	160	100

последовательным геоморфогенезом речной долины. Как говорится, эндогенез долинной растительности следует за результатами гологенеза [11]. Мы, в свою очередь, добавим, что и антропогенный экзогенез растительного покрова имеет тот же характер.

Сравнивая таксационные показатели, традиционно характеризующие эдификаторную синузию лесных фитоценозов – древесный ярус, мы видим, во-первых, их снижение по сравнению с данными К.К. Полуяхтова [9], что подтверждают, кстати, и материалы лесоустройства за последние десятилетия; во-вторых – их снижение по мере повышения над меженивым уровнем реки (табл. 2).

Наиболее тревожным симптомом является исчезновение благонадежного подростка под пологом дубовых древостоев. Если по данным К.К. Полуяхтова [9] естественное возобновление в пойменных дубравах нижнего течения р. Оки происходило более или менее успешно (дуба 10 ... 15 тыс. шт. на 1 га), то нами отмечено практически полное отсутствие благонадежного естественного семенного возобновления дуба (табл. 3). Значит, нужны

Таблица 3

Характеристика подростка в пойменных дубравах  
средней климатической фазии

№ ПП	Состав	Количество, тыс. шт. на 1 га	Возраст, лет	Высота, м	Качество	Оценка возобновления по шкале М.Е.Ткаченко [13]
165	4Д4Ос2Кл. п	1,6	3...5 6...10	0,2...0,5 0,6...1,5	Благонадежный	Плохое
153	10Кл. а	0,4	6...10	0,6...1,5	Неблагонадежный	«
151	8Кл. а2Б, ед.Лп	2,3	11...20 3...5 6...10	1,6...3,1 0,2...0,5 0,6...1,5	Благонадежный	Слабое
9*	7ДЗВ	20,4	11...20 3...5 6...10	1,6...2,5 0,2...0,5 0,6...1,5	«	Отличное
98	10Кл. п	0,1	11...20 1...2	1,6...2,5 0,1...0,2	Неблагонадежный	Плохое
10*	6Ос4Д	45,5	3...5 6...10 11...20	0,3...0,5 0,6...1,5 1,6...3,0	Благонадежный	Отличное
152	8Ос2Д	0,4	3...5 6...10	0,3...0,5 0,6...1,5	Неблагонадежный	Плохое
97	10Кл. а	0,5	3...5	0,3...0,5	«	«

Примечание. В табл. 2, 3 приняты следующие сокращенные наименования древесных видов: Б – береза повислая (*Betula pendula* Roth); В – вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.); Д – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.); Кл. а – клен американский (*Acer negundo* L.); Кл. п – клен платановидный (*A. platanoides* L.); Ос – осина (*Populus tremula* L.); С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.); Лп – липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.). На пробках 172, 106, 96, 156 подростка нет.

Таблица 4

## Географическое положение пробных площадей в Нижегородской области

№ ПП	Лесхоз	Лесничество	Квартал	Выдел
153	Нижегородский	Автозаводское	26	48
172	«	«	26	56
151	«	«	26	43
9*	Богородский	Богородское	1	1
98	Нижегородский	Автозаводское	29	35
10*	Богородский	Богородское	1	2
152	Нижегородский	Автозаводское	22	42
106	«	«	25	32
96	«	«	25	13
97	«	«	25	7
156	Дзержинский	Ильинское	75	16

Примечание. Для интегральной характеристики геоморфологического комплекса типов леса долинных дубняков средней климатической фации в целом во все таблицы введены также имеющиеся у нас данные по ПП 165 (Республика Чувашия, г. Чебоксары, Калининский район, окрестности п. Южный).

меры содействия естественному порослевому возобновлению. Здесь нужно руководствоваться классическим принципом М.Е. Ткаченко [12] о том, что порослевая возобновительная способность дуба черешчатого резко снижается к 60 годам. В этом аспекте очень тревожит нарушение возрастной структуры долинных дубняков р. Оки, которые в настоящее время в большинстве представлены древостоями свыше 60 лет (табл. 2). В данной ситуации оптимален путь искусственных семенных лесокультур дуба черешчатого.

Итак, в поймах рек и эндоэкогенез, и антропогенный экзогенез растительного покрова сопровождается результаты естественной гологенетической сукцессии. По логике природного развития пойменные дубравы должны достигать максимума устойчивости и продуктивности на второй эколого-генетической ступени своего развития. Однако антропогенные влияния в долине нижнего течения р. Оки настолько сильны, что в корне нарушили естественный эколого-генетический ряд лесной растительности. Локальные воздействия многократно усилены региональным изменением пойменных земель – зарегулированием стока, которое бывает как явным (плотины), так и скрытым (мелиорация на водосборной площади). В результате искусственного регулирования стока расход воды в паводки уменьшился, а в межень возрос [11].

Динамика меженных уровней грунтовых вод (УГВ) в пойме сопряжена с расходом полой воды. Чем ее больше, тем выше УГВ [5]. С уменьшением расхода воды в половодья снижается и средний показатель межен-

\* Понятие явного и скрытого зарегулирования речного стока взято нами из работы В.Д. Шульги и С.И. Кулешова [13].

ного УГВ, что подтверждают данные нашего экологического профиля (см. рисунок). В результате этих процессов сместились на порядок и экологические показатели состояния пойменных дубрав по грациям их природного развития. Наилучшие как таксационные (II класс бонитета), так и фитоценоотические (максимум силвантов, минимум пратантов) показатели мы наблюдаем теперь на первой эколого-генетической ступени долинных дубняков. Все это, к сожалению, свидетельствует о серьезном нарушении экологического баланса в пойме р. Оки. Нужны срочные неотложные мероприятия по лесовосстановлению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бельгард А.Л. Лесная растительность юго-востока УССР. - Киев: Изд-во КГУ, 1950. - 263 с. [2]. Васильев Н.Г. Ясеневые и ильмовые леса советского Дальнего Востока. - М.: Наука, 1979. - 320 с. [3]. Заугольнова Л.Б., Ханина Л.Г. Опыт разработки и использования баз данных в лесной фитоценологии // Лесоведение. - 1996. - № 1. - С. 76-83. [4]. Ивашкевич Б.А. Дальневосточные леса и их промышленная будущность. - М.; Хабаровск: ДВ ОГИЗ, 1933. - 168 с. [5]. Исупов Б.А. Водно-физические свойства некоторых почв Волго-Ахтубинской поймы // Новости агролесомелиорации. - Волгоград, 1963. - Вып. 45. - С. 55-58. [6]. Колесников Б.П. Генетический этап в лесной типологии и его задачи // Лесоведение. - 1974. - № 2. - С. 3-20. [7]. Невидомов А.М. Состояние лесных фитоценозов Волго-Ахтубинской поймы в связи с интенсивными процессами засоления почв // Бот. журн. - 1993. - Т. 78, № 12. - С. 99-110. [8]. Невидомов А.М., Логинова Т.Д. Ксерофитизация растительного покрова северной части Волго-Ахтубинской поймы в связи с зарегулированием речного стока // Бот. журн. - 1993. - Т. 78, № 1. - С. 59-68. [9]. Полуяхтов К.К. Основные ассоциации дубовых лесов Богородского лесхоза Горьковской области. Пойменные дубравы // Наземные и водные экосистемы: Межвуз. сб. - Горький, 1977. - Вып. 1. - С. 7-14. [10]. Растительность европейской части СССР. - Л.: Наука, 1980. - 429 с. [11]. Средняя Волга. Геоморфологический путеводитель. - Казань: Изд-во КГУ, 1991. - 147 с. [12]. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. - М.; Л.: Гослесбумиздат, 1939. - 746 с. [13]. Шульга В.Д., Кулешов С.И. Причины усыхания пойменных лесов юго-востока ЕТС // Бюл. ВНИАЛМИ. - 1983. - Вып. 1(40). - С. 4-8. [14]. Юркевич И.Д., Гельтман В.С. Соотношение понятий «лесная ассоциация» и «тип леса» // Бот. журн. - 1970. - Т. 55, № 1. - С. 31-41.

---

Поступила 28 февраля 1997 г.

УДК 630\*432.31:658.012.12

*С.В. УШАНОВ, Г.А. ДОРРЕР, Н.Г. БАРХАТОВ*

Сибирский государственный технологический университет

Ушанов Сергей Викторович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики и информатики Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 90 печатных работ в области информатики и технической кибернетики, моделирования процессов управления лесными пожарами.



Доррер Георгий Алексеевич родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский кораблестроительный институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системотехники Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 печатных работ по проблеме математического моделирования процессов распространения лесных пожаров и созданию компьютерных систем управления по борьбе с ними.



Бархатов Николай Геннадьевич родился в 1973 г., окончил в 1995 г. Красноярскую государственную технологическую академию, инженер-программист. Имеет около 10 печатных работ.



## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И БОРЬБЫ С НИМИ\***

Рассмотрены проблемы математического моделирования процессов распространения лесных пожаров, их локализации и безопасного вывода людей и техники. Представлена модель локализации лесных пожаров. Приведен комплекс программных средств для решения поставленных задач.

\* Работа выполнена при поддержке Красноярского фонда науки, грант 4F0230.

The problems of mathematical simulation of forest fires spreading, their localization and safe evacuation of people and machinery are considered. The model of localization of forest fires is presented. The complex of software is given for finding suitable solutions for the problems put.

Лесные пожары (ЛП) – одно из наиболее опасных для природы и человека стихийных бедствий. В настоящее время в России ведется интенсивная разработка компьютерных систем управления охраной лесов от пожаров. В основном сформирована система управления федерального уровня, внедряются системы управления на территориальных авиабазах. Значительные интернациональные усилия направлены на изучение проблем охраны от пожаров бореальных лесов Евразии [11].

Анализ действий по тушению крупных ЛП показал, что успех борьбы с ними зависит не только от количества технических средств и людских ресурсов, но в основном от рациональной их организации и правильной тактики тушения. Последняя определяется характером лесорастительных условий, топографией местности, особенностями распространения и развития ЛП. Недостаток сил и средств для ликвидации ЛП компенсируется их маневрированием [11].

Внедрение в практику борьбы с ЛП современных средств обнаружения, методов прогнозирования их распространения и развития, математического моделирования и теории управления дает возможность обоснованного планирования борьбы с ЛП и применения новых тактических приемов [11]. Важную роль при этом могут играть экспертные системы, предназначенные для сбора и кодирования знаний в конкретной предметной области, а затем использующие эти знания в форме, моделирующей принятие решения человеком [8].

В настоящей статье кратко рассмотрены методология и некоторые итоги работ по проблеме моделирования процессов распространения и ликвидации лесных пожаров, которые выполнены авторами в 1980–1996 гг. в Сибирском государственном технологическом университете в сотрудничестве с Институтом леса СО РАН и Центральной базой авиационной охраны лесов.

Математическое моделирование процесса распространения ЛП. В основу математических моделей объекта управления положена математическая теория развития лесных пожаров [3–5, 12].

Контур лесного пожара является основным параметром, от которого зависит тактика борьбы с огнем и общий объем работ по его ликвидации [4]. В настоящей работе мы ограничиваемся феноменологической моделью. Будем считать лесной пожар подвижной областью на картографической плоскости  $D$  с декартовыми координатами  $X_1$  и  $X_2$ , которые рассматриваются как вектор  $X = (X_1, X_2)^T$  ( $T$  – знак транспонирования). Граница этой подвижной области (контур пожара) в общем виде может быть описана уравнением  $G(X, t) = 0$ , которое можно принять за уравнение изохрон, или линий уровня на плоскости.



Предположив, что контур ЛП – замкнутая гладкая линия при любом  $t$ , из условия неразрывности контура получим уравнение его движения

$$\frac{\partial G}{\partial t} + V^T \text{grad}(G) = 0, \quad (1)$$

где  $V(X, t)$  – вектор скорости контура ЛП, определяемый отдельной моделью [4, 12].

Уравнение движения контура (1) должно дополняться начальным условием  $G(X(t_n), t_n) = 0$ , определяющим контур ЛП в некоторый начальный момент времени  $t_n$  (например момент обнаружения пожара или начала его локализации).

Рассмотрим основные подходы к моделированию контура лесного пожара.

Первый подход связан с получением общих математических моделей, в рамках которых могут быть предсказаны все характеристики (контур, поля температур, концентраций и скоростей) во фронте и в зоне ЛП [3]. Эти модели содержат систему уравнений и граничных условий, описывающих трехмерные процессы тепло- и массообмена, фазовых и химических превращений при горении, а также движение газовых потоков, вызванных этими процессами. Контур ЛП определяется изотермой поля температур в газовой фазе, которая соответствует температуре горения [3].

Ограничением использования подробных физических моделей в системах оперативного прогнозирования распространения ЛП являются приближенные знания условий горения и теплофизических характеристик лесных горючих материалов (ЛГМ) [4].

Второй подход связан с использованием для расчета кромки упрощенных феноменологических моделей [4, 12]. Они позволяют непосредственно рассчитывать скорость  $V(X, t)$ . Большинство известных в настоящее время моделей скорости распространения используют экспериментально-аналитические и экспериментально-статистические подходы [4] и учитывают теплофизические свойства и запас ЛГМ, направление и скорость ветра, топографию местности. Феноменологические модели позволяют оценить параметры, важные для расчета предельно допустимых расстояний от низовых и верховых ЛП при их локализации и определения ширины заградительной полосы, влияющей на скорость локализации.

В [5] предложена математическая модель развития ЛП, промежуточная между подробными физическими и феноменологическими моделями. В ней учитывается уравнение теплового баланса в твердой фазе горючего в слое ЛГМ, а тепловое воздействие локального пламени на близлежащие слои горючего вводится на основе экспериментальных данных. Модель позволяет учитывать переходы фронта ЛП через разрывы в слое горючего, взаимодействие процессов горения различных слоев ЛГМ. Как и в случае общих математических моделей, допустимая для локализации область может быть определена изотермой, соответствующей предельно допустимой температуре.

Математическое моделирование процессов локализации ЛП. Рекомендации по локализации ЛП в значительной мере носят эмпирический характер, а качество решений существенно зависит от опыта тех, кто их принимает. Применение математического моделирования и современной теории управления при решении задач локализации лесных пожаров повышает обоснованность решений, ориентированных в первую очередь на помощь низовым уровням борьбы с ЛП (персонал оперативных отделений и руководителей тушения крупных пожаров).

Рассмотрим систему управления, объектом которого является лесной пожар, а субъектом противопожарные силы и средства.

Процессы распространения и локализации ЛП рассматриваются совместно в декартовой системе координат  $X = (X_1, X_2)^T$ . Это дает возможность описывать контуры произвольной формы и снять ограничения, принятые в [7, 9, 10]. Локализация ЛП осуществляется созданием заградительных полос.

Качество системы управления определяется функционалом, который характеризует обобщенные затраты на борьбу с ЛП и учитывает затраты, пропорциональные времени локализации ( $\Delta P_T$ ), площади ЛП ( $\Delta P_S$ ) и длине заградительной полосы ( $\Delta P_L$ ).

$$J = \int_{T_0}^T (\Delta P_T + \Delta P_S + \Delta P_L) dt, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= C_1(X, t); \\ \Delta P_S &= a C_2(X, t) \left( \frac{dX_2}{dt} (X_{01} - X_1) + \frac{dX_1}{dt} (X_{02} - X_2) \right); \\ \Delta P_L &= C_3(X, t) \sqrt{\left( \frac{dX_1}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dX_2}{dt} \right)^2}; \end{aligned}$$

$X(t) = (X_1(t), X_2(t))^T$  – координаты подвижного конца заградительной полосы в момент времени  $t$ ;

$T_0, T$  – время начала и окончания процесса локализации ЛП;

$X_0 = (X_{01}, X_{02})^T$  – координаты центра ЛП;

$a$  – коэффициент, определяющий направление локализации относительно  $X_0$  ( $a = 1$  при локализации по часовой стрелке;  $a = -1$  при локализации против часовой стрелки).

Система ограничений учитывает: предельную скорость локализации

$$\frac{dX}{dt} = u(t); \quad \|u(t)\| \leq U(X, t); \quad (3)$$

направление обхода ЛП при локализации относительно центра ЛП

$$a \left( \frac{dX_2}{dt} (X_{01} - X_1) + \frac{dX_1}{dt} (X_2 - X_{02}) \right) \geq 0; \quad (4)$$

минимальное расстояние от заградительной полосы до кромки лесного пожара при локализации

$$X(t) = \{x(t) : F_1(t, x(t), h) \geq 0\}, \quad (5)$$

где  $u(t) = (u_1(t), u_2(t))^T$  – вектор скорости процесса локализации;

$\|u(t)\| = \sqrt{u_1(t)^2 + u_2(t)^2}$  – длина вектора скорости;

$U(X, t)$  – максимально возможное значение скорости локализации;

$F_1(t, x(t), h) = 0$  – уравнение, определяющее множество точек  $x(t)$ , отстоящих на предельно допустимом расстоянии  $h$  от кромки ЛП.

Моделирование управляющей системы проводится на основе теории локализационного управления [7, 9–11]. Поставленные задачи решаются методами оптимального управления.

В ряде случаев возникает необходимость в определении наиболее неблагоприятного сценария развития ЛП. При этом задачи локализации, вывода сил и средств представляют собой антагонистическую игру с природой и могут решаться методами теории динамических игр [2].

Математическое моделирование процессов безопасного вывода сил и средств из зоны действия ЛП. Лесной пожар представляет не только опосредованную экологическую угрозу для человека, но и прямую угрозу для жизни людей, оказавшихся в зоне его действия. Причинами гибели людей являются: недостаточный прогноз распространения ЛП и задымленности территории, ошибки в тактике тушения, отсутствие расчета безопасных маршрутов выхода из зоны пожара [13]. Совместное решение задач маршрутизации и локализации лесных пожаров позволяет заранее определить условия безопасного выхода и своевременно принять меры по спасению. Для расчета безопасных маршрутов вывода сил и средств используется теория построения областей достижимости систем управления [6].

Разработка теоретических и практических аспектов решения рассмотренных задач является основой создания компьютерных учебных и исследовательских тренажеров для отработки действий персонала при различных сценариях развития лесных пожаров [10]. На основе разработанной теории создан и передан в ряд организаций Госкомитета по лесу РФ комплекс программ ТАЖГА-2, предназначенных для обучения оперативного персонала борьбе с лесными пожарами.

Комплекс программных средств для решения задач оперативного управления борьбой с ЛП включает следующие подсистемы: картографическую базу данных (БД), содержащую сведения о топографии, ЛГМ и инфраструктуре местности; БД по наземным и авиационным средствам доставки противопожарных сил и средств к месту пожара; БД по техническим средствам борьбы с пожарами; комплекс программ по расчету процессов распространения огня в различных лесорастительных и погодных условиях; комплекс программ по выбору тактики локализации ЛП.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Альбини Ф.А., Коровин Г.Н., Горювая Е.Н. Математический анализ процессов тушения лесного пожара // Тр./ ЛенНИИЛХ. - Л., 1978. - Вып. 26. - С. 61-78. [2]. Васильев В.В., Баранов В.П. Моделирование задач оптимизации и дифференциальных игр. - Киев: Наук. думка, 1989. - 296 с. [3]. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров - Томск, 1981. - 277 с. [4]. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. - М.: Лесн. пром-сть, 1979. - 160 с. [5]. Доррер Г.А. Модель распространения фронта лесного пожара // Теплофизика лесных пожаров. - Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1984. - С. 86-98. [6]. Доррер Г.А. Задачи об уклонении от встречи с лесным пожаром // Физическая газодинамика реагирующих сред. - Новосибирск: Наука, 1990. - С. 73-76. [7]. Доррер Г.А., Ушанов С.В. Расчет оптимальных путей локализации лесных пожаров // Горение и пожары в лесу. - Красноярск, 1984. - С. 72-74. [8]. Доррер Г.А., Ушанов С.В., Якимов С.П. Принципы построения экспертной системы ЭСПОЛ // Использование и восстановление ресурсов Ангаро-Енисейского региона. - Красноярск, 1991. - С. 50-52. [9]. Ушанов С.В. Оптимизация процессов локализации лесных пожаров // Лесные пожары и борьба с ними. - Красноярск: ВНИИПОМлесхоз, 1991. - С. 148-158. [10]. Ушанов С.В. Задачи оптимального управления локализацией лесных пожаров // Сопряженные задачи физической механики и экология: Тез. докл. Междунар. науч. конф. - Томск, 1994. - С. 162-164. [11]. Dorrer G.A., Ushanov S.V. Mathematical modelling and optimization of forest fire localization processes // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. - Kluwer Academic. Publ., Dordrecht-Boston-London. - 1996. - P. 303-313. [12]. Rothermel R.C. A mathematical model for fire spread prediction in wildland fuels: USDA Forest Service Res. Paper INT-115, 1972. - 40 p. [13]. South Canyon Fire Investigation // Wildfire. - 1994. - Vol. 3, N 3. - P. 2-21.

Поступила 31 мая 1996 г.

УДК 630\*907

**М.А. КУЦЕВАЛОВ, В.В. УСПЕНСКИЙ, А.К. АРТЮХОВСКИЙ**

Воронежская государственная лесотехническая академия



Успенский Виктор Валентинович родился в 1940 г., окончил в 1962 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 печатных трудов в области комплексной оценки лесных ресурсов, моделирования динамики фитомассы древостоев искусственного происхождения.

Артюховский Анатолий Константинович родился в 1923 г., окончил в 1951 г. Воронежский лесохозяйственный институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 печатных работ в области изучения экологической роли леса, биологических методов борьбы с вредителями.



## КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСА

Приведена методика расчета комплексного коэффициента экологической эффективности лесных насаждений, позволяющего определить экологическую значимость различных насаждений независимо от составляющих их древесных пород.

Computation technique for complex coefficient of forest stands ecological efficiency is given. It allows determining the ecological significance of different stands, independent of tree species composition.

В лесном хозяйстве существуют различные методы оценки насаждений: по продуктивности и производительности, газопоглощающей и пылезадерживающей способности, углероддепонирующей и кислородной продуктивности, выделению биологически активных веществ, радиационной и шумовой защите и т. д. Имеется много показателей, характеризующих экологическую роль леса, особенно значимую в насаждениях зеленых зон. Существующая система ландшафтной таксации лесов зеленых зон позволяет определять типы лесопарковых ландшафтов, их рекреационную и эстетическую роль, степень рекреационной дигрессии, запас биомассы насаждений. Обобщающим показателем качества рекреационных функций леса является класс совершенства [3]. К сожалению, последний учитывает лишь часть из приведенных признаков. Имеется предложение оценивать антропогенное воздействие на лесные массивы через индекс их состояния [4]. Широкое распространение для оценки состояния лесов в последнее время получили биоиндикаторы [5]. Однако все эти показатели характеризуют отдельные свойства, определяются различными единицами измерения и не образуют единой системы, оценивающей общее экологическое состояние насаждения. Удобного комплексного показателя оценки экологической эффективности лесных насаждений так до сих пор и не существует, хотя в связи с экологизацией лесохозяйственного производства такой показатель крайне необходим.

Видимо, нужно перейти на относительные величины, как это делали упомянутые ранее авторы [3–5]. Только в таком измерении, по нашему мнению, можно комплексно оценить экологическую эффективность сразу

по всем показателям чистого или смешанного насаждения определенного возраста и в конкретных условиях произрастания. Сопоставление этих комплексных оценок, названных нами коэффициентами эффективности ( $K$ ), на новой методологической основе даст возможность выявить природозащитную ценность отдельных древостоев и насаждений в целом, установить потребность в реконструкции в связи с потерей или снижением экологических свойств, прогнозировать оптимальный состав в целях усиления полезных функций.

При существующем уровне отрицательного воздействия человека на природу в недалеком будущем все леса планеты будут прежде всего оценивать их эффективностью в сохранении условий жизни, что нашло отражение в решениях X Мирового лесного конгресса в Париже (1991 г.), конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.), Монреале (1993 г.), Куала-Лампуре (1994 г.). Леса будут представлять единую зеленую зону, а коэффициент экологической эффективности ( $K$ ) станет основным и независимым оценочным показателем любого насаждения или лесного массива.

Индексы при коэффициенте  $K$  ( $K_4$ ,  $K_5$  и др.) указывают на число учитываемых экологических показателей. Чем больше используется показателей, тем большую информацию несет экологическая оценка насаждения:  $K_4$  информативнее  $K_3$ ,  $K_5$  информативнее  $K_4$  и т. д. При определении  $K$  обязателен учет текущего прироста насаждений как основного показателя соответствия породы конкретным условиям произрастания.

Для базового варианта насаждения (эталон) коэффициент экологической эффективности, отражающей максимальные значения исследуемых показателей, отобранных по любым породам, характеризует некое идеальное, не существующее в природе насаждение – эталон, близость к которому будет оценивать экологическую значимость конкретного исследуемого насаждения.

Максимальные показатели для базового насаждения следует выбирать по литературным данным для основных лесобразующих пород региона, имеющих высокие средообразующие (экологические) показатели (сосна, кедр, бук, береза, тополь и др.). Этот теоретический древостой характеризуется максимальными значениями таких показателей, как бонитет, текущий прирост, поглощение углекислоты, выделение кислорода и биологически активных веществ, пылезадержание, шумопоглощение и т. д.

В таком базовом насаждении «собраны» лучшие качества основных лесобразующих пород конкретной природно-климатической зоны. Сравнение с ним даст оценку экологической роли исследуемого насаждения. Максимальные показатели устанавливаются для каждой природно-климатической зоны. Их сводят в одну таблицу, которую можно использовать для расчетов коэффициентов экологической эффективности.

Коэффициент экологической эффективности вычисляется по формуле

$$K = \frac{s}{100n},$$

где  $n$  – число экологических показателей;

$s$  – сумма экологических показателей, % от показателей эталонного (базового) насаждения.

В базовом насаждении  $s = 100$ , поэтому коэффициент экологической эффективности равен 1,0.

Для центральных районов европейской части России могут быть рекомендованы максимальные значения следующих показателей: текущий прирост – 16,4 м<sup>3</sup>/га, сосна [6]; поглощение углекислоты – 22,3 т/га, ель [2]; выделение кислорода – 21,9 т/га, ель [2]; пылезадержание – 68 т/га, бук [1]; выделение биологически активных веществ (БАВ) – 500 кг/га, кедр [1].

Каждое из этих значений принимают за 1,0 или 100 % (см. таблицу).

С помощью  $K$  рассчитывают конкретные значения для фактических насаждений на основе сопоставления с эталонным. В итоге любой древостой получает свою количественную экологическую меру, что позволяет ему занять место в ранжированном ряду. Это дает возможность определить реальные пути повышения экологической эффективности лесов различными методами.

В таблице приведены характеристики насаждений сосны обыкновенной, полученные В.В. Успенским и дополненные значениями для расчета коэффициентов экологической эффективности.

Из таблицы видно, что коэффициент экологической эффективности изменяется в зависимости от возраста и состояния. Максимальная эффективность наблюдается в III-IV классах возраста. В результате старения и самоизреживания насаждений при отсутствии успешного возобновления их

#### Характеристика экологической эффективности модальных насаждений сосны ЦЧР (на 1 га)

Возраст, лет	Поглоще- ние CO <sub>2</sub> , т	Выделение		Пылеза- держание, т	Текущий прирост, м <sup>3</sup>	Коэффициент экологиче- ской эффективности	
		O <sub>2</sub> , т	БАВ, кг			суммарный	средний
Базовый древостой (эталон)							
-	22,30	21,90	500,00	68,00	16,40	-	-
-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	1,00
Модальные сосняки ЦЧР							
20	6,60	5,00	252,00	7,70	5,80	-	-
	0,30	0,23	0,50	0,11	0,35	1,49	0,30
	9,20	7,00	380,00	9,10	8,60	-	-
50	0,41	0,32	0,76	0,13	0,49	2,12	0,42
	7,30	5,60	352,00	7,40	7,50	-	-
80	0,33	0,26	0,90	0,11	0,43	2,03	0,41
	5,10	3,90	435,00	5,20	4,40	-	-
100	0,23	0,18	0,87	0,08	0,25	1,61	0,32
120	2,20	1,70	333,00	4,20	3,50	-	-
	0,10	0,08	0,67	0,06	0,20	1,11	0,22

экологическая эффективность начинает снижаться. У сосны это происходит с 90 лет (V класс возраста). Полученные результаты указывают на необходимость принятия лесохозяйственных мер в целях повышения экологической эффективности исследуемых насаждений V класса возраста и старше.

Методика определения коэффициентов экологической эффективности проста и понятна. По мере оснащения отрасли соответствующим научным оборудованием указанные коэффициенты найдут широкое применение в новой отрасли – экологическом лесоводстве. «Необходимы» дальнейшие исследования в целях разработки специальных приборов для количественной оценки экологических свойств насаждений, а также совершенствования методики их учета.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Григорьева С.О. Влияние леса на здоровье человека. - М., 1987. - С. 32. - (Обзоры в помощь экономическому образованию специалистов: Обзор, информ. / ЦБНТИ Гослесхоза СССР; Вып. 1). [2]. Емчик Л.Д. Экологическая оценка санитарно-гигиенической роли лесов Белоруссии // Лесн. хоз-во. - 1985. - № 3. - С. 23-25. [3]. Ландшафтная таксация и формирование насаждений пригородных зон. - Л.: Стройиздат, 1977. - 224 с. [4]. Мозолевская Е.Г., Шарапа Т.В. Показатели состояния антропогенной трансформации лесных экосистем // Науч. тр. / МГУЛ. - 1995. - Вып. 268. - С. 16-33. [5]. Николаевский В.С., Николаевская Т.В. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха и состояния лесной растительности в составе ОВОС // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: Науч. тр. / МГУЛ. - 1995. - Вып. 268. - С. 33-47. [6]. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: Справочник. - М.: Колос, 1992. - 295 с.

Поступила 8 июля 1996 г.

УДК 630\*238 : 632.954

*В.П. БЕЛЬКОВ, Л.М. КОЗЛОВА, С.А. МИРОСЛАВОВА, И.Е. БЕРГ,  
А.П. ПОЛЕВЩИКОВ*

СПбНИИЛХ



Бельков Валентин Петрович родился в 1928 г., окончил в 1951 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории гербицидов СПбНИИЛХ. Имеет более 160 печатных работ в области изучения живого почвенного покрова в лесу (биология и закономерности развития, лесоводственное значение и эффективность регулирования химическим методом).



Козлова Луиза Михайловна родилась в 1929 г., окончила в 1952 г. Ленинградский государственный университет, кандидат биологических наук. Имеет более 60 печатных работ в области изучения травянистых растений в питомниках, эффективности химического метода борьбы с сорняками, влияния гербицидов на плодородие почв.



Полевщиков Александр Петрович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Ленинградскую лесотехническую академию, лесничий Орлинского лесничества Сиверского опытного лесхоза СПбНИИЛХа. Имеет 5 печатных работ в области изучения эффективности регулирования травяного покрова в целях повышения продуктивности культур плантационного типа.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗНЫХ РЕЖИМОВ ХИМИЧЕСКОГО УХОДА ЗА ПЛАНТАЦИОННЫМИ КУЛЬТУРАМИ ЕЛИ

Дан сравнительный анализ разных режимов химического ухода за плантационными культурами ели.

The comparative analysis of different modes of chemical treatment for the plantation spruce is given.

В ряде наших работ показано, что ограничение развития травяного покрова способствует существенному повышению продуктивности культур [1, 3]. При этом устраняется корневая конкуренция, снижается потребление азота лесными травами, активизируется деятельность целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Наблюдаются и такие позитивные признаки изменения состояния лесной подстилки, как образование более мягкого гумуса — превращение или тенденция к превращению моргумусных в модергумусные и муллевые почвы. Все это ведет к обогащению почвы продуктами разложения органических остатков.

Однако при многолетнем устранении травяного покрова может чрезмерно уменьшиться содержание органических материалов в почве вследствие длительной активизации разложения органики и снижения поступления растительного опада в почву.

Цель настоящей работы — выбор режима ухода, при котором обеспечивается сохранение позитивных и отсутствие негативных последствий.

Предполагалось, что эта цель может быть достигнута двумя путями: частичной обработкой почвы (25 %) раундапом в дозе 3 кг/га действующего вещества (полосами вдоль рядов культур) и сплошной обработкой с интер-

валом между повторным применением гербицида в несколько лет. Для сравнения в опытах были приняты два контрольных варианта: без ухода и с ежегодной сплошной обработкой площади раундапом в дозе 3 кг/га д. в. (начало обработки – 1982 г.). Общий расход раундапа на 1 га за 5 лет составил: при ежегодной обработке пластов – 6 кг/га; при сплошной обработке с интервалом в 5 лет – 3 кг/га; ежегодной – 15 кг/га. Расход гербицида по техническому препарату составлял соответственно 15; 7,5 и 4,5 кг/га, стоимость 1050, 525 и 3150 р./га.

Экспериментальную проверку названных режимов ухода выполняли на постоянных пробных площадях в квартале 29 Орлинского лесничества Сиверского лесхоза Ленинградской области в 8-летних культурах ели, посаженных пластами (плуг ПКЛН-500) на вырубке в ельнике кислотно-черничном. Расстояние между рядами культур по пластам вдоль одной борозды 1,8 м, между пластами смежных борозд 4 ... 5 м. Первоначальная густота культур 1 тыс. саженцев на 1 га. Перед началом опыта производили изреживание до густоты 500 экземпляров на 1 га для обеспечения выращивания культур в плантационном режиме. В этих же целях устраняли химическим способом поросль лиственных пород в широких междурядьях.

В пределах каждого варианта на 25 учетных площадках размером 0,5 × 0,5 м определяли изменения общей биомассы живого напочвенного покрова, ее видового и фракционного состава, проективного покрытия. Изучали рост и функциональное состояние – интенсивность фотосинтеза, содержание NPK в хвое 10 модельных деревьев по каждому варианту. Газообмен CO<sub>2</sub> измеряли с помощью газового анализатора Vinos-4В в открытой системе по дифференциальной схеме при естественной концентрации CO<sub>2</sub>,  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и освещенности 30 клк.

В результате установлено, что при регулярной полосной обработке почвы гербицидами вдоль рядов культур по плужным пластам устраняется конкуренция травянистых растений и сохраняется потенциальное плодородие почвы. Так, по данным учета 1988 г., запас углерода при ежегодной сплошной обработке составил 73,5; сплошной один раз в 5 лет – 79,5; пластов – 82,5; в контроле без ухода 82,1 т/га.

Следовательно, частичную обработку почвы гербицидами можно применять без опасения нанести ущерб плодородию почвы, тем более что на практике не требуется такой длительный уход.

При сплошной обработке, но с интервалом в несколько лет сохранение ресурсов потенциального плодородия почвы и их рациональное использование достигается следующим образом. После применения гербицидов в почву поступает большая масса отмерших растений, активизируется разложение растительного опада, почва обогащается подвижными элементами корневого питания. В промежутке между химическими обработками травяной покров восстанавливается, увеличивается регулярное поступление в почву растительного опада, балансируется расход – приход органических веществ. Об этом свидетельствует характер изменения общего запаса живой биомассы, представленный в табл. 1 (данные 1987 г.).

Таблица 1

Вариант	Общий запас биомассы	
	т/га	% к контролю
Контроль без ухода	<u>3,58</u>	<u>100</u>
	3,46	100
Ежегодная обработка:		
	сплошная	<u>43</u>
		46
	пластов	<u>45</u>
		103
Сплошная обработка один раз в 5 лет	<u>4,52</u>	<u>126</u>
	4,22	122

Примечание. В числителе – данные для пласта, в знаменателе – для междурядья.

В зависимости от лесорастительных условий и ассортимента применяемых гербицидов динамика травяного покрова и его структура различаются. При однократном использовании раундапа травяной покров восстановился почти полностью на следующий год, причем в нем резко возросло участие двудольных трав, преимущественно иван-чая.

Таким образом, применение раундапа с интервалом в несколько лет обеспечило краткосрочное уменьшение биомассы травяного покрова и долгосрочное регулирование его видового состава в благоприятную для культур сторону.

Рост культур можно охарактеризовать следующими общими показателями. Смыкание крон в рядах и между сближенными рядами произошло в 1989–1990 гг. (при возрасте культур 15–16 лет) сначала в варианте со сплошной ежегодной химической обработкой, а затем в других. В широких междурядьях полного смыкания не наблюдалось и при последнем учете. Рост культур был задержан сильными июньскими заморозками 1984 г.

Данные о росте культур показывают, что значительный эффект получен в вариантах с химическим уходом (табл. 2).

Таблица 2

Вариант	Возраст культур при учете, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Объем среднего дерева	
				м <sup>3</sup> ·10 <sup>-3</sup>	%
Контроль без ухода	<u>15</u>	<u>3,4 ± 0,1</u>	<u>3,8 ± 0,1</u>	<u>2,8</u>	<u>100</u>
	20	6,7 ± 0,1	7,5 ± 0,2	16,8	100
Ежегодная обработка:					
	сплошная	<u>15</u>	<u>3,8 ± 0,1</u>	<u>5,2 ± 0,1</u>	<u>5,1</u>
		20	7,2 ± 0,1	8,7 ± 0,2	23,7
	пластов	<u>15</u>	<u>4,9 ± 0,2</u>	<u>4,2 ± 0,1</u>	<u>4,4</u>
	20	7,8 ± 0,1	9,6 ± 0,2	25,5	152
Сплошная обработка один раз в 5 лет (1982, 1987 гг.)	<u>15</u>	<u>3,9 ± 0,1</u>	<u>4,8 ± 0,1</u>	<u>4,8</u>	<u>171</u>
	20	7,4 ± 0,1	9,1 ± 0,2	25,1	149

Примечание. В числителе – данные учета 1989 г., в знаменателе – 1994 г. Объем среднего дерева определяли по таблицам В.С. Моисеева [2].

Таблица 3

Вариант	Интенсивность фотосинтеза хвои, % к контролю, при кратности обработок, лет				
	3	4	6	7	8
Ежегодная обработка:					
сплошная	107	128	103	90	111
пластов	100	96	115	106	108

Таблица 4

Вариант	Содержание макроэлементов, % к абс. сухой хвое		
	N	P	K
Контроль без ухода	1,10 ± 0,04	0,23 ± 0,01	0,27 ± 0,00
Ежегодная обработка:			
сплошная	1,19 ± 0,03	0,32 ± 0,02	0,25 ± 0,01
пластов	1,14 ± 0,04	0,31 ± 0,01	0,27 ± 0,01
Сплошная обработка один раз в 5 лет	1,12 ± 0,03	0,31 ± 0,01	0,26 ± 0,01

Темпы роста по вариантам ухода с течением времени изменяются. В первые 5 лет лучшим ростом отличались культуры, в которых проводилась сплошная ежегодная обработка. В дальнейшем разница с контролем сократилась. В вариантах с менее интенсивным уходом темпы роста культур были более стабильными.

Для оценки влияния режима ухода на функциональное состояние хвои плантационных культур ели определяли интенсивность фотосинтеза через месяц после обработки, в течение которого обычно проявляется повреждающее действие раундапа на хвою. В опытном варианте в большинстве случаев она несколько превышала контрольный уровень, что могло быть следствием стимулирующего влияния субтоксических доз гербицида, поступившего в модельные деревья (табл. 3). Кратность обработки в этом случае не играла существенной роли.

В варианте с обработкой один раз в 5 лет раундап применяли дважды. Изучение последствия его воздействия в таком режиме показало, что интенсивность фотосинтеза опытного варианта превышала контроль на 5-6 %.

При анализе содержания N, P, K в хвое опытных вариантов через 5 лет после обработки не выявлено недостатка макроэлементов (табл. 4). Содержание калия, за исключением варианта с ежегодной сплошной обработкой, близко к контролю, фосфора – на 38 и 39 % выше. Этот факт в сочетании с интенсивным ростом свидетельствует о благоприятных условиях минерального питания. Однако при ежегодной сплошной обработке пластов и междурядий в результате усиленной минерализации органических веществ, образования избыточных подвижных форм  $N-NO_3$  и  $N-NH_4$  и выноса их с промывными водами за пределы почвенного горизонта со временем потенциальное плодородие почвы снижалось. Вариант с умеренной химической

нагрузкой (обработка пластов и дискретная по времени обработка) исключает вероятность подобной потери плодородия.

В целом химический уход оказался эффективным. Следует отметить преимущества обработки культур гербицидом с интервалом в 5 лет. Этот вариант обеспечивает восстановление запасов органики в период между обработками, что способствует сохранению высоких темпов роста культур в будущем. Эффект достигается при значительно меньшей химической нагрузке не сразу и при достаточно низких расходах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Бельков В. П., Цветкова С. Д. Рост посадок ели в связи со способами устранения травяного покрова // Гербициды и арборициды в лесном хозяйстве: Сб. науч. тр. / ЛенНИИЛХ. - Л., 1977. - Вып. 27. - С. 29-32. [2]. Моисеев В. С. Таксация молодняков. - Л.: ЛТА, 1971. - 344 с. [3]. Шутов И. В. и др. Лесные плантации. - М.: Лесн. пром-сть, 1984. - 246 с.

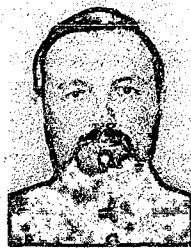
Поступила 6 февраля 1997 г.

УДК 630\*68

*Г.Е. РОМАНОВ*

Петрозаводский государственный университет

Романов Григорий Евгеньевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат экономических наук, доцент кафедры лесного хозяйства Петрозаводского государственного университета. Имеет 18 печатных работ по проблемам многоцелевого природопользования.



### **УЧЕБНО-ОПЫТНОЕ ЛЕСНИЧЕСТВО КАК ОБЪЕКТ МНОГОЦЕЛЕВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

На примере лесничества «Матросы» Петрозаводского университета рассмотрена возможность преобразования его в объект многоцелевого природопользования.

Based on the «Matrosy» forestry of the Petrozavodsk University the possibility of converting it into the object of multipurpose nature management is considered.

Современное учебно-опытное лесничество крупного университета не может, как это было до сих пор, оставаться только базой учебных практик по узкому кругу дисциплин лесного хозяйства и лесозаготовок. Оно может и должно стать комплексным учебным центром (или хотя бы объектом) многоцелевого характера, где буквально все функционировало бы в режиме реальной производственной, экономической, просветительской и иной деятельности и лишь через эту деятельность выступало бы как учебно-лабораторная база.

Идеи многоцелевого лесопользования и еще шире – природопользования теперь уже не новы. Но пока они выступают либо как абстрактные перечни направлений, где чуть ли не главным является число направлений, либо как частные примеры, образцы комплексных хозяйств, в каждом из которых осуществлено лишь несколько направлений, какой-то свой набор. Любое конкретное хозяйство, намеревающееся стать многоцелевым, должно смоделировать извлечение максимума полезностей из всей совокупности своих ресурсов, не нарушая имеющихся ограничений природного, социального и иного характера. В менеджменте это принято называть миссией организации, но может быть здесь уместно и такое высокое слово, как «идеология», поскольку речь идет о достижении гармонии между интересами и целями организации, с одной стороны, и природой, населением, временем – с другой.

Миссию или идеологию развития учебно-опытного лесничества можно сформулировать следующим образом: в течение ближайших одного-двух десятилетий превратить учебно-опытное лесничество в показательное многоцелевое хозяйство:

а) отвечающее принципам и представлениям о многоцелевом лесо- и природопользовании, изложенным в [1–9] и других работах;

б) органически участвующее в решении экономических, социальных и экологических задач территории, на которой оно находится, принося максимум пользы местному населению;

в) являющееся многоплановой учебно-лабораторной базой университета, включая хозяйственную деятельность с элементами самоокупаемости и самофинансирования.

Последнее означает, что учебно-опытное лесничество остается подразделением университета, по-прежнему служит базой практик и научно-исследовательских работ лесохозяйственного профиля, но одновременно диверсифицируется, т. е. развивает все новые и новые виды деятельности, не обязательно лесохозяйственные и даже вообще не лесные, но использующие другие возможности, заложенные в данной территории.

В настоящее время в учебно-опытном лесничестве «Матросы» Петрозаводского государственного университета в результате проведенных лесинвентаризационных работ выявлены следующие ресурсы:

1) представляющие научный и познавательный интерес следы прошлой хозяйственной деятельности: приисковых, многоприемных выборочных рубок, лесозаготовок (остатки лесовозных дорог старых типов) и др.;

2) общие запасы древостоев более 300 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе спелых 70;

3) возможности заготавливать ежегодно от 600 до 3500 кг ягод и грибов и около 5 т березового сока;

4) компактные размещения редких и исчезающих видов растений, насекомых и птиц, часть которых занесена в Красные книги Карелии и России (всего более 20 видов);

5) участки 300-летних сосняков, березняков в возрасте более 150 лет; элементы аапа-болот, впервые обнаруженные на широте Петрозаводска; живописные ландшафты.

Все это позволило представить документы на объявление части территории лесничества памятником природы.

С 1935 г. по 1949 г. 52 % территории вокруг пос. Матросы было пройдено сплошными рубками, которые возобновились мягколиственными породами. В настоящее время возраст этих древостоев составляет 50 ... 60 лет; почти 80 % запаса приходится на деревья с диаметром менее 20 см. В насаждениях с такими характеристиками можно развернуть заготовку балансов и фанерного кряжа. Другими направлениями деятельности могут быть: рекреационное использование территории, включая научный и учебный туризм по природным и историческим объектам, отдых на заранее подготовленных местах, лицензионную рыбалку и охоту с предоставлением сервисных услуг; организованный сбор грибов, ягод, березового сока, лекарственного сырья с переработкой их в поселке.

Все это лишь элементы многоцелевого природопользования мозаично-разнонаправленного типа, которое может и должно получить развитие благодаря усилиям учебно-опытного лесничества как научно-инициативного центра в тесном сотрудничестве с местными населением и администрацией. В выигрыше будут обе стороны. Особенно важно, что многоцелевое природопользование будет способствовать увеличению занятости населения, повышению экономической и социальной устойчивости территории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Желдак В. И. Система многоцелевого лесопользования – основа сохранения многообразия природы // Тез. докл. Рос.-Финск. семинара «Лесное хозяйство и многообразие природы». Изв. фак-та лесных наук ун-та г. Йозенсуу. - 1995. - № 34. - С. 377-380. [2]. Куколев М. И., Романов Г. Е. Термодинамическая оценка локальных территорий и многоцелевое природопользование // Проблемы развития лесного комплекса Северо-Западного региона: Тез. докл. Междунар. конф. (Петрозаводск, Республика Карелия, октябрь 1996, Петрозаводский госуниверситет). - 1996. - С. 44-48. [3]. Любимов А. В., Вавилов С. В. Многоцелевое ис-

пользование заповедных и особо охраняемых территорий // Тез. докл. Рос.-Финск. семинара «Лесное хозяйство и многообразие природы». Изв. фак-та лесных наук ун-та г. Йозенсуу. - 1995. - № 34. - С. 394-397. [4]. Мелехов И.С. Лесоводство. - М.: Агропромиздат, 1984. - 302 с. [5]. Моисеев Н.А. Воспроизводство лесных ресурсов. - М.: Лесн. пром-сть, 1980. - 264 с. [6]. Петров А.П., Бурдин Н.А., Кожухов Н.И. Лесной комплекс. Вопросы теории и практики. - М.: Лесн. пром-сть, 1985. - 296 с. [7]. Романов Г.Е., Протасова А.В. О некоторых проблемах развития рекреационного направления в Карелии // Тр. лесоинж. фак-та Петрозавод. гос. ун-та. - Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1996: - Вып. 1. - С. 79 - 92. [8]. Klemperer W. David. Forest resource economics and finance. - Singapore: Mc Graw-Hill Inc., 1996. - 551 p. [9]. Saastamoinen O. Economics of multiple-use forestry in the Saariselka forest and fell area. Commun. Inst. For. Fenn. - Helsinki, 1982. - 102 с.

Поступила 22 апреля 1999 г.

УДК 658.5.004:630\*377.4

*Л.И. МАЙОРОВ*

Татарская ЛОС



Майоров Лев Ильич родился в 1919 г., окончил в 1958 г. Сибирский лесотехнический институт. Имеет более 140 печатных работ в области технологии, механизации и автоматизации лесохозяйственных, лесокультурных работ, организации и эксплуатации машинно-тракторного парка.

### **ТРЕБОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ К ТРАКТОРУ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА КАК ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ МАРКЕТИНГА**

Приведены результаты обработки большой выборки суждений экспертов – потенциальных потребителей. Выявлены «контуры» ожидаемых колесных и гусеничных тракторов для лесной и лесостепной зон.

The results of processing a big retrieval of «expert» propositions – potential customers – are given. The «outlines» of the expected wheeled and tracked forest machines are revealed for forest and forest-steppe zone.



В условиях, когда машиностроительным объединениям приходится самим искать покупателей продукции, возникает необходимость в службах маркетинга, который начинается с изучения рынка, т. е. выявления потенциальных потребителей и их требований к выпускаемой продукции.

В лаборатории механизации Татарской ЛОС накоплен значительный объем информации о состоянии лесохозяйственной техники. Так, в 1981–1983 гг. были выполнены задания, связанные с подготовкой нормативов сроков службы машин и орудий для лесного хозяйства [2]. Изучено состояние техники в Уральском (Республика Удмуртия, Пермская, Свердловская, Курганская, Челябинская и Оренбургская области) и в Волго-Вятском (Республики Чувашия, Мордовия, Марий-Эл, Кировская и Горьковская области) регионах.

С 1986 г. по 1991 г. проведен анализ использования техники в отрасли и обоснована оптимальная структура МТП; разработаны и внедрены нормативы по эксплуатации МТП; проведены исследования надежности основных лесохозяйственных машин и орудий, внедрены новые формы организации техобслуживания и ремонта [3, 4]. Для этого был выделен ряд типичных хозяйств в лесостепной зоне Поволжского экономического района (Республики Башкирия, Татария, Самарская, Саратовская и Ульяновская области). С 1992 г. лаборатория работала над технико-экономическим обоснованием энергетической базы лесного хозяйства, но в связи с прекращением финансирования был выполнен лишь первый шаг маркетинга – изучены требования специалистов лесного хозяйства к лесному трактору.

В целях получения формализованной информации были охвачены опросом все типичные опытно-показательные и по одному из средних и отстающих различных предприятий лесного комплекса (леспромхозы, лесхозы и лесокомбинаты) в трех экономических районах, так как в указанные ранее годы с ними имелась и поддерживалась периодическая связь в ходе маршрутных обследований, почтовая и в форме посещений сотрудниками лаборатории.

Составлены анкеты, в которых вопросы к «экспертам» (специалистам различных уровней) разделены на три группы: тип трактора, его характеристики, технологическая оснастка.

В зависимости от адресата анкета содержала перечень должностей экспертов с присвоением шифров, в соответствии с которыми каждый из специалистов должен был заполнить свою колонку во всех трех группах вопросов по степени убывания их значимости (с его точки зрения). В конце анкеты, в отдельной форме, эксперт сообщал сведения о стаже работы в отрасли и при желании давал примечания. Заполненные анкеты заверялись руководителем организации и высылались в ЛОС.

Анкетированием было охвачено 478 специалистов из одиннадцати ЛХТПО, трех МЛХ и двух комитетов по лесу. Проведен также опрос слушателей ВИПКЛХ по кафедре новой технологии и техники под руководством ст. преподавателя Л.П. Самсоновой, специалистов из 14 областей европейской части России, преподавателей соответствующих дисциплин

вузов и техникумов, специалистов Кировской МИС, лесных опытных станций, находящихся на территории проводимого опроса (резервный фонд).

Были опрошены специалисты 13 из 16 (81,3 %) областей и республик трех экономических районов; число экспертов составило 32,4, а с учетом резервного фонда 49,0 %.

Для обработки информации применен метод экспертных оценок [1]. Составлена шкала «веса» экспертов в баллах (от 0,5 до 6,0). «Перечень должностей имел три уровня: верхний (руководители областного, республиканского уровня, главные специалисты и начальники отделов); средний (директора, главные специалисты, инженеры) и нижний (лесничие, их помощники, трактористы, мастера).

По результатам опроса в соответствии с [5] местности, в которых работали эксперты, сгруппированы в две лесорастительные зоны. Семь областей отнесено к лесостепной, восемь – к лесной зоне.

Обобщенные мнения экспертов о значимости отдельных параметров эксплуатируемых и ожидаемых тракторов получены с применением программы на микрокалькуляторе МК-56. Они позволили выявить «контуры» ожидаемого трактора, причем существенных различий в требованиях для двух лесорастительных зон ведения хозяйства не отмечено.

Ниже в обобщенной формулировке приведены основные данные о тракторах: а – колесных; б – гусеничных.

Для лесостепной зоны:

а) универсальный малогабаритный (требуется уточнения) колесный трактор с двумя ведущими мостами, шарнирно-сочлененной рамой, удобным управлением, сертификатом качества изготовления и соответствия требованиям экологичности. Мощность двигателя 16 ... 30 л. с. (требуется уточнения). Оснастка: две навесные системы, передний и задний ведущие мосты, гидроуправляемая лебедка (число барабанов требуется уточнения), отвал и вертикальный щит;

б) специальный малогабаритный (требуется уточнения) гусеничный трактор с удобным управлением, сертификатом качества изготовления и соответствия требованиям экологичности (требуется уточнения). Мощность двигателя 30 ... 50 л. с. (требуется уточнения). Оснастка: две навесные системы, гидроуправляемая однобарабанная лебедка, щит, отвал, задний ведущий мост.

Для лесной зоны:

а) специальный колесный трактор с шарнирно-сочлененной рамой, удобным управлением, сертификатом качества изготовления. Мощность двигателя 30 ... 50 л. с. (требуется уточнения). Оснастка: две навесные системы, гидроуправляемая двухбарабанная лебедка, вертикальный щит, отвал; задний ведущий мост;

б) специальный гусеничный трактор с удобным управлением, экономичный, с сертификатом качества изготовления и соответствия требованиям экологичности (требуется уточнения). Мощность 50 ... 80 л. с. (требуется уточнения). Оснастка: однобарабанная лебедка с гидравлическим управле-

нием, две навесные системы, наклонный щит, отвал. Подставки гусениц с уширенными или «упругими» звеньями в определенном количестве (требует уточнения) обязательны.

Приведенные требования экспертов дают достаточно четкое описание ожидаемого трактора. Ряд экспертов из Волго-Вятского экономического района в примечании предлагают ввести в ассортимент оснастки съемное технологическое оборудование в виде телескопического манипулятора с набором сменных рабочих органов (грейфер, клешневые захваты, срезающие и почвообрабатывающие инструменты).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Статистика, 1980. - 263 с.
- [2]. Майоров Л. И. Результаты разработки проекта нормативов сроков службы машин и орудий лесовосстановления в Волго-Вятском и Уральском экономических районах // Лесные культуры в Среднем Поволжье. - М., 1991. - С. 79-93. - Деп. во ВНИИЦлесресурс 04.02.91, № 851-Лх91. [3]. Майоров Л. И., Махмутов М. М. Годовая загрузка лесохозяйственной техники в типичных хозяйствах Поволжского региона // Лесхоз. информ. - 1993. - № 4. - С. 25-28. [4]. Майоров Л. И., Махмутов М. М. Опыт определения оптимального времени пребывания автотракторного парка в техническом обслуживании на примере Заинского ЛПХ // Лесхоз. информ. - 1993. - № 6. - С. 34-35. [5]. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1986-1995 гг. Ч. 4. // Лесхоз-во и защитное лесоразведение. - М., 1986. - С. 9-12.

Поступила 13 января 1997 г.

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630\*377

*Г.М. АНИСИМОВ, А.М. КОЧНЕВ, Д.Ю. МАСЛОВ*С.-Петербургская лесотехническая академия  
АО «Онежский тракторный завод»

Анисимов Георгий Михайлович родился в 1932 г., окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесных гусеничных и колесных машин С.-Петербургской лесотехнической академии, академик РАЕН, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет около 150 печатных работ в области исследования повышения технического уровня и эксплуатационной эффективности лесосечных машин.



Кочнев Александр Михайлович родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры лесных гусеничных и колесных машин С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 60 печатных работ по вопросам совершенствования теории взаимодействия трелевочной системы с волоком.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ГИДРООБЪЕМНОЙ ПЕРЕДАЧИ  
ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА**

Предложена научно обоснованная методика оптимизации управления системой ДВС – ГОП трелевочного трактора на основе использования многопараметровых характеристик двигателя и самого трактора. Приведены результаты поиска алгоритма оптимального управления системой.

The scientifically based technique of optimizing control of the system «ICE – HVT» is suggested for skidder based on using multiparameter characteristics of engine and the skidder itself. The results of searching the algorithm of optimal control of the system are given.

Повышение эффективности работы моторно-трансмиссионной установки трелевочного трактора с гидрообъемной передачей (ГОП) в значительной степени связано с оптимизацией согласования характеристик двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и самой передачи. Как показал анализ работ, посвященных выбору параметров системы ДВС – ГОП, все они носят фрагментарный, узко направленный характер.

Цель наших исследований – разработать научно обоснованную методику оптимизации управления системой ДВС – ГОП трелевочного трактора.

Известно, что одним из основных показателей эксплуатационной эффективности трелевочных тракторов является повышение их топливной экономичности. Оценить ее на любом скоростном и нагрузочном режимах можно только по многопараметровым характеристикам. Однако они не получили широкого распространения, поскольку для их построения требуется очень большое число измерений расхода топлива при разных сочетаниях скоростных и нагрузочных режимов двигателя. Если при стендовых испытаниях дизелей и удастся провести цикл измерений, то в эксплуатационных условиях такая задача практически неразрешима.

Выходом из создавшейся ситуации является использование метода планирования экспериментов, позволяющего по ограниченному числу экспериментальных данных построить многопараметровые характеристики как двигателя, так и трактора. Для двигателя достаточно иметь результаты измерений часового расхода топлива  $G_T$ , крутящего момента двигателя  $M_c$  и частоты вращения его вала  $n$ ; для трактора – часового расхода топлива  $G_T$ , тягового усилия  $P_k$  и скорости движения  $v$ . В целом достаточно около 40...50 измерений на различных участках поля рассматриваемых характеристик. Метод планирования эксперимента предусматривает построение зависимости  $G_T = f(n, M_c)$  и  $G_T = f(P_k, v)$  в виде полинома второй степени

$$G_T = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 X^2 + a_4 XY + a_5 Y^2, \quad (1)$$

где  $X, Y$  – искомые переменные.

Эта зависимость действительна при изменении  $X$  и  $Y$  от 0 до максимальных значений, ограниченных полем скоростной характеристики двигателя и тяговой характеристики трактора:

$$0 < G_T(X, Y) \leq G_T(X_{\max}, Y_{\max}).$$

Значения коэффициентов  $a_i$  полинома (1) определяют по методу наименьших квадратов. Имея полиномы  $G_T = f(n, M_c)$  или  $G_T = f(P_k, v)$ , можно вычислить координаты линий равного уровня удельного расхода топлива. Для этого на основании скоростной характеристики двигателя

---

\* Ситников В.Р. Соотношение между рабочими объемами одно- и двухнасосных гидрообъемных трансмиссий гусеничных трелевочных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. - 1990. - № 5. - С. 15-16.

$M_e = f(n)$  или тяговой характеристики трактора  $v = f(P_k)$  надо представить полином (1) в виде квадратичных уравнений:

$$G_T = \frac{g_e M_e n}{6a} = b_0 + b_1 n + b_2 M_e + b_3 n^2 + b_4 n M_e + b_5 M_e^2; \quad (2)$$

$$G_T = g_e P_k v = d_0 + d_1 P_k + d_2 v + d_3 P_k^2 + d_4 P_k v + d_5 v^2. \quad (3)$$

Решение уравнений (2) и (3) имеет вид

$$M_e = 0,5 b_5^{-1} \{ -(b_2 + b_4 n - 9550^{-1} g_e n) \pm [(b_2 + b_4 n - 9550^{-1} g_e n)^2 - 4 b_5 (b_0 + b_1 n + b_3 n^2)]^{1/2} \}; \quad (4)$$

$$v = 0,5 b_5^{-1} \{ -(d_2 + d_4 P_k - g_e P_k) \pm [(d_2 + d_4 P_k - g_e P_k)^2 - 4 d_5 (d_0 + d_1 P_k + d_3 P_k^2)]^{1/2} \}. \quad (5)$$

Здесь  $M_e$  – крутящий момент, Н·м;

$n$  – частота вращения вала, мин<sup>-1</sup>;

$P_k$  – тяговое усилие, Н;

$v$  – скорость движения, м/с;

$G_T$  – часовой расход топлива, г/(кВт·ч);

$g_e$  – удельный расход топлива, г/(кВт·ч).

Подставляя в (4) и (5) постоянные  $g_e$  и различные значения  $n$ ,  $P_k$  (от минимального до максимального), получаем координаты линий равного уровня удельного расхода топлива на поле многопараметровых характеристик.

С помощью приведенной методики и по результатам наших экспериментальных исследований были определены: многопараметровая характеристика двигателя СМД-20 (рис. 1) и многопараметровая тяговая характеристика опытного образца трелевочного трактора АО ОТЗ ВПМ-100Г с ГОП (рис. 2).

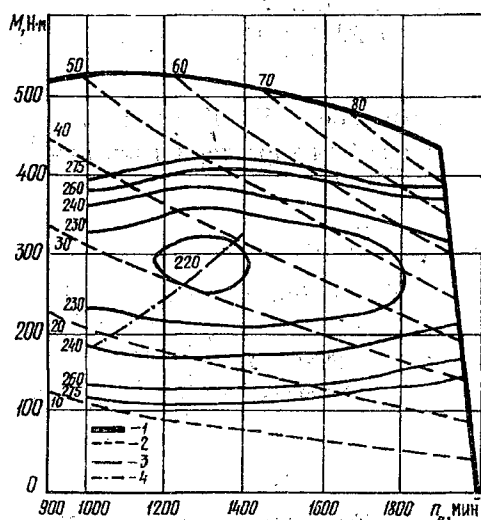
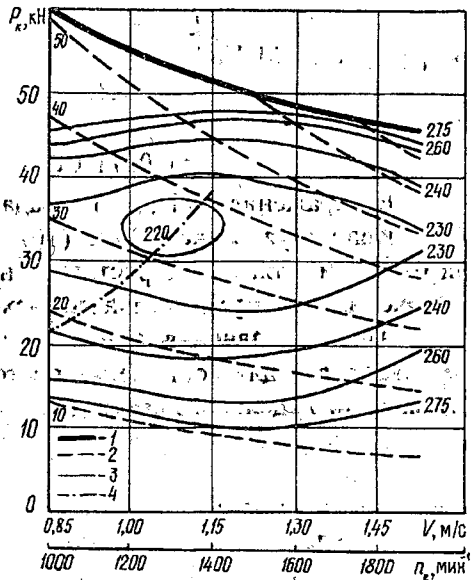


Рис. 1. Многопараметровая характеристика двигателя СМД-20 трактора ВПМ-100Г: 1 – регуляторная характеристика; 2 – линии равной эффективности мощности  $N$ ; цифрами 10...80 обозначены величины  $N$ , кВт; 3 – линии равного эффективного удельного расхода топлива  $g_e$ ; цифрами 220...275 обозначены величины  $g_e$ , г/(кВт·ч); 4 – линии минимального удельного расхода топлива

Рис. 2. Многопараметровая тяговая характеристика трактора ВПМ-100Г с гидрообъемной передачей: 1 — тяговая характеристика; 2 — линии равной мощности  $N$ ; цифрами 10...50 обозначены величины  $N$ , кВт; 3 — линии равного удельного расхода топлива  $g_e$ ; цифрами 220...275 обозначены величины  $g_e$ , г/(кВт·ч); 4 — линии минимального удельного расхода топлива



Расчеты показывают, что уравнение для определения часового расхода топлива дизеля СМД-20 имеет вид

$$G_T = 4057,23 + 2,349n - 48,638M_e + 0,00133nM_e + 0,001217n^2 + 0,17427M_e^2 \quad (6)$$

Ошибка часового расхода, рассчитанного по уравнению (6), составляет 2,8 % относительно регуляторных характеристик двигателя.

Для построения линий равного уровня удельного расхода топлива используют уравнение

$$M_e = 2,873 (-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 40,17427b_1}), \quad (7)$$

$$\text{где } a_1 = -48,638 + 0,00133n - \frac{g_e n}{9550};$$

$$b_1 = 4057,227 + 2,349n + 0,001217n^2.$$

Уравнение для определения часового расхода топлива трактора ВПМ 100-Г имеет вид

$$G_T = 6,1367 - 0,0195P_k + 8,197v - 0,0161P_k v + 0,00003 P_k^2 + 2,1872v^2 \quad (8)$$

Отсюда для построения линий равного уровня удельного расхода топлива используют уравнение

$$v = 0,228 (-a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - 8,748b_2}), \quad (9)$$

$$\text{где } a_2 = 8,917 - 0,0161P_k - g_e P_k;$$

$$b_2 = 6,1367 - 0,0195P_k + 0,00003 P_k^2.$$

Анализируя изображенные на рис. 1 и 2 линии постоянного удельного расхода топлива и постоянной мощности, можно отметить характерные точки их касания. Линия, проходящая через них, представляет собой линию минимального удельного расхода топлива. Для двигателя СМД-20 их можно описать квадратичным уравнением

$$M_e = -13,17 + 0,0716n + 0,000121n^2; \quad (10)$$

для трактора ВПМ-100Г

$$P_k = 57,364 - 112,515v + 83,537v^2 \quad (11)$$

или

$$v = 0,0671 + 0,0456P_k - 0,000454P_k^2. \quad (12)$$

В выражениях (11), (12)  $P_k$  задается в кН, а  $v$  – в м/с.

Используя зависимости (10) – (12), можно регулировать работу двигателя и тягово-скоростных показателей трактора из условия обеспечения минимума удельного расхода топлива.

Анализ уравнения линии минимального удельного расхода топлива показывает, что для достижения постоянной работы МТУ трактора в зоне минимального удельного расхода топлива его тягово-скоростные показатели можно регулировать в соответствии с полученным законом (11) или (12), т. е. по двум параметрам –  $P_k$  и  $v$ . Однако особенностью работы трелевочного трактора в отличие от тракторов другого назначения, например сельскохозяйственного или промышленного, является широкий спектр входного воздействия, что делает нецелесообразным регулирование по  $P_k$ .

Регулирование же ГОП по  $v$  возможно двумя путями: изменением частоты вращения вала двигателя и угла наклона шайбы гидронасоса. Процесс трелевки древесины по волоку осуществляется, как правило, при установке рычага подачи топлива в максимальное положение. Следовательно, наиболее целесообразно регулирование ГОП по углу наклона шайбы гидронасоса. Таким образом, трелевку древесины по волоку трактором с ГОП необходимо осуществлять на полной подаче топлива и заданном скоростном режиме движения, который целесообразно поддерживать, изменяя угол наклона шайбы гидронасоса  $\beta_{ш}$  в зависимости от коэффициента сопротивления движению трактора  $f$ . Выражая в уравнении (12) скорость  $v$  через параметры гидропередачи, получаем

$$v = \frac{n_1 r_3}{i_{бр}} e \eta_0, \quad (13)$$

где  $n_1$  – частота вращения вала гидронасоса (вала ДВС),  $c^{-1}$ ;

$r_3$  – радиус звездочки, м;

$i_{бр}$  – передаточное отношение бортового редуктора;

$\eta_0$  – объемный КПД гидропередачи;

$e$  – параметр регулирования гидронасоса,  $e = q_i / q_{\max}$  ( $q_i$  – текущий,  $q_{\max}$  – максимальный объем гидронасоса,  $см^3$ ).

Приравняв правые части уравнений (12), (13) и выразив оттуда  $e$ , получим закон регулирования текущего объема гидронасоса в зависимости от изменения касательной силы тяги трактора (сопротивление движению) при условии обеспечения минимума удельного расхода топлива:

$$e = \frac{(0,0671 + 0,0456P_k - 0,000454P_k^2) i_{бр}}{n_1 r_3 \eta_0} \quad (14)$$



Известно, что величина  $P_k$  связана с давлением жидкости в гидросистеме передачи следующей зависимостью:

$$P_k = 0,159 p_{ж} q_{\max} i_{бр} \eta_{гм} / r_3, \quad (15)$$

где  $p_{ж}$  – давление жидкости в гидросистеме, МПа;

$\eta_{гм}$  – силовой КПД гидромотора.

Таким образом, зная давление в гидросистеме, которое передается в виде электрического сигнала, преобразовав его по зависимости (14) с учетом (15) в электронном устройстве и подав на исполнительный механизм, связанный с шайбой гидронасоса, можно осуществлять автоматическое регулирование оптимальных режимов работы ДВС и ГОП трелевочного трактора по критерию обеспечения минимума удельного расхода топлива.

### Выводы

1. Оптимизация управления гидрообъемной передачей трелевочного трактора должна базироваться на параметрических характеристиках установленного на ней двигателя.
2. Разработана методика построения многопараметровых характеристик двигателя и трелевочного трактора при ограниченном числе опытов, полученных в производственных условиях.
3. Предложена методика оптимизации управления системой ДВС – ГОП трелевочного трактора с использованием многопараметровых характеристик.

Поступила 10 декабря 1996 г.

УДК 630\*378.34:531

*С.И. МОРОЗОВ*

Архангельский государственный технический университет

Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 170 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.



## УДАР ПЛОТА О НЕПОДВИЖНОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ

Рассмотрена задача удара плота о неподвижное препятствие. Решения выполнены с помощью уравнений расширенной теории плоского удара двух тел. Для трех случаев соударения получены расчетные значения импульсов ударных сил и скоростей плота после удара.

The problem of raft stroke on motionless obstacle is considered. The solutions are carried out based on the equations of the extended theory for plane stroke of two bodies. The estimated values of impact forces and raft velocities after stroke have been obtained for three cases of collision.

В работе [3] изложена методика расчета ударных сил, действующих на крупногабаритную сплочную единицу при ее ударе о неподвижное препятствие. Решение такой задачи необходимо для определения сил, действующих на канаты такелажа плота, их прочности.

При решении задачи удара авторы работы [3] использовали классическую теорию удара. Она основана на применении двух теорем [1]: об изменении количества движения материальной системы:

$$m_1 (\bar{u}_1 - \bar{v}_1) = \bar{S}_1; \quad (1)$$

$$m_2 (\bar{u}_2 - \bar{v}_2) = \bar{S}_2; \quad (2)$$

об изменении моментов количества движения:

$$I_1 (\omega_1 - \omega_{10}) = m_1 (\bar{S}_i^e); \quad (3)$$

$$I_2 (\omega_2 - \omega_{20}) = m_2 (\bar{S}_i^e). \quad (4)$$

Здесь и далее обозначено (в работе [3] даны другие обозначения):

$m_1, m_2$  – массы соударяющихся тел;

$I_1, I_2$  – моменты инерции тел относительно осей, проходящих через их центры масс перпендикулярно плоскости вертикальной симметрии;

$\bar{S}_1, \bar{S}_2$  – импульсы ударных сил в точке соударения;

$m_1 (\bar{S}_i^e), m_2 (\bar{S}_i^e)$  – моменты импульсов относительно центров масс тел;

$\bar{v}_1, \bar{v}_2$  – скорости центров масс тел до удара;

$\bar{u}_1, \bar{u}_2$  – то же после удара;

$\omega_{10}, \omega_1$  – угловые скорости первого тела до и после удара;

$\omega_{20}, \omega_2$  – то же для второго тела.

Нами рассмотрены задачи удара плота о неподвижное препятствие с использованием более общей методики, изложенной в работе [2]. Случаи соударения и расчетные схемы аналогичны использованным в работе [3].

Расчетные схемы отличаются от схем в [3] направлением и обозначением осей координат, а также некоторыми другими деталями.

До удара плот массой  $m_1$  (первое тело) совершает плоское поступательное движение и ударяет о массивное неподвижное тело (второе). Сле-

довательно, для первого тела  $\omega_{10} = 0$ , для второго  $m_2 = \infty$ ,  $I_2 = \infty$ ,  $v_2 = 0$ ,  $\omega_{20} = 0$ ,  $\omega_2 = 0$ . В момент соударения движение плота рассматриваем в плоской системе координат с осями  $\tau_1$  и  $n_1$ .

Ось  $n_1$  (нормальная) лежит на нормали к поверхности тел в точке соударения  $E$  и направлена внутрь первого тела. Ось  $\tau_1$  (касательная) расположена перпендикулярно к оси  $n_1$  и образует с нею правостороннюю систему координат. Орты этих осей обозначены  $\bar{n}_1$  и  $\bar{\tau}_1$ .

Положение точки  $C_1$  (центра масс первого тела) в рассматриваемой системе координат можно определить с помощью как радиуса-вектора  $\bar{r}_1$ , проведенного из точки  $E$ , так и координат  $h_1$  и  $p_1$ , которые равны перпендикулярам, опущенным из точки  $C_1$  на оси  $n_1$  и  $\tau_1$ .

Импульс ударной силы  $\bar{S}_1$ , а также скорость точки  $C_1$  после удара выразим через их проекции на оси координат. Проекции этих величин на ось  $\tau_1$  обозначим  $\bar{S}_\tau$ ,  $\bar{v}_1 \bar{\tau}_1$  и  $\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$ , на ось  $n_1$  —  $\bar{S}_n$ ,  $\bar{v}_1 \bar{n}_1$  и  $\bar{u}_1 \bar{n}_1$ .

Как и в работе [3], положим, что плот имеет форму прямоугольника. Геометрические размеры плота при ударе не изменяются, но ввиду взаимного перемещения бревен (и пучков) удар является неупругим. Это значит, что коэффициент восстановления недеформированного состояния тел после удара  $\epsilon$  равен нулю.

При ударе свободного плоского тела о неподвижное массивное препятствие согласно работе [2] имеем следующие расчетные зависимости.

Для определения импульсов ударных сил (при  $\epsilon = 0$ ):

а) с проскальзыванием тел в точке  $E$

$$S_\tau = S_n f; \quad (5)$$

$$S_n = - \frac{A_1}{G - Hf}; \quad (6)$$

б) без проскальзывания

$$S_\tau = \frac{HA_1 - GA_2}{B}; \quad (7)$$

$$S_n = \frac{HA_2 - G_1 A_1}{B}, \quad (8)$$

где  $f$  — коэффициент трения скольжения тел в точке  $E$ ;

$G, G_1, H, B$  — инерциальные коэффициенты:

$$G = \frac{1}{m_1} + \frac{h_1^2}{I_1}; \quad G_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{p_1^2}{I_1};$$

$$H = \frac{p_1 h_1}{I_1}; \quad B = G G_1 - H^2;$$

$A_1, A_2$  — скоростные коэффициенты:

$$A_1 = - \bar{v}_1 \bar{n}_1; \quad A_2 = \bar{v}_1 \bar{\tau}_1.$$

Для определения скоростей точки  $C_1$  после удара

$$\bar{u}_1 \bar{n}_1 = \bar{v}_1 \bar{n}_1 + \frac{S_n}{m_1}; \quad (9)$$

$$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1 = \bar{v}_1 \bar{\tau}_1 + \frac{S_\tau}{m_1}. \quad (10)$$

Для определения угловой скорости вращения плота после удара

$$\omega_1 = \frac{S_\tau \rho_1}{I_1} + \frac{S_n h_1}{I_2}; \quad (11)$$

В зависимости от коэффициента трения  $f$  между поверхностями тел в точке  $E$  возможны два варианта соударения: с проскальзыванием и без проскальзывания. Предельные значения коэффициента трения скольжения  $f_n$  находим из уравнения

$$f_n = S_\tau / S_n$$

или, выражая  $S_\tau$  и  $S_n$  по уравнениям (3) и (4), получаем

$$f_n = \frac{HA_1 - GA_2}{HA_2 - G_1 A_2}. \quad (12)$$

Если  $f < f_n$ , то удар происходит с проскальзыванием, при  $f > f_n$  – без проскальзывания. В зависимости от состояния поверхности тел могут иметь место оба варианта удара.

Рассмотрим отдельные случаи соударения тел.

Расчетные величины вычисляем для следующих значений:  $m_1 = 3 \cdot 10^5$  кг,  $I_1 = 3 \cdot 10^7$  кг · м<sup>2</sup>,  $v_1 = 1,2$  м/с,  $a = 6$  м,  $b = 7,5$  м. Скорость  $\bar{v}_1$  параллельна берегу реки (на рисунках – горизонтальной линии).

Первый случай – угловой удар (рис. 1, а). Он происходит в точке  $E$ . Как известно, через точку можно провести множество линий. Для определения положения оси  $n_1$  рассмотрим вспомогательную схему торцевого удара (рис. 1, б). При любом положении  $E$  на торце плота ось  $n_1$  расположена вдоль его длины. Принимаем, что угловой удар является частным случаем торцевого при  $h_1 = a$ . Значит, ось  $n_1$  при

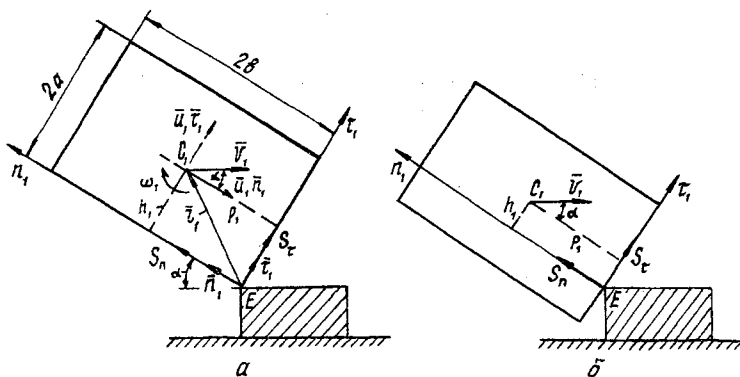


Рис. 1. Расчетные схемы углового удара: а – основная; б – вспомогательная

угловым ударе проходит по боковой стороне прямоугольника, как показано на рис. 1, а. Ось  $\tau_1$  перпендикулярна оси  $n_1$ .

Таким образом, для первого случая  $p_1 = b = 7,5$  м,  $h_1 = a = 6$  м.

Сначала выполним расчет для удара без проскальзывания. Его результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

$\alpha$ , град	Импульс, кН · с			$f_n$	Скорость			Импульс, кН · с, при $f=0,3$	
	$S_\tau$	$S_n$	$S$		$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\omega_1$ , с <sup>-1</sup>	$S_\tau$	$S_n$
					м/с				
0	-84,3	293,6	304,5	0,288	-0,225	-0,281	-0,080	-	-
15	-147,3	304,4	388,2	-0,144	-0,180	-0,098	-0,038	-85,2	284
30	-200,3	295,5	357,1	-0,054	0,054	-0,109	-0,109	-88,6	254
45	-239,7	266,4	358,4	-0,040	0,047	-0,113	-0,109	-62,3	200

Здесь  $S = \sqrt{S_\tau^2 + S_n^2}$  – суммарный импульс ударной силы.

Эти данные показывают, что направления импульса  $S_n$  и оси  $n_1$  совпадают, а векторы  $\bar{S}_\tau$  и  $\bar{\tau}_1$  направлены в противоположные стороны. Значение  $f_n$  достаточно велико и с ростом угла  $\alpha$  увеличивается. Если фактическое значение коэффициента трения  $f$  в точке  $E$  меньше  $f_n$ , то удар происходит с проскальзыванием, если больше – без проскальзывания.

В работе [3] расчет выполнен при  $f = 0,3$ , который, как правило, меньше  $f_n$ . Для  $\alpha \geq 15^\circ$  угловой удар плота о препятствие происходит с проскальзыванием. Значения  $S_\tau$  и  $S_n$  для этого варианта удара, вычисленные по формулам (1) и (2), приведены в двух последних колонках табл. 1. Отметим, что проскальзывание уменьшает значение импульса ударной силы  $S_n$ .

Значение скорости центра масс плота после удара  $u_1$  найдено в виде двух составляющих, направленных по осям  $n_1$  и  $\tau_1$ . В тех случаях, когда  $\bar{u}_1 \bar{n}_1$  и  $\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$  положительны, они направлены в сторону соответствующих осей координат, и наоборот.

Буквой  $\omega_1$  обозначена угловая скорость плота после удара (угловая скорость плота до удара  $\omega_{10}$  принята равной нулю). Для всех значений угла  $\alpha$  в рассматриваемом диапазоне его изменения имеем  $\omega_1 < 0$ , т. е. плот после удара будет вращаться по часовой стрелке.

Хотя задача для углового удара решена полностью, очевидно, что она является чисто умозрительной. На практике удар двух тел ребрами очень редок, обычно он торцовый или боковой.

Второй случай – удар плота о наклонную плоскость (рис. 2).

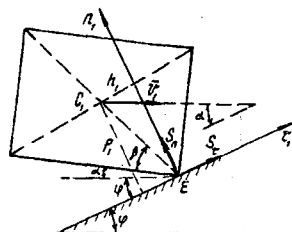


Рис. 2. Расчетная схема для удара плота о неподвижную плоскость

Таблица 2

$\alpha$ , град	$S_t$	$S_n$	$S$	$f_n$	$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\omega_1, \text{с}^{-1}$
	кН · с				м/с		
0	-211,2	219,3	304,5	0,963	0,231	0,168	-0,0374
6	-197,3	213,5	290,8	0,924	0,212	0,208	-0,0414
10	-184,6	205,5	276,3	0,898	0,185	0,250	-0,0450
15	-173,4	195,3	261,38	0,888	0,152	0,828	-0,0483
20	-164,2	183,4	246,2	0,895	0,111	0,318	-0,0512

К исходным данным, приведенным для первого случая, добавим длину половины диагонали прямоугольника  $r = 9,60468$  м и углы  $\varphi = 30^\circ$ ,  $\beta = 38,6548^\circ$ . Угол  $\alpha$  варьируем в диапазоне от нуля до  $20^\circ$ , координаты  $p_1$  и  $h_1$  вычисляем по формулам

$$p_1 = r \sin(\alpha + \beta + \varphi); \quad h_1 = r \cos(\alpha + \beta + \varphi).$$

Результаты расчета при ударе без проскальзывания приведены в табл. 2.

В принятом диапазоне изменения угла  $\alpha$  значения  $f_n$  близки к единице. В нормальных условиях это практически невозможно, поэтому удар плота о наклонную плоскость обычно сопровождается его проскальзыванием. Значения расчетных величин, полученных с использованием формул (1) и (2) при  $f = 0,3$ , приведены в табл. 3.

Зависимость  $S_n$  от  $f$  при ударе с проскальзыванием приведена в табл. 4.

Таким образом, по мере увеличения коэффициента трения импульс  $S_n$  возрастает.

Сравнивая результаты расчета с данными, приведенными в работе [3], отмечаем, что они совпадают по импульсу  $S$  при ударе без проскальзывания и не совпадают по скоростям  $\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$  и  $\omega_1$  при ударе с проскальзыванием. Выяснение причины этого явления требует дополнительного анализа.

Таблица 3

$\alpha$ , град	$S_t$	$S_n$	$S$	$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\omega_1, \text{с}^{-1}$
	кН · с			м/с		
0	-52,5	175,0	182,0	0,0116	0,864	0,0047
5	-54,0	180,3	188,2	0,00102	0,858	-0,00038
10	-54,9	183,2	181,3	0,0108	0,856	-0,0057
15	-55,0	183,5	191,5	0,0117	0,855	-0,0110
20	-54,324	181,1	189,053	0,0036	0,8582	-0,0036

Таблица 4

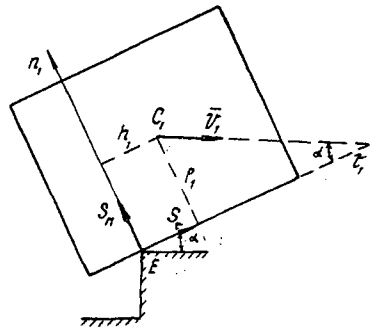
$f$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$S_n, \text{кН} \cdot \text{с}$	180,0	181,6	183,5	186,4	187,4	189,4	191,4	194,0

Третий случай – боковой удар (рис. 3).

Дополнительные исходные данные:  $p_1 = a = 6$  м,  $h_1 = b - l = 7,5 - 2,5 = 5$  м, угол  $\alpha$  варьируем от 0 до  $45^\circ$ .

Результаты расчета при ударе без проскальзывания приведены в табл. 5. Здесь нет значений скоростей центра масс и угловой скорости плота после удара, так как  $f_n$  в большинстве случаев больше единицы, т.е. удар без проскальзывания практически реализовать нельзя.

Рис. 3. Расчетная схема бокового удара



При  $\alpha = 0$  значения  $S_\tau$  и  $S_n$  не равны (как можно было ожидать) нулю. Это объясняется очень высоким коэффициентом трения, при котором происходит ударное взаимодействие плота с препятствием. Если  $f < 1$  (например  $f = 0,3$ , для которого приведен расчет в табл. 6), то здесь  $S_\tau = 0$  и  $S_n = 0$ , что соответствует физическому условию ударного взаимодействия плота с проскальзыванием.

В данной статье не было цели сравнить две методики расчета. Мы хотели лишь показать, что существуют различные методики, имеющие право на применение при решении задач удара. Их использование приводит

Таблица 5

$\alpha$ , град	$S_\tau$ , кН·с	$S_n$ , кН·с	$f_n$	$S$ , кН·с
0	-283,1	83,7	3,381	259,3
15	-285,3	179,3	1,646	345,4
30	-287,3	263,3	1,091	389,7
45	260,0	330,1	0,784	420,27

Таблица 6

$\alpha$ , град	$S_\tau$	$S_n$	$S$	$\bar{u}_1 \bar{n}_1$	$\bar{u}_1 \bar{\tau}_1$	$\omega_1$ , с <sup>-1</sup>
	кН·с			м/с		
0	0	0	0	0	1,2	0
15	-30,2	100,9	105,3	-0,104	1,058	-0,0228
30	-58,6	195,4	204,0	-0,391	0,843	-0,0443
45	-83,2	277,5	289,7	-0,848	0,571	-0,0629

примерно к одним и тем же результатам, о точности которых можно судить только при сравнении их с экспериментальными данными.

С помощью рассмотренной методики можно решить аналогичные задачи на соударение бревен, льдин, понтонов и других плавучих тел. В отличие от методики [3] в каждой такой задаче не надо составлять расчетные уравнения. С помощью нашей методики расчет сводится к выполнению формальных процедур, что позволит составить программу решения уравнений (1) – (7) на ЭВМ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бутенин Н.В., Маркин Д.Е., Лунц Я.Л. Курс теоретической механики. Т. 2. - М.: Наука, 1985. - 492 с. [2]. Морозов С.И. Удар двух тел: Методич. указания по решению задач. - Архангельск: РИО АГТУ, 1996. - 56 с. [3]. Сергеев М.С., Овчинников М.М. Методика расчета ударных нагрузок на крупногабаритную сплочную единицу при транспортировке водными путями // Лесн. журн. - 1996. - № 6. - С. 48-57. - (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 29 мая 1997 г.

УДК 630\*362.001.2

**В.И. КУЧЕРЯВЫЙ, В.Д. ЧАРКОВ, О.М. ВЕДЕРНИКОВ**

Ухтинский государственный технический университет



Кучерявый Василий Иванович родился в 1953 г., окончил в 1977 г. Ленинградскую лесотехническую академию, в 1991 г. Ленинградский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 100 печатных работ в области разработки новых методов расчета прочности и прогнозирования надежности лесозаготовительных машин (ЛЗМ), вероятностного проектирования и статистической динамики конструкций ЛЗМ, моделирования на ПЭВМ ресурса деталей и прогнозирования их потребности.



Чарков Владимир Дмитриевич родился в 1939 г., окончил в 1964 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 40 научных трудов по численным методам расчета прочности конструкций.



Ведерников Олег Максимович родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования специальных лесных машин СПбЛТА. Имеет более 100 печатных работ в области проектирования и расчета параметров конструкций колесных лесных тракторов.



## РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССАХ НАГРУЗОК

Предложен алгоритм нахождения основного параметра надежности по критерию прочности – вероятности безотказной работы. Решение выполнено на примере карданного вала для случая смешанного блока амплитуд крутящего момента, который представлен стационарным гауссовским процессом.

The algorithm of finding the main parameter of reliability according to the strength criterion – probability of nonfailure operation – is suggested. The solution is carried out based on the example of driveshaft in case of mixed block of torque amplitude represented by the stationary Gaussian process.

В С.-Петербургской лесотехнической академии на кафедре проектирования специальных лесных машин ведутся работы по комплексному исследованию [1], проектированию и внедрению лесохозяйственных комплексных тракторов (ЛХКТ) для трелевки леса от рубок ухода. При движении тракторов по лесным дорогам и волокам детали его трансмиссии, ходовой части и технологического оборудования испытывают нагрузки, которые представляют собой случайные функции времени, т. е. случайные процессы.

Ранее большое внимание уделялось изучению динамической нагруженности и колебаниям трансмиссии. Менее исследованы вопросы расчета прочности, ресурса и надежности элементов ЛХКТ, которые подвержены случайным процессам нагружения.

Цель исследований – разработка метода расчета на прочность деталей лесохозяйственных тракторов при нагрузках в виде случайных функций и последующее прогнозирование показателей надежности деталей и требуемого числа запасных частей с учетом условий эксплуатации.

В качестве параметра надежности принимаем вероятность безотказной работы  $R(T)$ , которая является функцией времени эксплуатации детали  $T$  и изменяется в весьма широких пределах при одном и том же коэффициенте запаса прочности. Параметр  $R(T)$  связан с вероятностью отказа  $\bar{R}(T)$  формулой  $\bar{R}(T) = 1 - R(T)$ . Алгоритм реализуем на примере расчета  $R(T)$  и

$\bar{R}(T)$  для карданного вала (КВ), который испытывает крутящий момент  $\tilde{M}(t)$  в виде непрерывного нормального (гауссовского) стационарного процесса. В результате таких воздействий в критических точках трубы КВ действуют касательные напряжения кручения  $\tilde{\tau}(t)$ , являющиеся также случайным процессом. С течением времени из-за необратимых изменений в КВ накапливаются усталостные повреждения, вызванные многократным случайным приложением  $\tilde{M}(t)$ .

При этих условиях общее выражение для  $\bar{R}(T)$  находим на основании теории выбросов случайных процессов. Вероятность отказа  $\bar{R}(T)$  – это вероятность того, что  $\tilde{\tau}(t)$  превысят заданное (детерминированное) значение предела выносливости материала вала  $\tau$ , хотя бы один раз в интервале времени  $(0, T)$  [3]:

$$\bar{R}(T) = Prob [\tilde{\tau}(t) > \tau, \text{ на } (0, T)] = \int_0^T \int_0^\infty \dot{\tau}(t) p(\tau, \dot{\tau}/t) d\dot{\tau} dt, \quad (1)$$

где  $\dot{\tau}(t)$  – первая производная по времени от функции  $\tilde{\tau}(t)$ ;

$p(\tau, \dot{\tau}/t)$  – совместная двумерная плотность распределения  $\tilde{\tau}(t)$  и  $\dot{\tau}(t)$  в момент времени  $t$  при  $\tau = \tau$ .

Известно [3], что совместная плотность вероятности распределения (при условии  $\tilde{\tau}(t)$  и  $\dot{\tau}(t)$  – стационарные гауссовские процессы) определяется как

$$p(\tau, \dot{\tau}/t) = (2\pi s_{\dot{\tau}})^{-1} \exp \left\{ - \left[ (\tau - \bar{\tau})^2 / (2s^2) + \dot{\tau}^2 / (2s_{\dot{\tau}}^2) \right] \right\}. \quad (2)$$

Тогда на основании (2) несобственный интеграл в (1) имеет вид

$$\int_0^\infty \dot{\tau} p(\tau, \dot{\tau}/t) d\dot{\tau} = s_{\dot{\tau}} (2\pi s)^{-1} \exp \left[ -(\tau - \bar{\tau})^2 / (2s^2) \right]. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1), получаем выражение для  $\bar{R}(T)$ :

$$\bar{R}(T) = T s_{\dot{\tau}} (2\pi s)^{-1} \exp \left[ -(\tau - \bar{\tau})^2 / (2s^2) \right], \quad (4)$$

где  $s_{\dot{\tau}}$  – стандарт первой производной  $\dot{\tau}(t)$ ;

$\bar{\tau}$ ,  $s$  – математическое ожидание и стандарт амплитуды касательных напряжений.

В реальных условиях эксплуатации КВ подвергается  $k$ -м типичным режимам нагружения, т. е. работе на отдельных передачах. В свою очередь амплитуда касательных напряжений на отдельном  $i$ -м режиме (передаче)  $\tilde{\tau}_i$  как известная [4] функция двух случайных статистически независимых аргументов (крутящего момента  $\tilde{M}_i$  и диаметра  $\tilde{d}$ ) может быть представлена в виде

$$\tilde{\tau}_i = f(\tilde{M}_i, \tilde{d}) = 16 \tilde{M}_i / [\pi (1 - c^4) \tilde{d}^{-3}], \quad (5)$$

где  $c$  – коэффициент, учитывающий отношение внутреннего диаметра трубы КВ к внешнему (величина заданная).

Находим математическое ожидание  $\bar{\tau}_i$  и дисперсию  $s_i^2$  на отдельной передаче по формуле (5), к которой применяем метод квадратичной аппроксимации. Тогда общие выражения для  $\bar{\tau}_i$  и  $s_i^2$  запишем как

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_i &= f(\bar{M}_i, \bar{d}) + (1/2) [(df/d\bar{M}_i^2) s_{M_i}^2 + (d^2f/d\bar{d}^2) s_d^2]; \\ s_i^2 &= (df/d\bar{M}_i)^2 s_{M_i}^2 + (df/d\bar{d})^2 s_d^2 + (1/2) [(d^2f/d\bar{M}_i^2)^2 s_{M_i}^4 + \\ &+ (d^2f/d\bar{d}^2)^2 s_d^4 + (d^2f/d\bar{M}_i d\bar{d})^2 s_{M_i}^2 s_d^2], \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\bar{M}_i$ ,  $\bar{d}$  и  $s_{M_i}^2$ ,  $s_d^2$  — математические ожидания и дисперсии соответственно крутящего момента и диаметра.

Преобразовав (5) по (6), получаем выражения для  $\bar{\tau}_i$  и  $s_i^2$  в развернутом виде:

$$\bar{\tau}_i = b \bar{M}_i (\bar{d}^{-3} + 6 \bar{d}^{-5} s_d^2);$$

$$s_i^2 = b^2 [(\bar{d}^{-3} s_{M_i})^2 + (3 \bar{M}_i \bar{d}^{-4} s_d)^2 + (1/2) (12 \bar{M}_i \bar{d}^{-5} s_d^2)^2 + (3 \bar{d}^{-4} s_{M_i} s_d)^2], \quad (7)$$

где  $b = 16/[\pi(1-c^4)]$ .

Зная  $\bar{\tau}_i$  и  $s_i^2$ , находим параметры (математическое ожидание  $\bar{\tau}_*$  и дисперсию  $s_*^2$ ) смешанного закона распределения амплитуд напряжений по совокупности работы на передачах:

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_* &= \sum_{i=1}^k \gamma_i \bar{\tau}_i; \\ s_*^2 &= \sum_{i=1}^k \gamma_i [s_i^2 + (\bar{\tau}_i - \bar{\tau}_*)^2], \end{aligned} \quad (8)$$

где  $k$  — число типичных режимов работы вала (передач);

$\gamma_i$  — относительное время работы на  $i$ -й передаче, причем  $\sum_{i=1}^k \gamma_i = 1$ ;  $\gamma_i \geq 0$ .

Для аппроксимации корреляционной функции напряжений на  $i$ -й передаче принимаем распространенное аналитическое выражение [3]

$$K_{\tau_i}(t) = s_i^2 \exp(-\alpha_i |t|) [\cos \beta_i t + (\alpha_i/\beta_i) \sin \beta_i |t|], \quad (9)$$

где  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  — коэффициенты, характеризующие частотный состав процесса напряжений на  $i$ -й передаче,  $c^{-1}$ .

Коэффициенты  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  в (9) подбираем так, чтобы экспериментальная кривая  $K_*(\tau)$  совпадала с теоретической, построенной по формуле (9). Для заданного вида корреляционной функции (9) находим стандарт первой производной случайного процесса:

$$s_{\tau} = \sqrt{K_{\tau_i}'(0)} = s_i \sqrt{\alpha_i^2 + \beta_i^2}. \quad (10)$$

Выражения (8) и (10) подставляем в (4), в результате получаем математическую модель для вероятности безотказной работы КВ по совокупности работы на передачах:

$$R(T) = 1 - (2\pi)^{-1} T \exp \left\{ - \left( \tau_r - \sum_{i=1}^k \gamma_i \bar{\tau}_i \right)^2 / \left( 2 \left[ s_i^2 + \sum_{i=1}^k \gamma_i (\bar{\tau}_i - \tau_*)^2 \right] \right) \right\}, \quad (11)$$

где  $T$  – время эксплуатации детали (срок службы), с;

$\tau_r$  – математическое ожидание предела выносливости.

Из (4) видно, что в рамках принятых предпосылок вероятность безотказной работы приблизительно пропорциональна сроку службы  $T$ . Величины  $\gamma_i$  в (11) количественно характеризуют условия эксплуатации и вносят различие в интенсивность накопления усталостных повреждений.

Выполним численную реализацию представленного алгоритма, используя данные экспериментальных исследований лесохозяйственной модификации трактора Т-40М в условиях Лисинского учебно-опытного лесхоза [1]. В результате статистической обработки осциллограмм получены следующие значения  $\bar{M}_i$  (Нм) и  $s_{M_i}^2$  (Нм<sup>2</sup>) на передачах ( $i = 1, \dots, 4$ ):  $\bar{M}_1 = 957$ ,  $s_{M_1}^2 = 729$ ;  $\bar{M}_2 = 861$ ,  $s_{M_2}^2 = 576$ ;  $\bar{M}_3 = 698$ ,  $s_{M_3}^2 = 361$ ;  $\bar{M}_4 = 554$ ,  $s_{M_4}^2 = 256$ . Относительное время работы на передачах:  $\gamma_1 = 0,12$ ,  $\gamma_2 = 0,45$ ,  $\gamma_3 = 0,35$ ,  $\gamma_4 = 0,08$ . По этим данным и значениям  $\bar{d} = 50 \cdot 10^{-3}$  м,  $s_d = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м и  $c = 0,8$  с помощью (6) вычислены характеристики амплитуд напряжений  $\bar{\tau}_i$  (МПа) и  $s_i^2$  (МПа<sup>2</sup>) на передачах:  $\bar{\tau}_1 = 68,3$ ,  $s_1^2 = 4,2$ ;  $\bar{\tau}_2 = 60,3$ ,  $s_2^2 = 3,3$ ;  $\bar{\tau}_3 = 48,9$ ,  $s_3^2 = 2,1$ ;  $\bar{\tau}_4 = 38,8$ ,  $s_4^2 = 1,4$ . Затем по (8) вычислены параметры  $\bar{\tau}_* = 55,6$  МПа,  $s_*^2 = 101,1$  (МПа<sup>2</sup>). Методом наименьших квадратов подобраны коэффициенты  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  (с<sup>-1</sup>) в (9):  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\beta_1 = 2,7$ ;  $\alpha_2 = 1,1$ ,  $\beta_2 = 4,5$ ;  $\alpha_3 = 2,3$ ,  $\beta_3 = 7,5$ ;  $\alpha_4 = 3,1$ ,  $\beta_4 = 9,5$ . Предел выносливости материала вала  $\tau_r = 122$  МПа.

На основании этих данных по (11) вычисляем значения вероятности безотказной работы для следующей продолжительности эксплуатации: один год ( $T_1 = 31,5 \cdot 10^6$  с),  $R(T_1) = 0,990578$ ; два года ( $T_2 = 63,0 \cdot 10^6$  с),  $R(T_2) = 0,981155$ ; три года ( $T_3 = 94,5 \cdot 10^6$  с),  $R(T_3) = 0,971733$ ; четыре года ( $T_4 = 126,0 \cdot 10^6$  с),  $R(T_4) = 0,962310$ ; пять лет ( $T_5 = 157,5 \cdot 10^6$  с),  $R(T_5) = 0,952888$ .

Результаты исследований являются основой для прогнозирования сроков текущих ремонтов деталей и узлов трактора и требуемого числа запасных частей как на стадии проектирования, так и на стадиях производства и эксплуатации. Аналогично выполняется расчет показателей надежности и для других деталей трактора при наличии отказов по параметрам усталостной прочности. В тех условиях эксплуатации, где нет экспериментальной информации о нагруженности, моделирование случайных процессов нагрузок выполняется методом компьютерного статистического моделирования [2]. Преимущество вероятностных методов

расчета прочности состоит в том, что они позволяют получить количественную информацию о надежности. Последнее является основой создания конкурентоспособных конструкций ЛХКТ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Ведерников О.М. Снижение нагруженности лесохозяйственного колесного трактора при трелевке леса амортизацией технологического оборудования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Л., 1987. - 21 с. [2]. Кучерявый В.И. Моделирование вероятности неразрушения деталей машин при случайных комбинированных воздействиях // Проблемы машиностроения и надежности машин / РАН. - 1995. - № 3. - С. 133-135. [3]. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. - М.: Наука, 1968. - 464 с. [4]. Федосьев В.И. Сопротивление материалов. - М.: Наука, 1972. - 544 с.

Поступила 14 апреля 1997 г.

УДК 658.512.011.56:621.002.5

*Л.В. ДРУК, В.А. ДОРОШЕНКО, Л.В. ЛЕОНОВ*

Сибирский государственный технологический университет  
Московский государственный университет леса

### **ВЫБОР ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Решена задача выбора допустимых вариантов технологического оборудования с помощью метода дескрипторной классификации.

The problem of selecting allowable options of the technological equipment with the help of descriptor classification method.

При проектировании технологической структуры лесопромышленных предприятий приходится решать задачу по выбору технологического оборудования с заданными значениями множества параметров, т. е. из множества возможных вариантов (МВВ) выбрать допустимые. Задача является многовариантной и многопараметрической. Выбор с помощью метода простого полного перебора в таком случае является громоздким, число операций сравнения и ячеек памяти ЭВМ растет пропорционально числу возможных вариантов и параметров.

В данной работе предлагается метод информационного поиска на основе исходных данных в виде матриц. Поиск допустимых вариантов начинается с описания исходного множества возможных вариантов

технологического оборудования. Для организации МВВ предлагается метод дескрипторной классификации, сущность которого рассмотрена в работах [1, 2].

Имеем исходное множество объектов (вариантов)  $x = \{x_i\}$ . Каждый объект характеризуется совокупностью параметров (дескрипторов)  $x_i = \{P_j\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $N$  – число объектов;  $n$  – число параметров. Исходное множество вариантов описывается с помощью матрицы  $A_n = \|a_{ij}\|$ , строки матрицы – варианты, столбцы – параметры:

$$A_n = \begin{vmatrix} a_{11} \cdot a_{1n} \\ \vdots \\ a_{ij} \cdot \\ \vdots \\ a_{N1} \cdot a_{Nn} \end{vmatrix} \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } X_i \text{ обладает } P_j; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Для выбора допустимых вариантов необходимо задать ограничения на значения параметров в виде равенств и неравенств. Роль поисковых признаков допустимых вариантов выполняют требуемые значения параметров ( $P_{Tj}$ ). Решение задачи сводится к классификации исходного множества на два класса: множество допустимых вариантов,  $X_d = \{X_i^d\}$ ; множество вариантов, не удовлетворяющих хотя бы одному из требований,  $X_n = \{X_i^n\}$ . Для выполнения процедуры классификации введем вспомогательную двоичную функцию

$$g(x_i) = g_i = \begin{cases} 1, & \text{если } P(x_i) = P_{Tj}; \\ 0, & \text{если } P(x_i) \neq P_{Tj}. \end{cases} \quad (2)$$

С учетом множества параметров объектов можно записать

$$g_i = g_{ij_1} \wedge g_{ij_2} \wedge \dots \wedge g_{ij_n}.$$

Тогда условие классификации можно записать

$$x_i = \begin{cases} X_i^d, & \text{если } g_i = 1; \\ X_i^n, & \text{если } g_i = 0. \end{cases}$$

Для выделения допустимых вариантов необходимо вычислить двоичную функцию для каждого варианта:

$$\begin{aligned} g_1 &= g_{1j_1} \wedge g_{1j_2} \wedge \dots \wedge g_{1j_n}; \\ &\vdots \\ g_N &= g_{Nj_1} \wedge g_{Nj_2} \wedge \dots \wedge g_{Nj_n}. \end{aligned} \quad (3)$$

Двоичная функция (2) применительно к матричному способу описания (1) имеет вид

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } P(x_i) = P_{Tj}; \\ 0, & \text{если } P(x_i) \neq P_{Tj}, \end{cases}$$

отсюда матрица для выбора допустимых вариантов

$$A_d = \begin{vmatrix} g_{11} \cdot g_{1n} \\ \vdots \\ g_{ij} \cdot \\ \vdots \\ g_{N1} \cdot g_{Nn} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Технико-экономические показатели поточных линий первичной обработки древесины

Вариант линии	Удельные приведенные затраты $З_{\text{пр}}, \text{р./м}^3$	Удельная себестоимость $C_{\text{р}}, \text{р./м}^3$	Удельные капитальные вложения $K_{\text{в}}, \text{р./м}^3$	Годовые эксплуатационные расходы $Э_{\text{р}}, \text{млн р.}$	Установленная мощность $N_{\text{б}}, \text{кВт}$	Выработка на одного человека $D_{\text{ч}}, \text{тыс.м}^3$	Число рабочих $n_{\text{р}}, \text{чел.}$	Коэффициент загрузки $\phi_{\text{л}}$
Л <sub>1</sub>	1197	855	2848	63,6	348	3500	21	0,96
Л <sub>2</sub>	1369	963	3368	71,6	342	4400	21	0,96
Л <sub>3</sub>	1106	714	2631	75,6	420	4900	24	0,92
Л <sub>4</sub>	1121	790	2758	83,6	414	5000	24	0,88
Л <sub>5</sub>	847	658	2015	90,0	564	6900	30	0,86
Л <sub>6</sub>	921	605	2284	102,0	558	5200	30	0,96
Л <sub>7</sub>	921	658	2191	69,6	420	6900	21	0,96
Л <sub>8</sub>	1079	447	2569	81,6	414	10400	21	0,87
Л <sub>9</sub>	715	447	1490	84,0	564	6200	27	0,91
Л <sub>10</sub>	715	511	1703	96,0	558	6200	27	0,91

Правая часть системы уравнений (3) представляет собой логическое произведение столбцов матрицы  $A_{д.р}$ , а левая часть может быть записана как результирующий столбец

$$A_{д.р} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{1j_1} & g_{1j_2} & \dots & g_{1j_n} \\ g_{2j_1} & g_{2j_2} & \dots & g_{2j_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ g_{Nj_1} & g_{Nj_2} & \dots & g_{Nj_n} \end{pmatrix} \Lambda \dots \Lambda$$

В результате поиск допустимых вариантов сводится к логическому умножению столбцов матрицы (4). Элементы результирующего столбца со значением, равным единице, соответствуют допустимым вариантам.

На основе изложенного метода выполнен поиск допустимых вариантов поточных линий для первичной обработки древесины (очистка деревьев от сучьев, раскряжевка хлыстов, зачистка сучьев и окорка, сортировка бревен, измельчение сучьев). В состав исходного множества входит 10 вариантов линий. В таблице приведены основные их параметры, значения которых рассчитаны по формулам [3]. При поиске допустимых вариантов линий учитывали следующие требования:  $3П_y \leq 1300$  р./м<sup>3</sup>;  $C_y = 900$  р./м<sup>3</sup>;  $K_y = 3000$  р./м<sup>3</sup>;  $\mathcal{E}P_r = 90$  млн р.;  $N_0 \geq 400$  кВт;  $\Pi_2 = 4500$  тыс. м<sup>3</sup>/год;  $n_c = 30$  чел.;  $\phi_n > 0,86$ . Анализ результирующего столбца

	$3П_y$	$C_y$	$K_y$	$\mathcal{E}P_r$	$N_0$	$\Pi_1$	$n_c$	$\phi_n$	$X_d$
$L_1$	1	1	1	1	0	0	1	1	0
$L_2$	0	0	0	1	0	0	1	1	0
$L_3$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$L_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$L_5$	1	1	1	1	1	1	0	0	0
$L_6$	1	1	1	0	1	1	0	1	0
$L_7$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$L_8$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$L_9$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$L_{10}$	1	1	1	0	1	1	1	1	0

показал, что допустимыми являются варианты поточных линий, входящих в множество

$$X_d = \{L_3, L_4, L_7, L_8, L_9\}.$$

Предложенный метод позволяет осуществлять ускоренный поиск технологического оборудования по любому заданному набору требований; вносить изменения в исходное множество вариантов, не перестраивая пол-



ностью структуру исходных данных; легко автоматизировать процесс формирования матриц и поиска допустимых вариантов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Автоматизированные информационные системы / Н.А. Криницкий, Г.А. Миронов, Г.Д. Фролов. - М.: Наука, 1982. - 384 с. [2]. Дорошенко В.А., Леонов Л.В., Друк Л.В. Метод и алгоритмы автоматизированного выбора оборудования при разработке технологических процессов // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. «Современные проблемы автоматизации и внедрения вычислительной техники в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности». - М., 1990. - С. 72-75. [3]. Залегаллер Б.Г. Технология работ на лесных складах. - М.: Лесн. пром-сть, 1980. - 232 с.

Поступила 6 мая 1996 г.

УДК 630\*377.44

*А.В. ЖУКОВ, М.К. АСМОЛОВСКИЙ, Д.В. КЛОКОВ*

Белорусский государственный технологический университет

Жуков Анатолий Васильевич родился в 1937 г., окончил в 1960 г. Белорусский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского государственного технологического университета, заведующий НИЛ «Лесопромышленные процессы и специальные транспортные системы». Имеет более 300 печатных работ в области лесопромышленных процессов и специальных транспортных систем.



Асмоловский Михаил Корнеевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, ассистент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок, ст. научный сотрудник НИЛ «Лесопромышленные процессы и специальные транспортные системы» Белорусского государственного технологического университета. Имеет более 50 печатных работ в области лесопромышленных процессов.



Клоков Дмитрий Викторович родился в 1969 г., окончил в 1993 г. Белорусский государственный технологический университет, мл. научный сотрудник НИЛ «Лесопромышленные процессы и специальные транспортные системы» БГТУ. Имеет 6 печатных работ.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПО НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСМИССИИ СОРТИМЕНТОВОЗА НА БАЗЕ ТРАКТОРА МТЗ-82В

Приведены данные по изучению динамической нагрузки МЛПТ-354, которые позволили внести корректировку в конструкцию трансмиссии машины.

The data on dynamic loading of MLPT-354 are given that allowed updating of the truck transmission design.

На Минском тракторном заводе совместно с концерном Беллесбумпром, Минлесхозом, Рослеспромом и БГТУ подготовлена в настоящее время к выпуску опытная партия лесных погрузочно-транспортных машин МЛПТ-354 на базе трактора МТЗ-82В. В процессе производственных испытаний машин было установлено, что при определенных условиях эксплуатации возможно появление повышенных нагрузок в их трансмиссии.

С целью разработать рекомендации по улучшению конструкции семейства лесных машин на базе тракторов «Беларусь» были проведены специальные исследования.

Исходя из назначения машины выбирали режимы испытаний, которые включали трогание с места, установившееся движение, переезд неровностей. Измеряемые параметры: крутящие моменты на передней и задней полуосях машины; обороты переднего и заднего колес; вертикальные ускорения на сиденье водителя и в центре тяжести МЛПТ; продольные ускорения центра тяжести; число оборотов двигателя; пройденный путь; время.

Для записи параметров использовали следующую аппаратуру: источник постоянного тока, четырехканальный тензоусилитель ТА-5, светолучевой осциллограф К-12-22, комплект преобразователей. Крутящие моменты, развиваемые передними и задними колесами машины, измеряли специально изготовленными тензометрическими ступицами, которые крепили между дисками колес и ступицами мостов машины. На цилиндрической части ступиц размещали тензорезисторы. Для компенсации изгибающих моментов тензопреобразователи были собраны по мостовой схеме. Выходной сигнал с этих преобразователей снимали через концевой ртутный токосъемник ТРАК-4М, который, кроме этого, позволял также регистрировать частоту вращения колес машины.

Потенциометрическую схему измерений использовали при изучении остальных исследуемых параметров. Основу ее составляли потенциометры с подвижным контактом МП-95.

Длину опытных участков дорог (200 м для пасечного волока и 400 м для магистрального) выбирали с учетом продолжительности движения с максимальной для данных условий скоростью [1]. При этом учитывали статистические характеристики воздействия микропрофилей волоков, которые характерны при эксплуатации машин рассматриваемого типа. С этой целью

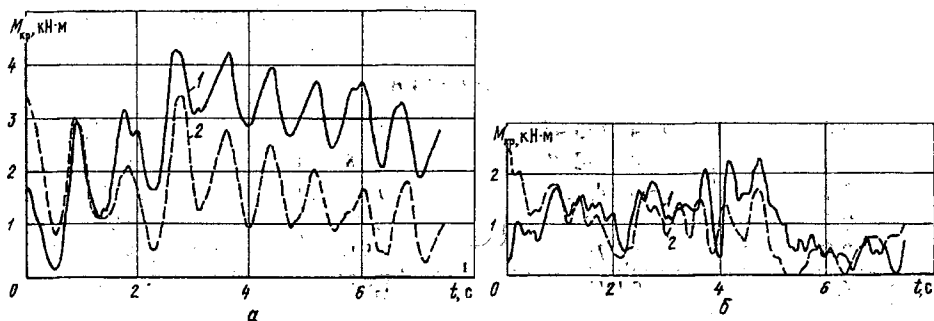


Рис. 1. График изменения  $M_{кр}$  на полуосях груженой (а) и снаряженной (б) машины при движении на первой передаче с включенным приводом заднего моста: 1 – передняя полуось, 2 – задняя полуось

производили запись и статистическую обработку на ПЭВМ IBM PC/AT386 характеристик реальных пасечных и магистральных волоков, а также их сравнение с типичными волоками [2, 3, 4].

В результате проведенных испытаний получены осциллограммы изменений крутящих моментов на передней и задней полуосях машины в различных эксплуатационных условиях и режимах движения.

Обработка осциллограммы с переходными процессами (трогание с места, переезд неровностей и др.) заключалась в общем анализе характера исследуемых процессов и замере их численных характеристик с учетом масштабных коэффициентов.

Проведенный анализ показал, что при движении с различными скоростями груженого и снаряженного сортиментовозов крутящие моменты  $M_{кр}$  на обоих полуосях имеют схожий характер изменения (рис. 1). Причем на передней полуоси при установившемся движении максимальные значения  $M_{кр}$  (4,0 ... 5,2 кН·м) превышают развиваемые на задней полуоси моменты (2,5 ... 4,9 кН·м). Средние значения крутящего момента на передней полуоси составляют 2,70 кН·м, на задней – 1,58 кН·м.

При отключении привода заднего моста на всех режимах нагруженность передней полуоси (рис. 2) значительно возрастает до 3,4 кН·м при

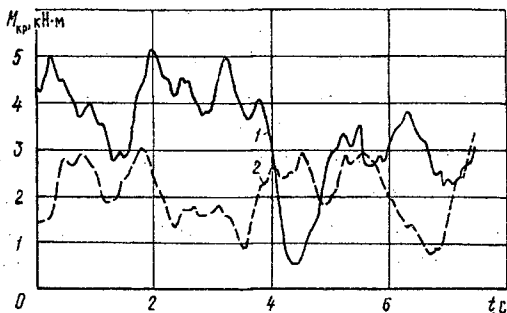


Рис. 2. График изменения  $M_{кр}$  на передней полуоси груженой (1) и снаряженной (2) машины при движении на первой передаче с выключенным приводом заднего моста

Скорость движения, м/с	Крутящие моменты, кН·м		
	$M_{кр\ max}$	$\sigma_M$	$m_M$
Груженная машина			
0,6	4,27/3,43	0,95/0,76	2,67/1,58
1,5	4,27/2,70	0,78/0,58	2,39/1,30
2,1	3,74/4,90	0,87/1,36	2,13/1,38
0,6	5,21/-	1,07/-	3,36/-
0,9	5,07/-	0,81/-	2,80/-
2,1	6,67/-	1,41/-	3,40/-
Снаряженная машина			
0,8	2,40/2,57	0,56/0,55	1,05/0,92
2,6	3,74/2,70	0,85/0,81	1,61/0,85
2,8	3,87/2,70	1,16/0,54	1,43/1,41
0,8	3,34/-	0,62/-	2,10/-
1,0	3,74/-	0,72/-	2,01/-
2,5	6,14/-	1,49/-	2,03/-

Примечание. В числителе приведены – данные для передней полуоси, в знаменателе – для задней полуоси машины.

диапазоне экстремумов 0,9 ... 6,7 кН·м. Разница максимальных значений  $M_{кр}$  переднего моста для груженной и снаряженной машин составляет 2,0 кН·м.

Характер изменения  $M_{кр}$  на обоих полуосях при вариациях как скорости движения, так и объема перевозимого груза не стабилен. Увеличение диапазона частот распределения  $M_{кр}$  наблюдается при повышении скорости движения, и наоборот, снижение частоты  $M_{кр}$  – при увеличении массы перевозимого груза.

Полученные данные показывают, что в специфических условиях эксплуатации включение привода заднего моста значительно снижает нагруженность всей трансмиссии машины.

Общие результаты после обработки осциллограмм приведены в таблице.

В момент наезда колес технологического модуля на пороговую неровность ( $H_n = 0,6$  м,  $L_n = 0,38$  м) со скоростью 0,6 м/с максимальное значение  $M_{кр}$  на задней полуоси достигает 20 кН·м, в то же время на передней полуоси  $M_{кр}$  не превышает 10 кН·м (рис. 3).

В момент съезда с неровности на передней полуоси за счет толкающей силы возникает момент  $M_{кр} = 10$  кН·м, на задней полуоси – 15 кН·м.

Таким образом, размах изменения моментов по амплитуде относительно нулевой линии при переезде груженым сортиментовозом неровностей в виде пней на передней и задней полуосях соответственно составляет  $\pm 10$  и  $\pm 20$  кН·м.

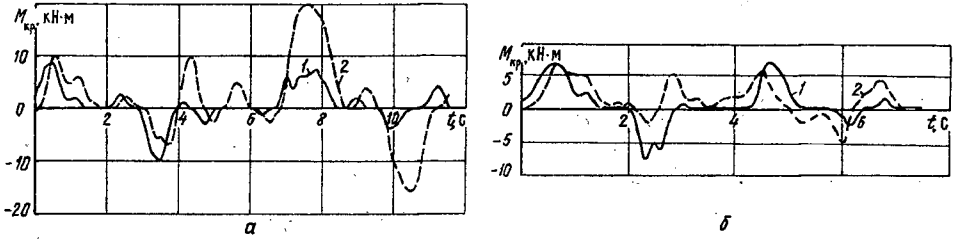


Рис. 3. График изменения  $M_{кр}$  на полуосях груженой (а) и снаряженной (б) машины при пееезде пороговой неровности на первой передаче с включенным приводом заднего моста: 1 – передняя полуось, 2 – задняя полуось

Спектральный анализ процессов движения МЛПТ по магистральному волоку также подтверждает вывод о том, что с увеличением скорости частота изменения крутящих моментов возрастает. Из рис. 4, а, б видно, что кривые 2 нормированных спектральных плотностей крутящих моментов  $S(M_{кр})$  на передней и задней полуосях груженой машины с увеличением скорости от 0,6 до 1,5 м/с смещаются в сторону более высоких частот и имеют несколько характерных экстремумов. Аналогично изменение кривых 2 на рис. 4, в, г, где изображены нормированные спектральные плотности  $M_{кр}$  передней и задней полуосей порожнего сортиментовоза. Причем, как в первом случае (см. рис. 4, б), так и во втором (см. рис. 4, г) энергетический спектр  $M_{кр}$  на задней полуоси имеет один явный экстремум в низкочастотном диапазоне (0,5 ... 2,0 Гц) для малых скоростей движения. При увеличении скорости до 1,5 м/с кривые имеют несколько экстремумов в частотном диапазоне от 6,0 до 10,0 Гц.

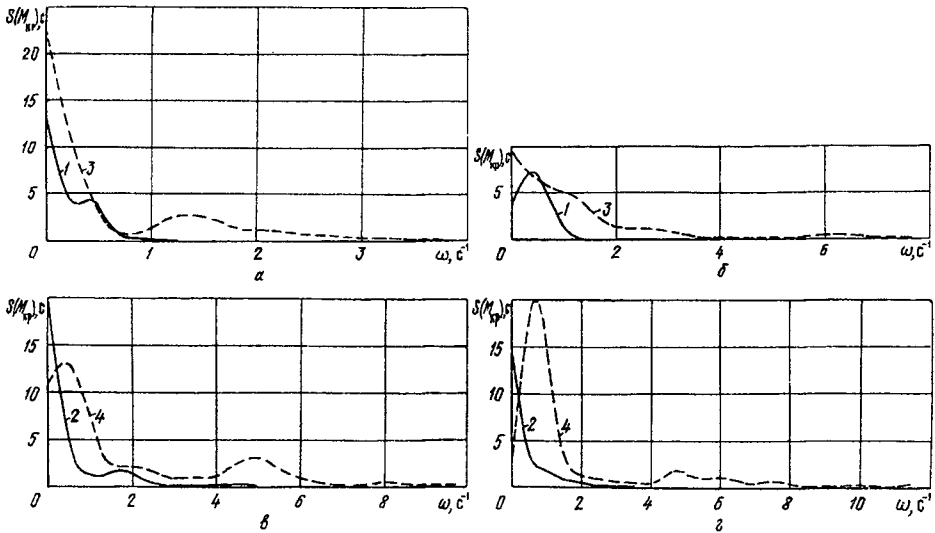


Рис. 4. Нормированные спектральные плотности  $S(M_{кр})$  на полуосях машины с грузом 5 т (а, б) и без груза (в, г) при движении по магистральному волоку с различной скоростью: 1 –  $v = 0,6$  м/с; 2 – 0,8; 3 – 1,5; 4 – 2,6 м/с: а, в – передняя полуось; б, г – задняя полуось

На передней полуоси характер изменения спектральных плотностей  $M_{кр}$  несколько иной. При меньших скоростях движения кривые 1 (см. рис. 4, а, в) имеют два явно выраженных экстремума в диапазоне 1,0 ... 3,0 Гц. При скоростях движения 1,5 и 2,6 м/с (кривые 2) на спектрах  $M_{кр}$  для передней полуоси выявлены экстремумы в меньшем, чем для задней полуоси диапазоне частот (3,0 ... 8,0 Гц).

Проведенный спектральный анализ показал, что изменение нагрузок на трансмиссию и ходовую часть МЛПТ-354 протекает в основном в низкочастотном диапазоне (до 10,0 Гц) с наличием экстремумов нагрузок при частотах 0,5; 1,5; 5,0; 7,0 и 10,0 Гц.

Данные о распределении крутящих моментов по мостам, соответствии максимальных и среднестатистических нагрузок их частотному составу и др., полученные впервые для лесных машин на базе трактора «Беларусь», могут быть использованы при создании других аналогичных машин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Динамика длиннобазных автопоездов/ М.С. Высоцкий, А.В. Жуков, Г.В. Мартыненко и др. - Минск: Наука и техника, 1987. - 199 с. [2]. Жуков А. В. Теоретические основы выбора технических параметров и улучшения эксплуатационных свойств специальных лесных машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - Л., 1978. - 35 с. [3]. Обобщенные статистические характеристики микропрофилей лесных дорог/ Н.И. Библюк, О.А. Стыранивский, Б.Т. Перетятко, А.А. Бойко // Лесн. журн. - 1986. - № 4. - С.44-48. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Оценка лесовозных дорог по возмущающему воздействию/ А.Р. Гороновский, Л.Ф. Доронин, М.К. Асмоловский, М.З. Дубкова // Механизация лесоразработок и транспорт леса. - Минск, 1985. - С. 60-63.

Поступила 25 апреля 1997 г.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.815-41

*Н.С. ПРОКОФЬЕВ*

Московский государственный университет леса

Прокофьев Николай Сергеевич родился в 1939 г., окончил в 1963 г. Московский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств. Имеет около 50 печатных трудов в области неразрушающего контроля и экструзии древесных материалов.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРУЗИИ НАПОЛНЕННЫХ РЕАКТОПЛАСТОВ

Приведена математическая модель экструзии наполненных реактопластов, сформулированная в виде системы дифференциальных и интегральных уравнений в соответствии с информационным принципом декомпозиции процесса на элементарные стадии. Модель позволяет, минуя длительные и дорогостоящие натурные испытания, получать необходимую информацию при создании новых технологий и оборудования для экструзионной переработки наполненных реактопластов в изделия с заданными свойствами.

A mathematical model of extrusion of filled thermosetting plastics is given. It is presented as a system of differential and integral equations based on the informational principle of process decomposition into elementary stages. The model allows through avoiding long-term and expensive field testing obtaining necessary information when creating new technologies and equipment for extrusive processing of filled thermosetting plastics into products with specified properties.

Проблема экструзии в шнековых машинах в основном решена для термопластичных материалов, для реактопластов она изучена недостаточно. Из известных работ в этой области наибольший интерес представляют тео-

ретические исследования неизотермического течения однородных реокинетических жидкостей в трубах и винтовых каналах [1–4]. Однако предложенные в этих работах математические модели не пригодны для наполненных реактопластов, так как последние являются гетерогенными средами, свойства которых зависят не только от температуры и конверсии, но и от концентрации дисперсной фазы (наполнителя). Вместе с тем совершенно не изучены условия связи между свойствами таких сред и макрокинетическими параметрами экструзии.

Отсутствие знаний о закономерностях шнековой экструзии наполненных реактопластов затрудняет, а часто делает невозможным проектирование новых эффективных технологий и высокопроизводительного оборудования для переработки материалов с отверждающимися полимерными матрицами. Решение этой научной проблемы рассматривается в настоящей статье на примере растворов реактопластов (термореактивных полимерных смол), наполненных дисперсными частицами.

Теоретические положения, на основе которых построен комплекс математических моделей экструзионной переработки наполненных растворов реактопластов, включают:

- декомпозицию технологического процесса на элементарные стадии;
- условия связи между элементарными стадиями;
- условия связи между свойствами компонентов композиции и макрокинетическими параметрами процессов переработки;
- кинетические закономерности отверждения растворов термореактивных полимеров;
- ограничения по технологическим параметрам формования и тепловой обработки.

При моделировании экструдер рассматривается как закрытая подсистема, которая обменивается с окружающей средой только энергией в форме теплоты. Удаление растворителя из реактопласта осуществляется за его пределами в конвективной сушилке. Совокупность этих аппаратов (подсистем) образует единую систему, декомпозиция которой включает следующие элементарные стадии: транспортирование ( $j = 1$ ), сжатие ( $j = 2$ ), дозирование ( $j = 3$ ), формование ( $j = 4$ ), сушка ( $j = 5$ ) и термозакалка ( $j = 6$ ). Последние две стадии в настоящей работе не рассматриваются.

Для установившегося режима экструзии условия связи ее элементарных стадий имеют следующий вид:

$$Q_j = Q_0; \quad (1)$$

$$Q_{ij} = Q_j \quad b_i; \quad (2)$$

$$\sum b_i = 1; \quad (3)$$

$$\sum Q_{ij} = 0; \quad (4)$$

$$\sum \Delta P_j = 0; \quad (5)$$

$$\Delta P = \Delta P_r. \quad (6)$$

В зависимости от величины внешней нагрузки и рецептуры наполненные реактопласты находятся в различных состояниях. Если объемная доля смолы меньше пористости скелета, состоящего из частиц наполнителя, смесь способна деформироваться под действием сжимающих усилий и по своим свойствам является сыпучим материалом. Если смола полностью за-



полняет полости между частицами наполнителя, смесь несжимаема, и ее пористость равна нулю. В таком состоянии смесь рассматривают как высоконаполненную суспензию с реологическими свойствами бингамовской жидкости. Переход наполненного реактопласта из сыпучего состояния в несжимаемую жидкость происходит на границе между зонами сжатия и дозирования. Условие связи этих стадий имеет вид

$$P_j = 0 \quad \text{при } j = 3. \quad (7)$$

Условия связи между макрокинетическими параметрами экструзии (поля температуры, давления, конверсии) и свойствами экструдата определяются зависимостью между составом, свойствами компонентов и динамикой их изменения в процессе переработки. Данное положение является основной концепцией прогнозирования свойств композитов, которая зависит от начальных свойств компонентов, рецептуры композиции и условий ее переработки в изделие.

Композицию рассматривают как трехфазную систему, состоящую из частиц наполнителя, раствора полимера и газа в порах. Объемные доли фаз изменяются в соответствии с распределением по длине канала температуры и давления. Температурные изменения теплофизических и механических свойств компонентов наполнителя являются обратимыми. Для полимерной матрицы аналогичные свойства изменяются необратимо при конверсии.

При описании изменения пористости реактопласта под воздействием давления и температуры предлагается использовать систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= 1 - (1 - P_0)(p/p_0)^n; \quad P_0 = 1 - \rho_0/\rho_T; \\ n_1 &= n_{01} \exp[\alpha_T(T - T_0) + \alpha_u(u - u_0) + \alpha_d(1 - d/d_0)]. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Изменение теплофизических свойств реактопластов в процессе их переработки определяется глубиной конверсии. Предлагается рассматривать раствор термореактивной смолы как трехкомпонентную среду, состоящую из золь- и гель-фракций и растворителя. Теплофизические свойства компонентов зависят только от температуры, а их массовые доли – только от конверсии.

В исходном состоянии смола является раствором золь-фракции. При конверсии содержание золь-фракции непрерывно уменьшается в результате образования нерастворимой гель-фракции. Массовая доля последней на произвольной стадии переработки равна  $k_s \eta$ . При экструзии теплофизические свойства наполненного реактопласта связаны с параметрами переработки через пористость, плотность компонентов и температурные зависимости:  $c_s(T)$ ,  $c_r(T)$ ,  $c_g(T)$ ,  $c_p(T)$ ,  $\lambda_p(T)$ ,  $\lambda_m(T)$  и  $\lambda_m^*(T)$ . Для плотности и теплоемкости эта связь имеет вид

$$\rho_j = \begin{cases} (1 - P_{1j})\rho_p + a_{mj}\rho_{mj} + (P_{1j} - a_{mj})\rho_{г.п} & \text{при } a_{mj} < P_{1j}; \\ (1 - a_{mj})\rho_p + a_{mj}\rho_{mj} & \text{при } a_{mj} \geq P_{1j}; \end{cases} \quad (9)$$

$$c_j = c_{mj} b_m + (1 - b_m) c_{pj}. \quad (10)$$

Параметры  $a_{mj}$ ,  $\rho_{mj}$ ,  $c_{mj}$ , входящие в выражения (9) и (10), находят по уравнениям

$$a_{mj} = \begin{cases} \frac{b_m \rho_p (1 - \Pi_{1j})}{\rho_{mj} (1 - b_m)} & \text{при } a_{mj} < \Pi_{1j}; \\ \frac{b_m \rho_p}{b_m \rho_p + (1 - b_m) \rho_{mj}} & \text{при } a_{mj} \geq \Pi_{1j}; \end{cases} \quad (11)$$

$$\rho_{mj} = \frac{1}{\frac{\eta k_s}{\rho_r} + \frac{(1 - \eta) k_s}{\rho_3} + \frac{1 - k_s}{\rho_r}}; \quad (12)$$

$$c_{mj} = c_r \eta k_s + c_3 (1 - \eta) k_s + (1 - k_s) c_r. \quad (13)$$

Теплопроводность наполненного реактопласта определяется согласно теории обобщенной проводимости:

$$\lambda_x = \lambda_j^* \left[ \gamma^2 + \nu (1 - \gamma)^2 + \frac{2\nu\gamma(1 - \gamma)}{\nu\gamma + 1 - \gamma} \right], \quad (14)$$

где  $\lambda_j^* = \lambda_{pj} \left[ 1 - \frac{a_{mj}}{1/(1 - \nu_1) - (1 - a_{mj})/3} \right];$

$$\nu_1 = \lambda_{mj} / \lambda_{pj};$$

$$\gamma = 0,5 + A \cos(\phi/3), \quad 1,5\pi \leq \phi \leq 2,0\pi;$$

$$A = -1, \quad \phi = 2\pi - \arccos(1 - 2\Pi) \quad \text{при } 0 < \Pi \leq 0,5;$$

$$A = 1, \quad \phi = 2\pi - \arccos(2\Pi - 1) \quad \text{при } 0,5 < \Pi \leq 1,0;$$

$$\Pi = \Pi_1 - a_m;$$

$$\nu = \lambda_{r,n} / \lambda^*.$$

Изменение механических свойств наполненных реактопластов в процессе переработки обусловлено аналогичными причинами. При идеальном адгезионном контакте, отсутствии остаточных напряжений и допущении о линейности диаграммы напряжение–деформация для каждого компонента прочность макроизотропного композита определяется когезионной прочностью полимерной матрицы  $\sigma_{pm}$  и ее жесткостью. Частицы наполнителя рассматривают как дефекты структуры полимера, снижающие его прочность в результате концентрации напряжений на границе раздела:

$$\sigma_p = \sigma_{pm} / K_1; \quad (15)$$

$$K_1 = \frac{1 - a_p (1 - E_m / E_p)}{1 - (4a_p / \pi)^{1/2} (1 - E_m / E_p)}. \quad (16)$$

Эффективный модуль упругости реактопласта связан с его пористостью уравнением

$$E = E_m(1 - \Pi^{2/3}) \left[ 1 + \frac{a_p}{[\kappa / (\kappa + n^{2/3} - 1)] - a_p^{1/3}} \right], \quad (17)$$

где  $\kappa = E_p / E_m$ .

Состояние реактопласта при его отверждении в растворе предлагается оценивать по количеству связанного растворителя.

Образование химических связей между макромолекулами реактопласта в результате конверсии приводит к уменьшению числа активных центров, в сольватных оболочках которых содержится связанная влага. Максимальное количество связанной влаги присутствует в золь-фракции полимера  $n_0$ , минимальное – в гель-фракции  $n_r$ . Параметры  $n_0$  и  $n_r$  – физические константы для данной марки термореактивной смолы. Единственной переменной является количество связанной влаги в отвержденной смоле  $n$ . Ее текущее значение для всех точек пространства, заключенного в объеме реактопласта, определяет конверсионное поле  $\eta(t, x, y, z)$ .

При определении скорости конверсий предложена следующая система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\eta}{dt} &= [\bar{\eta}_\infty(T) - \eta]^m k_{02}(T) n_0^{m-1} k_w^{1-m}; \\ \bar{\eta}_\infty(T) &= \bar{\eta}_\infty^* \exp[L(T - T_0)]. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Винтовой канал экструдера моделируется двумя пластинами: нижняя – неподвижная, верхняя – перемещающаяся. Между ними находится экструдат. В зоне сжатия неподвижная пластина располагается под углом, который равен углу конуса сердечника червяка. В зоне дозирования пластины параллельны (рис. 1).

При построении математической модели экструзии принимали следующие допущения: движение реактопласта установившееся; червяк теплоизолирован; в зоне сжатия материал является сыпучим телом, в зоне дозирования – несжимаемой бингамовской жидкостью; переноса теплоты и массы в продольном направлении (ось  $x$ ) нет; боковые стенки канала не оказывают влияния на движение среды; реактопласт прилипает к корпусу экструдера и может скользить по поверхности червяка как в ту, так и в другую сторону.

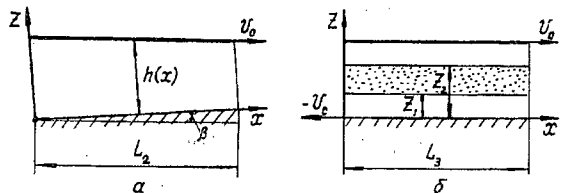


Рис. 1. Плоская модель винтового канала экструдера: а – зона сжатия; б – зона дозирования

С учетом принятых допущений математическая модель экструзии наполненных растворов реактопластов имеет следующий вид.

1. Зоны питания ( $j = 1, \operatorname{tg}\beta = 0$ ) и сжатия ( $j = 2, \operatorname{tg}\beta > 0$ ):  
уравнение расхода

$$Q_m = \alpha_p \rho N \frac{\operatorname{tg} \Phi \operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg} \Phi + \operatorname{tg} \psi}; \quad (19)$$

уравнение напряжений

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} = 0; \quad |\sigma_{zx}| = f \sigma_z; \quad \sigma_z = \xi \sigma_x; \quad (20)$$

уравнение теплопроводности

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right); \quad (21)$$

краевые условия

$$\left. \begin{aligned} \text{при } x = 0 \quad \sigma_x = \sigma_{x_0} = p_0; \\ T(z, 0) = T_{II} = \text{const}; \\ \frac{\partial T(0, t)}{\partial z} = 0; \\ \pi N D f_1 p \frac{\sin \Phi}{\sin(\Phi + \psi)} - \lambda_1 \frac{\partial T(h, t)}{\partial z} + \lambda_2 \frac{\partial T_1(h_1, t)}{\partial z} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

2. Зона дозирования ( $j = 3, \operatorname{tg}\beta = 0$ ):

уравнение движения

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z}; \quad \frac{\partial p}{\partial z} = 0; \quad (23)$$

уравнение неразрывности

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0;$$

реологическое уравнение

$$\sigma_{zx} = \mu_3 \frac{dV_x}{dz}; \quad \mu_3 = \mu_p(T, \eta, a_p) + \tau_0(T, \eta, a_p) \left( \frac{dV_x}{dz} \right)^{1/2}; \quad (24)$$

условия смены режимов течения:

без ядра

$$\frac{dp}{dx} < \frac{2\mu_p V_0}{h^2}, \quad \tau_0 < \pm \sigma_{\text{тр}}; \quad (25)$$

с ядром внутри потока

$$\frac{dp}{dx} > \frac{2\tau_0 h + \mu_p V_0 + D^{1/2}}{h^2}; \quad \frac{dp}{dx} > \frac{\tau_0 \pm \sigma_{\text{тр}}}{h}; \quad (26)$$

ядро примыкает к поверхности червяка

$$\left. \begin{aligned} \frac{2\tau_0 h + \mu_p V_0 - D^{1/2}}{h^2} < \frac{dp}{dx} < \frac{2\tau_0 h + \mu_p V_0 + D^{1/2}}{h^2}; \\ D = \mu_p^2 V_0^2 + 4\mu_p V_0 \tau_0 h; \quad -\tau_0 \pm \sigma_{\text{тп}} > 0; \\ \frac{dp}{dx} < (\tau_0 \pm \sigma_{\text{тп}}) / h; \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

границы ядра

$$z_2 = h - [2\mu_p V_0 / (dp/dx)]^{1/2}; \quad z_1 = z_2 - 2\tau_0 / (dp/dx). \quad (28)$$

условия на границах ядра

$$\sigma_{zx} = -\tau_0 \text{ при } z = z_2; \quad \sigma_{zx} = \tau_0 \text{ при } z = z_1; \quad (29)$$

уравнение энергии

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \sigma_{zx} \frac{\partial V_x}{\partial z} + b_m \rho \Delta H \overline{W}_r \overline{M}_0; \quad (30)$$

уравнение конвективного массообмена

$$V_x \frac{\partial \eta}{\partial x} + \overline{W}_r = 0; \quad (31)$$

краевые условия

$$\left. \begin{aligned} V_x(0) = 0 \text{ при } \sigma_{zx} < p f_{02} \exp[-\beta_2(T - T_0)]; \\ V_x(0) = V_c \text{ при } \sigma_{zx} = p f_{02} \exp[-\beta_2(T - T_0)]; \\ V_x(h) = V_0; \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

$$T(z, 0) = T_1^* = \text{const}; \quad \frac{\partial T(0, t)}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial T(h, t)}{\partial z} = -\frac{\alpha}{\lambda_1} (T - T_{\text{ст}}) \text{ при } t = 0, x = 0 \text{ и } \eta = 0. \quad (33)$$

Технологические режимы экструзии наполненных реактопластов имеют ограничения по температуре, давлению и продолжительности пребывания материала в формующем канале; внутри канала не должно быть «горячих точек», в которых возможна термодеструкция полимера; давление не должно превышать механическую прочность стенок корпуса экструдера; внутри канала недопустим переход реактопласта в гелеобразное состояние.

Все ограничения имеют вид неравенств

$$T < T_d; \quad p < p^*; \quad t < t_{\text{гел}}^*. \quad (34)$$

Система уравнений (22)–(34) достаточно строго описывает движение наполненного реактопласта в канале экструдера при наличии тепло- и массообмена и химической реакции отверждения. Поля напряжений, скоростей, температуры и конверсии являются взаимосвязанными. В зоне дозирования эта связь реализуется при помощи функций  $\tau_0(T, \eta, a_p)$  и  $\mu_p(T, \eta, a_p)$ .

Для описания реокинетических свойств наполненных реактопластов предлагается использовать совокупность определяющих соотношений вида

$$\left. \begin{aligned} \mu_p &= \mu_p^* F_1(T) F_2(\eta) F_3(a_p); \\ \tau_0 &= \tau_0^* \bar{F}_1(T) \bar{F}_2(\eta) \bar{F}_3(a_p). \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

Вид функций, описывающих влияние температуры, конверсии и наполнителя на пластическую вязкость  $\mu_p$  и предел текучести  $\tau_0$  реактопласта, определяются экспериментально. Для этого выбирают стандартные условия опыта ( $T_0 = 293$  К,  $\eta_0 = 0$ ,  $a_{p0} = 0,7$ ), при которых все функции равны единице. Исследования проводят при последовательном варьировании параметров. Каждая функция исследуется независимо в результате фиксирования остальных на уровне единицы.

Замыкающие уравнения модели по механическим свойствам компонентов реактопласта предложено представлять в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} E_m &= E_{m_0} f_1'(u) f_2'(\eta) f_3'(T); \\ G_m &= G_{m_0} f_1''(u) f_2''(\eta) f_3''(T); \\ \sigma_{pm} &= \sigma_{pm_0} f_1^*(u) f_2^*(T) f_3^*(\eta); \\ E_p &= E_{p_0} F_1'(u) F_2'(T); \\ G_p &= G_{p_0} F_1''(u) F_2''(T). \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

Стандартные условия эксперимента по температуре и конверсии для функций (35) и (36) совпадают. Значение влагосодержания  $u_0$ , при котором соответствующие функции в (36) вырождаются в единицу, принимается равным пределу гигроскопичности материала. Кроме (35) и (36), в математическую модель экструзии входят другие определяемые экспериментально зависимости и параметры:  $\Delta H$ ,  $k_{02}$ ,  $E$ ,  $n_{01}$ ,  $n_0$ ,  $n_r$ ,  $k_w$ ,  $\rho_0$ ,  $\rho_p$ ,  $\rho_r$ ,  $\rho_3$ ,  $\rho_r$ ,  $\xi$ ,  $\alpha_T$ ,  $\alpha_w$ ,  $\alpha_d$ ,  $n_\infty(T)$ ,  $f(T)$ ,  $c_3(T)$ ,  $c_r(T)$ ,  $c_f(T)$ ,  $c_p(T)$ ,  $\lambda_p(T)$ ,  $\lambda_m(T)$ , а также параметры внешнего и внутреннего тепло- и массообмена.

Тестовые испытания проводили на композициях из древесных опилок, фосфогипса и водного раствора карбамидного олигомера. Сравнивали расчетные и экспериментальные значения температуры в различных сечениях канала экструдера, давления, теплофизических и механических свойств композита. Проверка показала, что экспериментальные данные удовлетворительно согласуются с расчетным.

В результате испытаний получены зависимости  $v(z)$ ,  $T(x)$ ,  $p(x)$  и  $\eta(x)$ , а также напорно-расходные характеристики для различных  $N$  и условий теплообмена с окружающей средой (рис. 2).

Вид поля скоростей при прочих равных условиях зависит от градиента давления. При малых расходах в потоке композиции возникает ядро, которое примыкает к поверхности шнека. При  $\sigma_{\tau} < \sigma_{zx}$  оно начинает скользить по его поверхности. Максимальная скорость скольжения наблюдается при работе экструдера в режиме полностью открытого выхода.

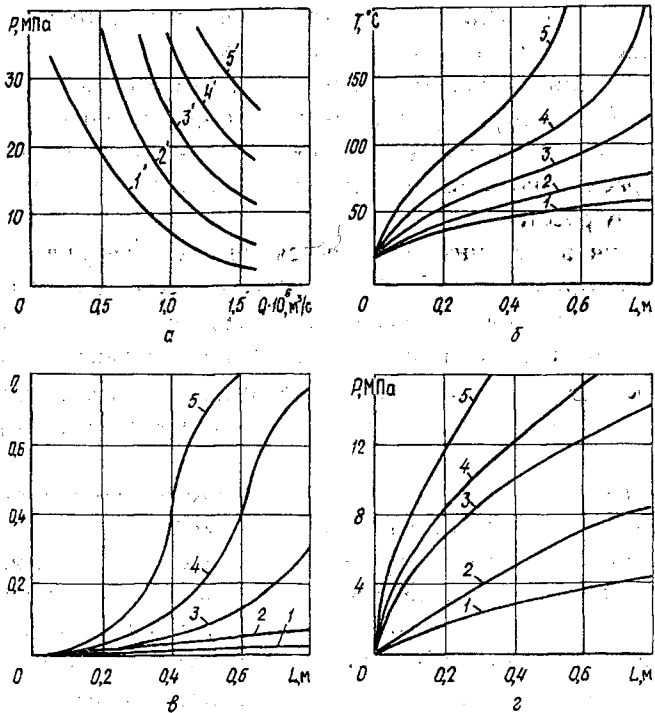


Рис. 2. Напорно-расходная характеристика при  $Q = 1,2 \cdot 10^{-6} m^3/c$  (а) и распределение по длине канала температуры (б), конверсии (в) и давления (г) в процессе адиабатической экструзии композиции, состоящей из 30 % карбаминоформальдегидной смолы и 70 % фосфогипса, при различных значениях  $N$ : 1' -  $0,3 c^{-1}$ ; 2' -  $0,4$ ; 3', 1 -  $0,5$ ; 4', 2 -  $0,6$ ; 5', 3 -  $0,7$ ; 4 -  $0,8$ ; 5 -  $0,9 c^{-1}$

Тепловой режим экструдера определяется диссипативным фактором и внешним теплообменом. Диссипативный разогрев зависит от частоты вращения шнека, расхода и эффективной вязкости композиции. Так как последний показатель зависит от температуры смеси и конверсии, то и диссипативный фактор отслеживается этими же показателями.

Температура и конверсия являются конкурирующими параметрами диссипативного источника теплоты. С увеличением температуры его роль уменьшается из-за снижения эффективной вязкости, а с увеличением глубины конверсии, наоборот, возрастает.

Вклад химического источника теплоты в изменение температуры смеси незначителен, и его можно не учитывать. При малой частоте вращения шнека температура смеси монотонно растет по длине канала и стремится к некоторому предельному значению. Этот предельный разогрев зависит от расхода: чем больше расход, тем меньше темп нагрева смеси и ее конечная температура. При фиксированной частоте вращения шнека для адиабата-

тического экструдера существует критический расход, ниже которого происходит лавинообразное нарастание температуры.

С увеличением частоты вращения шнека при постоянном расходе возрастает интенсивность механического источника теплоты; критический расход, при котором наступает тепловое воспламенение смеси, увеличивается. Если расход не меняется, то воспламенение происходит на более близком к входу расстоянии.

Аналогичная картина наблюдается при увеличении в смеси массовой доли древесных опилок: чем больше опилок в смеси, тем меньше (при прочих равных условиях) допустимая частота вращения шнека адиабатического экструдера. Тепловое воспламенение смеси в экструдере можно устранить за счет теплосъема. Чем меньше  $T_{ст}$  и больше  $\alpha$ , тем меньше вероятность возникновения теплового воспламенения внутри винтового канала экструдера и наоборот.

Аналогично влияет на параметрическую устойчивость работы экструдера и начальная температура формуемой смеси.

Изменение конверсии термореактивной смолы по длине винтового канала зависит от времени пребывания композиции в экструдере и температуры. При открытом выходе канала она незначительна, так как в этих условиях продолжительность пребывания и температура смеси малы. Введение в состав композиции древесных опилок не влияет на  $\eta(x)$ . С увеличением частоты вращения шнека и уменьшением расхода глубина конверсии начинает резко нарастать, что приводит к потере тепловой устойчивости экструдера и его закупорке.

Изменение реологических свойств смеси по длине канала за счет неизомеричности и конверсии является причиной появления нелинейного профиля давления.

На начальном участке канала наиболее сильно изменяется температура, а конверсия невелика из-за малой продолжительности пребывания. Поэтому здесь характерным является сильное падение градиента давления и нелинейный рост  $p$ .

По мере продвижения смеси к выходу канала темп ее нагрева в адиабатических условиях замедляется, а конверсия возрастает. При определенных расходах может наступить момент, когда градиент давления на выходе канала начнет увеличиваться, в результате происходит лавинообразное нарастание давления в канале. На практике это отвечает условиям закупорки формуемого канала, когда смесь теряет свойство текучести.

Продольный профиль давления изменяется при теплообмене с окружающей средой. Расчеты показывают, что регулировать давление перед формующей головкой при постоянном  $N$  целесообразно путем охлаждения начального участка канала и нагрева последующего. Такая комбинация охлаждение-нагрев по зонам канала экструдера устраняет перегрев смеси (тепловое воспламенение) и снижает вероятность преждевременной потери ее текучести за счет конверсии смолы. На практике это прослеживается при



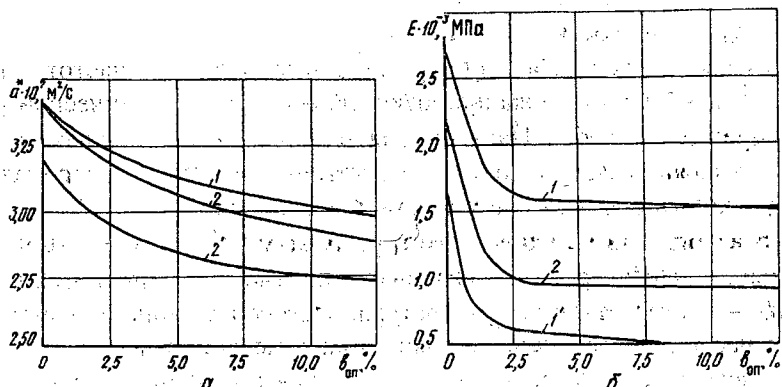


Рис. 3. Влияние содержания древесных опилок и режима работы экструдера на коэффициент температуропроводности  $a^*$  (а) и модуль упругости  $E$  (б) экструдата ( $b_m = 0,3$ ): 1, 2 – политропический экструдер ( $T_{ст} = 293 \text{ K}$ ,  $\alpha = 150 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{K)}$ ); 1', 2' – адиабатический экструдер; 1, 1' –  $N = 1,0 \text{ с}^{-1}$ ; 2, 2' –  $N = 1,2 \text{ с}^{-1}$

малых расходах, когда формируются изделия сложного профиля с тонкими стенками.

Макрокинетические параметры экструзии и состав композиции оказывают существенное влияние на физико-механические свойства экструдата. Изменение некоторых из них для экструдата из древесно-фосфогипсополимерных композиций при различных режимах работы экструдера показано на рис. 3. Полученные данные подтверждают необходимость при проектировании новых композиционных материалов учитывать условия их изготовления.

Таким образом, тестовые испытания показали, что предлагаемая система уравнений позволяет правильно моделировать неізотермическое течение наполненных реактопластов в винтовых каналах. Ее можно использовать при решении задач оптимального проектирования новых технологий экструзионной переработки подобных материалов в изделия с заданными свойствами.

*Условные обозначения*

$a$  – объемная доля;  $b$  – массовая доля;  $B$  – ширина канала, м;  $G$  – модуль сдвига, Па;  $D$  – диаметр шнека, м;  $f$  – коэффициент трения;  $\Phi$  – угол транспортирования, град;  $\psi$  – угол нарезки червяка, град;  $c$  – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности Вт/(м·К);  $\alpha_p$  – коэффициент расхода,  $1/\text{м}^3$ ;  $\eta$  – глубина конверсии реактопласта;  $\eta_\infty$  – предельная конверсия реактопласта;  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\sigma$  – напряжения, Па;  $\xi$  – коэффициент бокового распора;  $p$  – давление, Па;  $k_s$  – концентрация смолы,  $\text{кг}/\text{кг}$ ;  $k_{02}$  – кинетический коэффициент реакции отверждения,  $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{моль})$ ;  $k_w$  – число молекул воды в сольватной оболочке функциональной группы макромолекулы реактопласта, моль/моль;  $K_1$  – коэффициент концентрации нормальных напряжений;  $\Pi$  – пористость;

$P_1$  – пористость брикета из наполнителя;  $v$  – скорость, м/с;  $T$  – температура, К;  $E$  – модуль упругости, Па;  $\Delta H$  – тепловой эффект реакции, Дж/моль;  $\mu_p$  – пластическая вязкость, Па·с;  $Q$  – расход, м<sup>3</sup>/с, кг/с;  $N$  – частота вращения шнека, с<sup>-1</sup>;  $u$  – влагосодержание, кг/кг;  $W_r$  – скорость химической реакции, с<sup>-1</sup>;  $\tau_0$  – предел текучести, Па;  $t$  – время, с;  $p, m, n, r, g, z$  – индексы, соответственно относящиеся, к наполнителю, матрице, порам, растворителю, гель- и золь-фракциям смолы;  $i$  – номер компонента реактопласта;  $Q_0$  – массовый расход реактопласта на входе в экструдер, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_T$  – плотность частиц наполнителя, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – насыпная плотность наполнителя, кг/м<sup>3</sup>;  $T_0, u_0, d_0$  – соответственно температура, влагосодержание и эквивалентный диаметр частиц наполнителя, условно принятые за начало отсчета, К, кг/кг, м;  $P_0$  – насыпная пористость наполнителя;  $n_1$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры, влагосодержания и размера частиц наполнителя на пористость брикета в зоне сжатия;  $n_{01}$  – то же, но при условиях, принятых за начало отсчета;  $\alpha_T, \alpha_w, \alpha_d$  – температурный, влажностный и структурный коэффициенты деформативности брикета из наполнителя, 1/К, кг/кг, 1/м;  $d$  – эквивалентный диаметр частиц наполнителя, м;  $p_0$  – атмосферное давление, Па;  $L$  – температурный коэффициент предельной конверсии, 1/К;  $T_n$  – начальная температура реактопласта на входе в экструдер, К;  $f_1$  – коэффициент кинематического трения на подвижной пластине;  $\lambda_1, \lambda_2$  – коэффициенты теплопроводности реактопласта и подвижной пластины, Вт/(м·К);  $V_x, V_z$  – компоненты вектора скорости течения реактопласта в зоне дозирования, м/с;  $\mu_s$  – эффективная вязкость реактопласта, Па·с;  $\sigma_{тр}$  – напряжение трения, Па;  $V_0$  – скорость перемещения подвижной пластины, м/с;  $V_c$  – скорость скольжения реактопласта по поверхности шнека, м/с;  $T_1^*$  – температура реактопласта на входе в зону дозирования, К;  $T_{ст}$  – температура стенки формирующего канала, К;  $T_d$  – температура деструкции реактопласта, К;  $p^*$  – допустимое давление в канале экструдера, Па;  $t_{гн}^H$  – продолжительность гелеобразования реактопласта при неизотермическом нагреве, с;  $\mu_p^*$  – коэффициент пластической вязкости реактопласта при стандартных условиях, Па·с;  $\tau_0^*$  – предел текучести реактопласта при стандартных условиях, Па.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Боярченко В.И. Макрокинетическая теория экструзии полимерных и полимеризующихся материалов: Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. - Черноголовка, 1982. - 33 с. [2]. Малкин А.Я., Баранов А.В., Тябин Н.В. Течение отверждающей неньютоновской жидкости в канале при наличии пристенного скольжения // Теорет. основы хим. техн. - 1991. - № 1, 25. - С. 72-79. [3]. Deby H.G. Laminar flow a thermosetting polymer through a coat-hanger die // Polym. Process Engng. - № 2-4, Vol. 4. - 1986. - P. 151. [4]. Freaklay P.K., Patel S.R. Internal mixing the interpretation of experimentally determined in chamber pressure and temperature profiles // Prok. Am. Chem. Soc. Meeting Rubber. - Div. Huston, 1983. - P. 1.

УДК 674.05:531.3

*Т.П. СТУКОВА*

Архангельский государственный технический университет

Стукова Татьяна Петровна родилась в 1942 г., окончила в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, декан факультета механической технологии древесины, профессор кафедры теоретической механики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных трудов в области разработки, совершенствования и применения методов исследования динамики деревообрабатывающего оборудования.



## О МЕТОДИКЕ И РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

На примере привода фрезерного узла станка ФБС-750 проиллюстрирована методика подготовки расчетной схемы; вычисления собственных частот, проверки на виброустойчивость; показано формирование углов встречи при врезании и выходе резца из древесины и моментов касательных составляющих сил резания. Показано влияние инерционных и упругих характеристик двигателя, момента касательной составляющей силы резания, жесткости рабочего вала, способов передачи вращательного движения от двигателя к фрезе на динамические характеристики приводов агрегатных станков.

Taking the driver of the machine CCM-750 milling unit as the example the technique of preparing the calculation scheme, estimating proper frequencies and testing the chatter stability have been demonstrated. The formation of incidence angles when the cutter inserts and exits timber is shown as well as tangents' moments of constituents of cutting forces. The influence of inertial and elastic characteristics of engine, tangent moment of cutting force constituent, hardness of the working shaft, ways of transmitting the rotating movement from the engine to the miller on the dynamic characteristics of the multihead machine drivers is demonstrated.

В данной статье рассмотрены некоторые обобщенные результаты наших исследований по динамике привода механизмов фрезерования агрегатных станков.

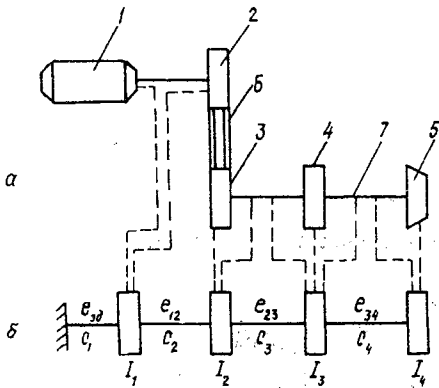


Рис. 1. Кинематическая (а) и эквивалентная (б) схемы исследуемой системы фрезерного узла станка ФБС-750: 1 – электродвигатель; 2, 3 – шкивы клиноременной передачи ( $r_3 = 30$  мм,  $r_2 = 23$  мм); 4 – тормозной шкив; 5 – фреза; 6 – клиновые ремни; 7 – рабочий (приводной) вал фрезерного узла

Динамические процессы, происходящие в приводах агрегатных станков, обусловлены действием переменных моментов, приложенных к различным вращающимся деталям. В частности, на фрезерную головку механизма фрезерования действует периодически изменяющийся момент силы резания. Он вызывает интенсивные крутильные колебания, что приводит к снижению виброустойчивости привода, изменению энергетических показателей процесса резания, снижению долговечности деталей из-за больших динамических нагрузок.

В статье приведено решение задачи по определению собственных частот крутильных колебаний привода механизмов фрезерования агрегатных станков ФБС-750, ФБС-750М, Ц2Д1Ф. Их необходимо знать для установления степени приближения вынужденных колебаний к резонансу и при оценке виброустойчивости механизмов фрезерования.

При определении собственных частот исследуемую систему с распределенными и сосредоточенными массами заменяли эквивалентной системой только с сосредоточенными массами [1].

Методику подготовки расчетной схемы, вычисления собственных частот и исследования динамики станков проиллюстрируем на примере привода фрезерного узла станка ФБС-750.

Кинематическая схема механизма приведена на рис. 1, а. Для привода станка использован электродвигатель 4А250М6УЗ (ГОСТ 19523–74) с частотой вращения  $\omega = 100$  с<sup>-1</sup>. Клиноременная передача имеет передаточное отношение  $i = 1,3$ .

Моменты инерции всех вращающихся деталей привода, жесткость и податливость соединительных звеньев вычислены по специально составленным программам на ПЭВМ и приведены в таблице. Для упрощения расчетной схемы моменты инерции участков вала между ведомым и тормозным шкивами и между тормозным шкивом и фрезой отнесены поровну к моментам инерции сосредоточенных масс, приложенных по концам рассматриваемых участков вала (в таблице это условно показано стрелками).

Позиция на рис. 1, а	Деталь привода	Исходные параметры реальной крутильной системы		$J_i$ , кг·м <sup>2</sup>	Приведенные параметры расчетной (эквивалентной) схемы	
		$J_i$ , кг·м <sup>2</sup>	$e \cdot 10^{-7}$ , 1/(Н·м)		$J_i$ , кг·м <sup>2</sup>	$e \cdot 10^{-7}$ , 1/(Н·м)
1	Ротор электродвигателя 4А250М6УЗ	1,260	145,70	4,470	4,470	145,70
2	Ведущий шкив	3,211				
3	Ведомый шкив	7,475	397,15	7,505	4,414	397,15
3,4	Участок вала между ведомым и тормозным шкивами	0,060	10,10			
4	Тормозной шкив	0,998	-	1,034	0,608	-
4,5	Участок вала между тормозным шкивом и фрезой	0,071	8,62			
5	Фреза И-702	16,418	-	16,454	9,678	-

Расчетная эквивалентная схема (рис. 1, б) представляет собой условный вал с закрепленными на нем четырьмя дисками и заделкой со стороны двигателя, которая соответствует бесконечно большой инерции энергосети (нумерация дисков идет от заделки).

Жесткость на кручение каждого из участков вала определена по формуле  $c_i = 1/e_i$  и имеет следующие значения, Н·м:  $c_1 = 0,685 \cdot 10^4$ ,  $c_2 = 2,517 \cdot 10^4$ ,  $c_3 = 58,510 \cdot 10^4$ ,  $c_4 = 68,217 \cdot 10^4$ .

Матрицы жесткости  $\|C\|$  и моментов инерции  $\|A\|$  представим в виде [2]

$$\|C\| = \begin{vmatrix} 3,203 \cdot 10^4 & -2,517 \cdot 10^4 & 0 & 0 \\ -2,517 \cdot 10^4 & 61,024 \cdot 10^4 & -58,510 \cdot 10^4 & 0 \\ 0 & -58,510 \cdot 10^4 & 126,724 \cdot 10^4 & -68,217 \cdot 10^4 \\ 0 & 0 & -68,217 \cdot 10^4 & 68,217 \cdot 10^4 \end{vmatrix};$$

$$\|A\| = \begin{vmatrix} 4,470 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4,414 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,608 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9,678 \end{vmatrix}$$

Собственные частоты крутильных колебаний вычислены с применением пакета прикладных программ MathCAD.

По программе SOBST найдены значения частот свободных колебаний,  $c^{-1}$ :  $k_1 = 17$ ,  $k_2 = 91$ ,  $k_3 = 328$ ,  $k_4 = 1478$ .

Проверка привода фрезерного узла на виброустойчивость проведена по методике [2]. Для фрезерного узла станка ФБС-750 с фрезой И-702 при числе ножей  $z = 4$  и угловой скорости вращения  $\omega = 75 \text{ c}^{-1}$  степень приближения к резонансу определяли по значениям относительных частот:

$p_1/k_1 = 23,53$ ,  $p_1/k_2 = 4,40$ ,  $p_1/k_3 = 1,22$ . Следовательно, по первой гармонике возмущающего момента возможен резонанс, имеющий форму третьего главного колебания ( $p_1/k_3 = 1,22$ ). По всем остальным гармоникам резонансы отсутствуют. В случае изменения конструкции узла, частоты вращения, режимов эксплуатации необходимо вновь проводить проверку узла на виброустойчивость.

Внешний возмущающий момент  $M(t)$  пропорционален касательной составляющей силы резания и приложен к фрезерной головке.

При составлении таблицы моментов касательной составляющей силы резания  $M_i(t)$  принято

$$M_i(t) = F_i^{\tau} R,$$

где  $F_i^{\tau}$  — касательная составляющая силы резания в точке  $i$  зоны резания,

$$F_i^{\tau} = P_i^{\tau} h_i;$$

$P_i^{\tau}$  — удельная касательная составляющая силы резания в точке  $i$ ;

$h_i$  — ширина срезаемого одной головкой слоя древесины в точке  $i$  зоны резания;

$R$  — радиус резания.

Удельная касательная составляющая силы резания в точке  $i$  первой зоны резания, соответствующей углу  $\alpha_1$  (рис. 2), определена как

$$P_i^{\tau} = P_{iy} \cos \beta_i - P_{ix} \sin \beta_i,$$

где  $\beta_i = \alpha_1 - \alpha_i$ ;

$\alpha_i$  — текущий угол, отсчитываемый от  $\bar{r}_1$  по часовой стрелке,  $0 < \alpha_i < \alpha$ ;

$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ .

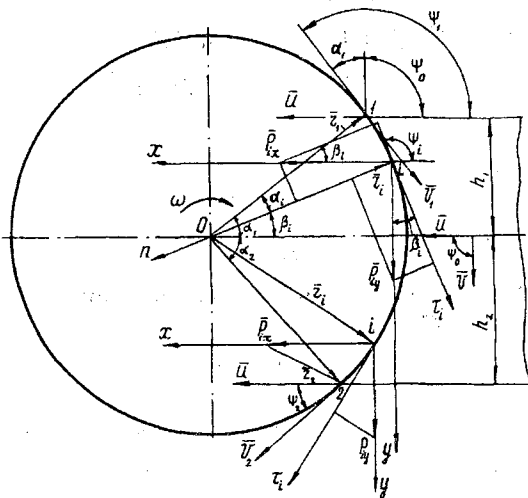


Рис. 2. Формирование углов встречи при врезании  $\psi_1$  и выходе  $\psi_2$  реза из древесины и касательных составляющих силы резания в точках  $i$  первой и второй зон резания

Удельная касательная составляющая силы резания в точке  $i$  второй зоны резания, соответствующей углу  $\alpha_2$  (рис. 2), определена как

$$P_i^{\tau} = P_{iy} \cos \beta_i + P_{ix} \sin \beta_i,$$

где  $P_{ix}$ ,  $P_{iy}$  – значения удельных составляющих сил резания по осям  $x$  и  $y$  (вычислены по данным ЦНИИМОД);

$$\beta_i = \alpha_i - \alpha_1, \beta_i = \alpha_2 \text{ при } \alpha_i = \alpha.$$

Ширина  $h_i$  срезаемого, одной головкой слоя древесины в точке  $i$  определена графически.

Приведенный к валу электродвигателя момент  $M_{\text{прив}}$  вычислен по формуле  $M_{\text{прив}} = M_i(t)/i_{\text{пр}}$  в точках  $i$  для положений фрезы, различающихся на  $\Delta\alpha$  ( $\Delta\alpha = 1^\circ, 2^\circ, \dots$ ). Здесь  $i_{\text{пр}}$  – передаточное отношение привода [2].

$P_i^{\tau}$ ,  $F_i^{\tau}$ ,  $M_i(t)$ ,  $M_{\text{прив}}$  вычислены на ЭВМ по специально разработанной программе и представлены в виде таблиц.

Для математического описания приведенного момента касательной составляющей силы резания, заданного таблично, было использовано разложение в ряд Фурье.

Математическая модель вынужденных крутильных колебаний и методика расчета положены в основу программы PROGONS для ЭВМ [3].

С помощью программы найдены коэффициенты разложения в ряд Фурье возмущающего момента  $M_{\text{прив}}$ , заданного таблично; статические отклонения (постоянные составляющие углов поворота дисков от недеформированного положения); амплитуды вынужденных колебаний; углы поворота дисков относительно положения статического равновесия в момент  $2\pi i/(p\tau)$ ; максимальные углы поворота дисков относительно положения статического равновесия; максимальные углы закручивания участков вала между дисками; крутящие моменты в упругой связи; амплитуды напряжений от крутильных колебаний.

Исследовано влияние инерционных и упругих характеристик двигателя, момента касательной составляющей силы резания, способов передачи вращательного движения от двигателя на фрезу элементов привода агрегатных станков [2].

Эта же методика была использована при решении задачи о влиянии на крутильные колебания привода инерционных и упругих характеристик двигателя. Для привода фрезерного узла станка ФБС-750 с электродвигателями разных марок (4A225M4Y3, 4A250M6Y3, 4A2808Y3) установлено следующее.

1. Собственные частоты крутильных колебаний фрезерного узла станка ФБС-750 с приводом электродвигателя 4A225M4Y3 изменились незначительно по сравнению с электродвигателем 4A250M6Y3. Касательные напряжения от крутильных колебаний на участках вала между фрезой и тормозным шкивом  $\tau_4$ , тормозным и ведомым шкивами ременной передачи  $\tau_3$  не превышают допустимых касательных напряжений.

2. При применении электродвигателя 4А2808УЗ возможен резонанс по первой гармонике возмущающего момента, имеющий форму первого главного колебания ( $p_1/k_1 = 1,15$ ), т. е. установка электродвигателя этой марки в станке ФБС-750 нежелательна.

Задача о влиянии на крутильные колебания момента касательной составляющей силы резания рассмотрена на примере фрезерного узла станка ФБС-750. Графики изменения приведенных к валу электродвигателя моментов касательной составляющей силы резания  $M_{прив}$  изображены на рис. 3.

Установлено, что с увеличением  $M_{прив}$  (кривые 1–4, рис. 3) касательные напряжения  $\tau_4$  и  $\tau_3$  соответственно возрастают на 175 и 185 %, причем  $\tau_4$  примерно в 2,5 раза меньше  $\tau_3$ .

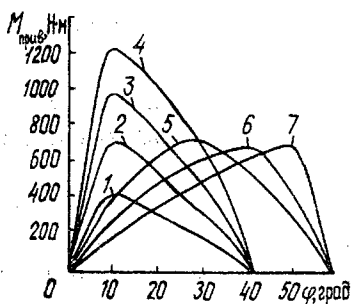


Рис. 3. Графики изменения приведенных к валу электродвигателя моментов касательной составляющей силы резания  $M_{прив}$ : 1–4 — в зоне резания  $40^\circ$ ; 5–7 —  $60^\circ$

Амплитуды колебаний моментов сил упругости на третьем и четвертом участках при изменении положения максимума  $M_{прив}$  от  $25$  до  $50^\circ$  (кривые 5–7, рис. 3) почти не изменяются, хотя и достигают довольно больших значений.

Задача о возможности замены ременной передачи муфтой в механизме фрезерования станка ФБС-750 (рис. 4) решена с применением программы расчета на ЭВМ исходных параметров крутильной системы, частот и амплитуд.

Расчетная схема фрезерного узла не изменилась по сравнению с приведенной на рис. 1, б. Однако численные значения моментов инерции и жесткости элементов расчетной схемы не совпадают с показателями исходной схемы, так как передаточное отношение муфты  $i = 1$ , а моменты инерции полумуфты и ее податливость отличаются от параметров ременной передачи.

Установлено, что возможен резонанс по первой гармонике возмущающего момента, совпадающий по форме со вторым главным колебанием  $p_1/k_2$ .

Расчет вынужденных крутильных колебаний по программе PROGONS показал, что при принятых для муфты значениях  $J$  и  $e$  крутящие моменты в упругой связи и касательные напряжения от вибраций изме-

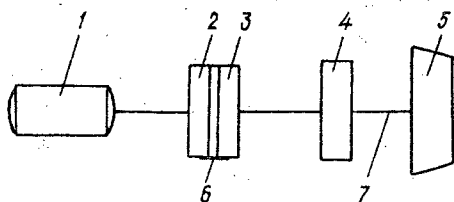
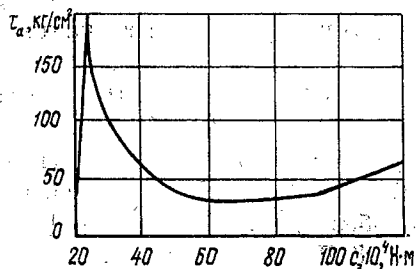


Рис. 4. Схема фрезерного узла с передачей вращательного движения через муфту (обозначения совпадают с рис. 1)



Рис. 5. График изменения  $\tau_a$  в зависимости от  $c_3$



нились незначительно по сравнению с результатами расчета крутильных колебаний привода фрезерного узла станка ФБС-750 при передаче вращательного движения через ременную передачу.

Движение привода станка ФБС-750 с передачей вращательного движения через муфту при  $c_m = 6,33 \cdot 10^5$  Н·м устойчиво. При решении вопроса о замене ременной передачи муфтами другой жесткости следует по программе PROGONS произвести перерасчет частот собственных и амплитуд вынужденных колебаний и сделать соответствующий вывод.

По разработанной математической модели с применением программ расчета на ЭВМ исследована динамика привода различных фрезерных узлов агрегатных станков. Установлено, что для фрезерного узла станка Ц2Д1Ф возможен резонанс первого порядка, имеющий форму третьего главного колебания.

Для проверки степени опасности этого резонанса по программе PROGONS исследованы вынужденные крутильные колебания на различных частотах вращения (от 146 до 300 с<sup>-1</sup>). Для значений  $\tau_a$  существует максимум при  $\omega = 167,46$  с<sup>-1</sup>, что подтверждает вывод о наличии резонанса  $p_1/k_3$ .

Однако частоты вращения в диапазоне от 146 до 300 с<sup>-1</sup> не представляют опасности с точки зрения развития больших амплитуд установившихся вынужденных крутильных колебаний, так как  $\tau_a / [\tau_a] = 0,175$ .

При решении задачи о влиянии жесткости рабочего вала  $\bar{c}_3$  на касательные напряжения от вибраций  $\tau_a$  установлено следующее:

значительное увеличение податливости рабочего вала незначительно изменяет амплитуду напряжений от крутильных колебаний при  $\omega = 167,46$  с<sup>-1</sup>;

некоторое увеличение амплитуды напряжений от крутильных колебаний при  $c_3 = 20,43 \cdot 10^4$  Н·м (рис. 5) объясняется гармоническими резонансами высших порядков.

Применяемые для исследования динамики привода агрегатных станков методика и программы подготовки исходных параметров крутильных систем, методика и программы расчета частот собственных и амплитуд вынужденных крутильных колебаний, углов закручивания дисков, крутящих моментов и касательных напряжений в упругой связи могут быть использованы для исследования динамики приводов других деревообрабаты-

вающих станков, а также в учебном процессе для курсового и дипломного проектирования студентов-механиков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

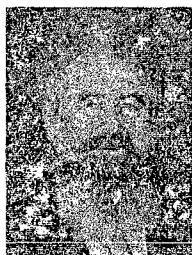
[1]. Ривин Е.Н. Динамика привода станков. - М.: Машиностроение, 1966. - 204 с. [2]. Стукова Т.П. Вибрация механизмов резания агрегатного лесопильного оборудования. - СПб.: СПбГУ, 1993. - 104 с. [3]. Стукова Т.П., Преловская Р.Д. Теоретические основы динамики дереворежущих станков. Крутильные колебания. - Архангельск: РИО АЛТИ, 1990. - 74 с.

Поступила 1 июля 1999 г.

УДК674.093

*В.И. БЫЗОВ*

Марийский государственный технический университет



Бызов Василий Иванович родился в 1930 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии деревообработки Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки республики Марий Эл. Имеет более 120 научных трудов в области повышения надежности оборудования.

### ГЛАВНЫЙ КРИТЕРИЙ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предложено обоснование главного критерия стабильности работы технологических систем; проанализированы основные факторы, влияющие на их фактическую производительность.

The substantiation of the main criterion of the stability of technological systems operation is offered. The main factors providing influence on their practical productivity are analyzed.

Стабильная работа технологических систем (ТС) в современных условиях хозяйствования является наиболее важным средством достижения стабильных показателей в производственной сфере, так как от надежного функционирования ТС полностью зависит конечный результат: своевременное и качественное выполнение задач производства,

договорных условий, сроков поставок и т. д. Однако к настоящему времени в литературе нет четкого определения понятия стабильности, нет также единого критерия стабильности функционирования ТС. Так, ГОСТ 27.203–83 рекомендует качество функционирования ТС оценивать показателями надежности (безотказность, наработка и др.), стабильностью основных показателей качества выпускаемой продукции и параметров производительности. При этом показатели качества (точность, шероховатость) могут быть регламентированы, например, полем допуска, а показатель стабильности производительности остается нерегламентированным, так как качество можно обеспечить, например, при минимальном значении показателя производительности и считать, что ТС функционирует стабильно.

Цель статьи – обоснование критерия стабильности функционирования ТС и путей ее научного прогнозирования.

В самом определении ТС, как совокупности функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов труда и исполнителей, созданной для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических операций, заложены основные ограничения показателя производительности: заданные регламентированные условия производства (ритм работы, качество сырья, квалификация работ и др.); заданные технологические операции (режимы, качество, точность обработки и др.). В этих условиях нарушение режима или невыполнение допуска (например на размер) является причиной отказа ТС, т.е. прекращается ее функционирование.

При расчете показателей по производительности за объем готовой продукции принимается только продукция, признанная годной по ГОСТ 27.203–83. При этом состояние технологической системы  $S(t)$  считается работоспособным, если одновременно выполняются следующие условия:

$$S(t) = \tilde{S} > \{P(t) \leq \tilde{P}; R(t) < \tilde{R}; C(t) < \tilde{C}\},$$

где  $S$  – множество допустимых состояний ТС;  
 $P(t), R(t), C(t)$  – значение параметров производительности, качества и величин затрачиваемых ресурсов в момент времени  $t$  (например на электрическую энергию, ремонт, обслуживание и т.д.);

$\tilde{P}, \tilde{R}, \tilde{C}$  – множество допустимых значений параметров производительности, качества и затрачиваемых ресурсов, при которых ТС считается работоспособной.

Исходя из этого неравенства можно считать, что за период наработки  $T$  будут обеспечиваться все условия работоспособного состояния ТС. Нарботка  $T$  может измеряться в единицах времени, циклах функционирования или в единицах изготовленной продукции. В лесопилении наработка чаще всего принимается равной упрягу (т.е. 2 ч 20 мин), времени работы

---

\* ГОСТ 27.203–83. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества продукции.

потока между перебивками пил. Регламентирующим ограничением при этом является качество распиловки. Это значит, что в процессе функционирования работоспособной ТС обеспечивается выпуск готовой продукции, который по объему соответствует планируемому значению. В этих условиях стабильное функционирование ТС характеризуется стабильными значениями главного критерия качества ее работы – производительностью, т. е. когда эти величины находятся в поле допустимых значений

$$P_{\max} > \bar{P} > P_{\min}$$

Отсюда следует, что показателем стабильности является абсолютное значение  $P$ , ограниченное полем допустимых отклонений. Допустимые отклонения определяются условиями функционирования системы: отклонениями в характеристике сырья; колебаниями показателей надежности техники; отклонениями уровня социально-психологической готовности исполнителей.

Следовательно, повышение стабильности работы ТС может быть достигнуто следующими способами:

- 1) обеспечение стабильного качества сырья;
- 2) стабильная надежность технологического оснащения;
- 3) стабильная готовность исполнителей.

Исследования МарГТУ и ЦНИИМОД в области надежности ТС в лесопилении и деревообработке позволяют сделать вывод, что недооценка отдельных составляющих ТС сопряжена с большими сбоями в работе всей системы. В течение многих лет изучались условия, необходимые для стабильности следующих систем:

лесопильный поток (14 предприятий Архангельска, Кирова, Красноярска и др.);

лушительный поток (2 завода Риги, Зеленодольска);

тарный поток (4 завода Архангельска, Кирова).

Проведенные исследования позволяют заключить, что стабильность качества сырья и надежность технологического оснащения далеко не всегда гарантируют стабильные показатели функционирования ТС по производительности, поскольку социально-психологическая и профессиональная готовность исполнителей ТС зависит от многих внешних и внутренних факторов. Это обстоятельство особенно важно знать современным организаторам производства, так как не только качество техники, но и качество ее обслуживания и эксплуатации влияют на конечные результаты работы ТС.

При этом именно стабильность производительности ТС гарантирует предприятию выполнение всех планируемых обязательств, поскольку в этих условиях качество (точность размера, чистота обработки и др.) являются ограничением, регламентирующим достижение максимальных и стабильных значений производительности. Например, на фанерных заводах качество шпона или точность его размера по толщине регламентируются конечными значениями показателей (допустимая высота неровностей поверхности, поле допуска размера толщины). Если в процессе функционирования ТС «лушительный поток» одно из этих ограничений не выполняется, то на-

ступают параметрический отказ – выпуск продукции (т. е. шпона) прекращается.

Аналогично обстоит дело в лесопилении, особенно на заводах, работающих на экспорт.

Наши наблюдения показали, что значения критериев стабильности по производительности (размах значений, дисперсии значений) на родственных предприятиях, имеющих аналогичное оборудование, весьма различны, т.е. они зависят от местных условий (климат, особенности сырья, качество обслуживания техники и др.). Даже на одном предприятии эти значения различаются в зависимости от сезона и других обстоятельств.

Следовательно, показатель стабильности производительности ТС может быть не только расчетным, но и фактическим, привязанным к конкретному предприятию или отдельной ТС, сезону и т. д. Важность этого вывода состоит в том, что в технической документации на технологическое оснащение требуется приводить не только расчетное значение производительности ( $P$ ) техники, но и возможные допустимые отклонения ( $\delta$  – поле допуска) с учетом безотказности технологического оснащения, характеристик сырья и условий эксплуатации (например производительность ТС «лесопильный поток» по распилу сырья в смену  $P_{см} = (180 \pm 20) \text{ м}^3$ ). Показатель  $P \pm \delta$  более точно характеризует технические возможности ТС и дает возможность сопоставлять фактические показатели с ранее достигнутыми или абсолютными значениями с учетом поля допустимых отклонений.

В качестве примера рассмотрим отчетные материалы Лузского лесокombината Кировской области за 1984–1987 гг. Пассивный эксперимент позволил установить, что разброс значений показателя производительности двухрамного лесопильного потока летом составлял от 166 до 233  $\text{м}^3$  в смену (разброс (размах) значений 57  $\text{м}^3/\text{см.}$ ), зимой 147 ... 163  $\text{м}^3/\text{см.}$  (размах значений 21  $\text{м}^3/\text{см.}$ ).

Анализ причин разброса значений позволил выделить ряд факторов, вызывающих отказы (простои) ТС при работоспособном состоянии технологического оснащения и нормальных характеристиках сырья. Эти факторы часто обусловлены недостаточным уровнем готовности исполнителей. Дело в том, что в условиях лесопиления влияние исполнителей на надежность и стабильность работы ТС проявляется двояко: с одной стороны, через качество технического обслуживания и выполнения наладки, настройки техники, с другой – через качество эксплуатации техники (выбор режима распиловки, соблюдение норм и правил загрузки станков и др.). На рис. 1 показана схема взаимосвязей факторов, оказывающих влияние на качество работы ТС.

Наши наблюдения на ряде заводов показали, что на одну и ту же операцию «удаление засора» (застрявшие в пилах концы досок) затрачивается в среднем от 2,8 до 12,7 мин в зависимости от квалификации оператора-рамщика и оснащенности рабочего места вспомогательными

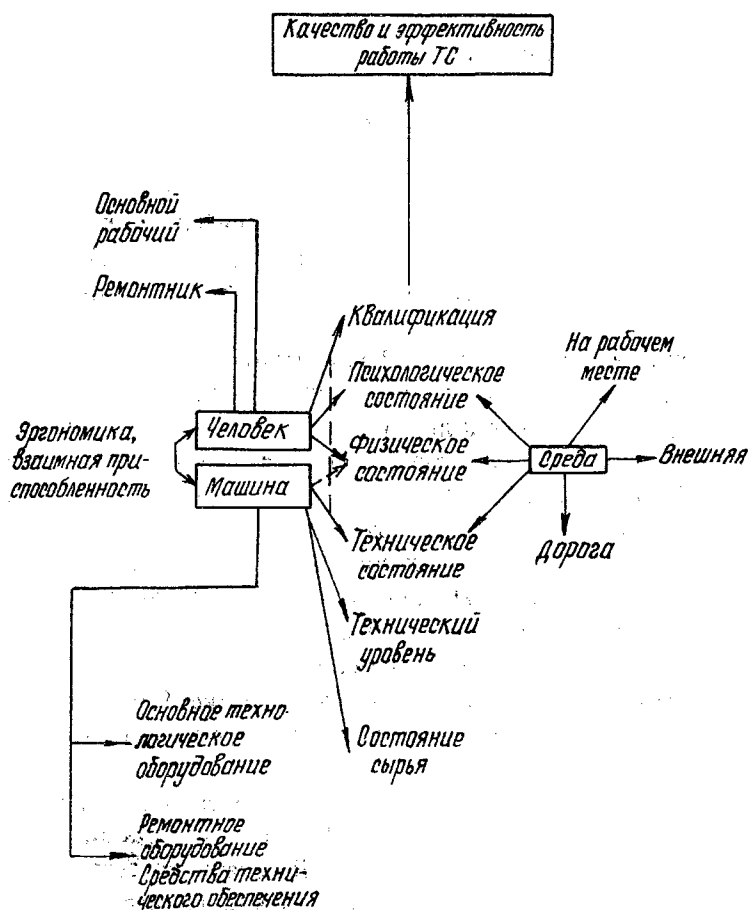


Рис. 1. Схема взаимосвязей факторов, влияющих на эффективность работы ТС.

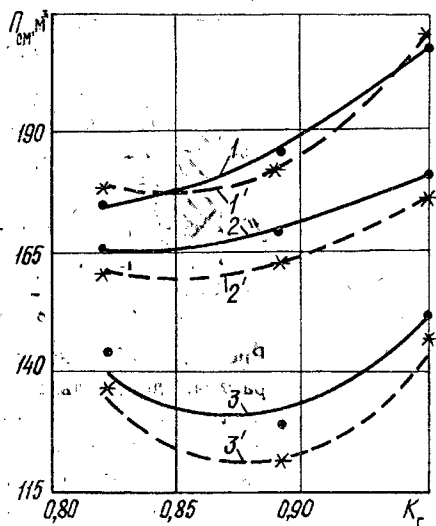
инструментами. Совокупное влияние готовности исполнителей на производительность ТС «лесопильный поток» показано на рис. 2. Расчетные значения производительности, обозначенные звездочками, получены с помощью следующего уравнения регрессии:

$$P_r = (61,875 + 10,450x_1 + 3,583x_2 + 0,225x_1^2 + 7,125x_2^2 + 3,275x_1x_2)/4, \quad (1)$$

где  $x_1$  – фактическая продолжительность работы ТС в течение смены, мин;  
 $x_2$  – коэффициент готовности  $K_r$  технологической системы, по фактическим данным  $K_r = 0,950; 0,876; 0,817$ .

Коэффициент готовности  $K_r$  – это отношение продолжительности безотказной (эффективной) работы системы в течение смены к продолжительности смены:

Рис. 2. Зависимость производительности ( $\Pi$ ) ТС «лесопильный поток» от коэффициента готовности исполнителей,  $K_r$ , в летний (1, 1'), осенне-зимний (2, 2') и предремонтный (3, 3') периоды работ: 1-3 - фактические значения, 1'-3' - расчетные значения



$$K_r = \frac{t_{б.р}}{t_c} = \frac{t_c - t_p}{t_c},$$

где  $t_{б.р}$  — продолжительность безотказной работы ТС в течение смены, мин;

$t_c$  — продолжительность смены, мин;

$t_p$  — продолжительность устранения отказов (ремонтов) в течение смены, мин.

Приведенные на рис. 2 графики отражают достигнутый уровень значений  $\Pi_{см}$  при одинаковых внешних условиях функционирования ТС и различных значениях  $K_r$  для летнего и зимнего периодов распиловки. Из графиков видно, что чем ниже производительность ТС, тем больше проявляется влияние готовности исполнителей (человеческого фактора). Сезонность работ влияет на стабильность значений  $\Pi_{см}$  не только через снижение  $K_r$ , но и через ухудшение условий распиловки промерзшего сырья.

Анализ отчетных материалов предприятий за несколько лет (в доперестроечный период) позволяет утверждать, что стабильность работы ТС в лесопилении достигает наилучших показателей в условиях летних распиловок. При этом средние статистические значения производительности ТС достигают максимума. На рис. 3 показан характерный график изменения стабильности значений производительности двухрамных лесопильных потоков за межремонтный период.

С помощью этого графика можно проанализировать качество функционирования ТС с точки зрения стабильности основного показателя за межремонтный цикл. Наиболее стабильно (т.е. с минимальным разбросом значений  $\Pi_{см}$ ) отработаны июнь, июль, февраль и март, что соответствует периодам установившихся условий и режимов работы. Максимальный разброс значений  $\Pi_{см}$  приходится на межсезонье и отражает переходный период работ: май — послеремонтная приработка системы, апрель — предремонт-

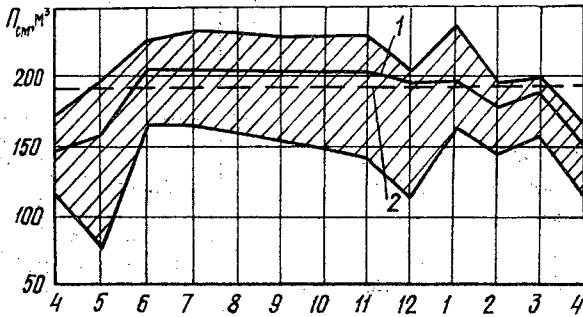


Рис. 3. Стабильность производительности двухрамных лесопильных потоков за межремонтный период: 1 – осредненные значения; 2 – среднегодовое значение ( $P_{\text{см}} = 183,2 \text{ м}^3/\text{см}$ .); заштрихованная зона – размах значений; цифры на горизонтальной оси – порядковый номер месяца

ные отказы и сбои в работе. Применение такого графика и метода оценки стабильности по показателям производительности упрощает анализ и способствует ускорению принятия управленческих решений, направленных на повышение эффективности ТС.

Прогрессивность предлагаемой оценки стабильности состоит в том, что в каждом случае на предприятии представляется возможным точно характеризовать стабильность функционирования ТС путем регрессионного анализа отчетных данных и сопоставления средних значений с результатами и условиями работы ТС, при которых достигнуты лучшие показатели, и принимать соответствующие меры (разработка регламентирующих документов, создание дополнительных условий и др.).

Для перспективного прогнозирования стабильности работы ТС применяется более надежный (по сравнению с размахом значений) показатель – доверительный интервал значений  $P_{\text{см}}$ . В этом случае показатель стабильности можно рассчитывать по формуле

$$K_c = \frac{K_p(t_2)}{K_p(t_1)},$$

где  $K_p(t_1)$  – показатель соответствия диапазона рассеяния значений за контролируемый период  $t_1$  соответствующей выборки (например значений  $P_{\text{см}}$  за прошедшую неделю) полю допуска,

$$K_p(t_1) = \frac{\omega}{\delta};$$

$K_p(t_2)$  – тот же показатель для периода времени  $t_2$ ;

$\omega$  – поле рассеяния значений  $P_{\text{см}}$ ;

$\delta$  – поле допуска, принятое на предприятии (например доверительный интервал значений  $P_{\text{см}}$  за истекший год работы ТС).



В этом случае показатель  $K_c$  характеризует тенденцию изменения стабильности во времени, что позволяет научно обоснованно контролировать качество функционирования ТС по главному критерию.

Обобщая изложенное выше, можно заключить, что в ГОСТ 27.204-83 необходимо внести дополнение, уточняющее определение и оценку стабильности функционирования ТС по параметрам производительности. Это позволит устранить имеющиеся разногласия об оценке стабильности, а главное, сделать стандарт более современным, поскольку может улучшить работу ТС в современных условиях.

С помощью стандарта можно правильно определить главный критерий качества функционирования ТС; наладить научное прогнозирование и контроль реализации прогноза стабильности функционирования ТС; увязать методы оценки качества работы ТС с оценкой и определением аналогичных показателей других критериев, принятых в других ГОСТах по надежности у нас и за рубежом.

По нашему мнению, наиболее точной характеристикой стабильности функционирования ТС по производительности является доверительный интервал значений сменной или часовой производительности. Для текущего контроля и прогнозирования стабильности можно использовать размах значений за контролируемый период. Экономическая выгода этих дополнений состоит в улучшении конечных показателей функционирования технологических линий и производств.

#### *Вывод*

Заданный интервал значений производительности ТС является главным показателем стабильности их функционирования. Абсолютные значения максимальной и минимальной производительности ТС определяются с учетом условий конкретного производства и предприятия.

Поступила 11 июля 1997 г.

УДК 674.053:621.934

#### *С.В. ЕРШОВ*

Архангельский государственный технический университет

Ершов Сергей Викторович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации обработки экономической информации Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ в области лесопиления, исследования круглых пил, маркетинга, инновационного менеджмента.



## О ВЛИЯНИИ НЕРАВНОМЕРНОГО НАГРЕВА НА КРИТИЧЕСКУЮ РАДИАЛЬНУЮ СИЛУ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КРУГЛОЙ ПИЛЫ

С позиции энергетического метода рассмотрено совместное влияние частоты вращения и неравномерного нагрева на критическую радиальную силу круглой пилы; показана возможность ее существенного уменьшения при нагреве периферийной зоны пилы.

In the context of energy method the joint effect of rotation frequency and irregular heating is considered for the critical radial strength of the circular saw. The possibility of its sufficient reduction when heating the peripheral zone of the saw is demonstrated.

Для оценки работоспособности круглой пилы применяют такие параметры, как критическая частота вращения диска, критический температурный перепад по его радиусу, критические значения внешних нагрузок. В работе [2] показано, что теоретически для этой цели можно использовать критическую радиальную силу  $P_R^{kp}$ . Это дает следующие преимущества: если  $P_R^{kp}$  определена с учетом всех внутренних и внешних нагрузок, действующих на пилу, то этого достаточно для оценки работоспособности; значение  $P_R^{kp}$  можно сравнивать с действительным значением радиальной силы и, следовательно, учитывать параметры режима пиления.

При пилении древесины круглая пила подвергается действию тепловой нагрузки. Обычно считают, что на нагрев пилы расходуется 2 ... 3 % мощности резания [4]. Температура на наружном контуре диска, а также закономерность распределения температуры по радиусу зависят от мощности  $Q$ , расходуемой на нагрев, толщины пилы и теплопроводности ее материала, интенсивности теплообмена с окружающей средой, которая в свою очередь связана с частотой вращения  $n$ . С увеличением частоты вращения теплообмен с окружающей средой увеличивается, и поэтому температура на периферии пилы уменьшается. Таким образом, частота вращения может отражаться на  $P_R^{kp}$  как фактор частоты вынужденных колебаний, с одной стороны, и как фактор, влияющий на величину и распределение температуры по радиусу пилы, с другой.

Цель данной статьи – теоретически оценить совместное влияние частоты вращения и неравномерного нагрева круглой пилы на ее критическую радиальную силу.

Воспользуемся вариационным принципом Остроградского – Гамильтона, согласно которому действительное движение системы выделяется из всех допустимых по условию экстремума интеграла

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

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

В расчетах использована неподвижная система координат  $(r, \psi)$ , в которой пила вращается с угловой скоростью  $\omega$ . Выражение для кинетической энергии приведено в работе [2], для потенциальной, с учетом неравномерного нагрева – в работе [1]. Методы расчета температуры на периферии пилы и закономерности ее распределения по радиусу, позволяющие учитывать влияние частоты вращения на теплообмен с окружающей средой, приведены в работе [3]. Начальное напряженное состояние пилы учитывали по частоте ее собственных колебаний [2].

Представляя деформацию пилы в виде суммы координатных функций с неизвестными коэффициентами  $a_i$ , как это сделано в работе [2], и используя условие экстремума интеграла (1)  $\partial S / \partial a_i = 0$ , получаем систему однородных уравнений, решая которую находим критическую радиальную силу [2]. Из полученных значений  $P_R^{kp}$  нас интересует только наименьшее. Таким образом, варьируя частоту вращения и мощность, расходуемую на нагрев пилы, определяем критическое значение радиальной силы. Мощность, расходуемую на нагрев, можно увязать с мощностью резания, а следовательно, и с параметрами режима пиления.

Влияние вращения и неравномерного нагрева на  $P_R^{kp}$  рассмотрим на примере пилы диаметром 800 мм, толщиной 3,2 мм, установленной в шайбы диаметром 160 мм. Диапазон частот вращения 400 ... 2000  $\text{мин}^{-1}$ . Будем считать, что тепловая нагрузка создается тепловой мощностью  $Q$ , подводимой к внешней кромке пилы. Выбранный диапазон изменения  $Q$  составляет от 0 до 480 Вт, что соответствует мощности резания до 12 кВт.

Как отмечено выше, форма кривой распределения температуры по радиусу пилы и температура на ее периферии зависят от частоты вращения. На рис. 1 приведены расчетные графики для зависимости избыточной температуры  $\Delta T$  от радиальной координаты  $r$  при  $Q = 480$  Вт и различных частотах вращения. Они показывают, что с увеличением частоты вращения температура в средней части пилы убывает быстрее, чем на периферии.

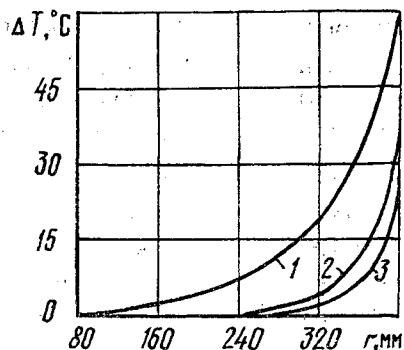


Рис. 1. Распределение температуры по радиусу пилы при разной частоте вращения: 1 –  $n = 400 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 –  $1200$ ; 3 –  $2000 \text{ мин}^{-1}$

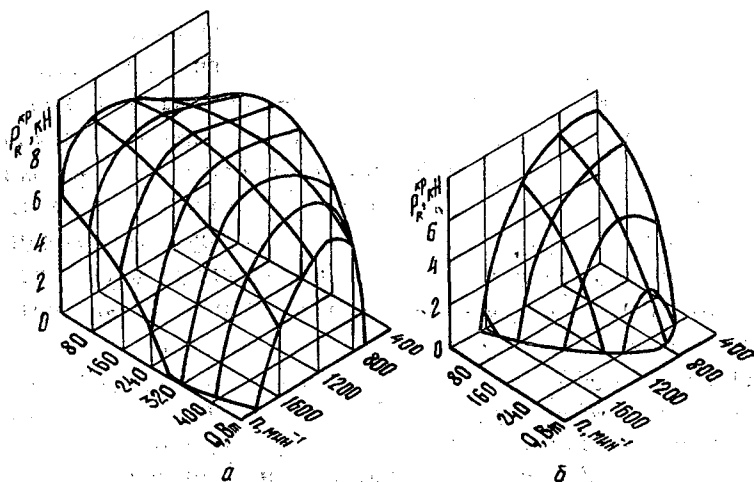


Рис. 2. Влияние нагрева периферийной зоны вращающейся пилы на критическую радиальную силу: *а* – пила без начальных напряжений; *б* – пила прокована до критического состояния

Это объясняется расширением зоны турбулентного движения воздуха в приграничном к пиле слое.

Влияние частоты вращения и подводимой к периферии пилы тепловой мощности на критическое значение ее радиальной силы показывает рис. 2. Если пила не имеет начальных напряжений, нагрев ее периферии уменьшает  $P_R^{kp}$ . Увеличение частоты вращения (в диапазоне низких частот) приводит к росту  $P_R^{kp}$ , что связано с интенсивной теплоотдачей пилы, так как расширяется зона турбулентного режима в пограничном слое воздуха и повышается коэффициент теплоотдачи.

Ненагретая прокованная до критического состояния пила при низких частотах вращения имеет меньшие значения  $P_R^{kp}$ , чем непрокованная. При увеличении частоты вращения  $P_R^{kp}$  сначала возрастает, а затем уменьшается. При низких частотах вращения (до  $1200 \text{ мин}^{-1}$ ) нагрев пилы сначала приводит к увеличению  $P_R^{kp}$ , а потом к ее уменьшению. В диапазоне высоких частот нагрев пилы только снижает  $P_R^{kp}$ . Такое поведение пилы объясняется ослаблением ее центральной зоны проковкой.

Критическая тепловая мощность, подводимая к периферии пилы, зависит от частоты вращения и графически отражается линией пересечения поверхности  $P_R^{kp} = f(Q, n)$  и плоскости  $Q, n$ . При этих значениях тепловой мощности и соответствующих частотах вращения пила теряет способность сопротивляться действию радиальной силы. Каждой паре значений  $Q$  и  $n$  соответствует свое распределение температуры по радиусу пилы, поэтому говорить о критическом температурном перепаде по радиусу пилы не имеет смысла.

Новые зависимости, полученные выше, можно использовать для оценки работоспособности круглых дереворежущих пил и выбора режимов пиления при разработке новых и эксплуатации существующих станков. Следует заметить, что значение коэффициента теплоотдачи нуждается в уточнении в связи со специфическими особенностями работы круглой пилы (наличие распиливаемого материала и элементов станка, затрудняющих циркуляцию воздуха и теплоотдачу).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ершов С.В. Влияние неравномерного нагрева на изгибную жесткость и устойчивость вращающихся круглых пил // Лесн. журн. - 1993. - № 1. - С. 69-76. - (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Ершов С.В. Влияние частоты вращения на критическую радиальную силу круглой пилы // Лесн. журн. - 1998. - № 6. - С. 69-74. - (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Ершов С.В. О распределении температуры по радиусу круглой пилы // Лесн. журн. - 1992. - № 1992. - С. 72-78. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами / Ю.М. Стахийев, В.Д. Дунаев, М.Л. Короткова и др. - Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. - 74 с. [5]. Стахийев Ю.М. Работоспособность плоских круглых пил. - М.: Лесн. пром-сть, 1989. - 384 с.

Поступила 7 июня 1996 г.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630\*867

*В.Н. ПИЯЛКИН, Е.А. ЦЫГАНОВ, А.Г. НИКИФОРОВ*

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

**ИЗУЧЕНИЕ ФОРМАЛЬНОЙ КИНЕТИКИ УЛЬТРАПИРОЛИЗА  
ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ ТЕПЛООВОГО УДАРА**

Приведены результаты исследования пиролиза березовой древесины ее компонентов в интервале температур 300 ... 800 °С и скорости нагрева 480 ... 2000 °С/мин; определены кинетические параметры и температурные максимумы образования индивидуальных фенолов, летучих кислот и реакционной воды.

The investigation results for pyrolysis of birch wood and its components are given for the temperature range of 300-800 °C and the heat rate of 480 ... 2000 °C/min. The kinetic parameters and temperature maxima were determined necessary for individual phenols, volatile acids and reactive water formation.

В настоящее время наметилась тенденция применения скоростных методов пиролиза древесного сырья (ультрапиролиз, гидропиролиз, оксипиролиз, электротермия и др.) с целенаправленным получением синтез-газа, жидкого топлива, углеродных сорбентов и других специфических форм технического углерода [5–7, 9–12]. В данных способах приоритетное значение имеют место такие факторы, как температура пиролиза и реакционной зоны, скорость и метод нагрева, продолжительность пребывания парогазов и сырья в реакционной зоне, среда пиролиза, а также характер и количество используемого катализатора.

Для исследования процессов термораспада и определения кинетических параметров при скоростном пиролизе общепринятые методы термогравиметрического анализа фактически не приемлемы ввиду инерционности измерения массы и возрастающего влияния флуктуации газовой среды на весовое устройство. Поэтому при скорости нагрева свыше 50 °С/мин более предпочтительны методы пиролитической газовой хроматографии (ПГХ) с фиксацией общего количества выделяющихся летучих продуктов пиролиза. В свою очередь инертная среда, масса исследуемых образцов (менее 10 мг), точная регулировка температурного режима и продолжительность пребывания парогазов и образца в реакционной зоне позволяют предположить первичный характер их образования.

Наряду с изучением кинетических параметров существенным преимуществом ПГХ является возможность непосредственного количественного определения индивидуальных ингредиентов парогазов. При изучении процесса пиролиза древесины и ее компонентов ПГХ – наиболее информативный метод, так как до 80 % конечных продуктов термического разложения имеют газообразное состояние. Основные требования при этом – воспроизводимость получаемых результатов и четкое разделение образующихся летучих ингредиентов.

В данной работе проведено уточнение ранее полученных результатов [8] с изучением формальной кинетики пиролиза древесины и ее компонентов на установке, которая позволяет регистрировать динамику количественного выхода летучих продуктов по времени и проводить их анализ методом двухмерной газовой хроматографии (рис. 1).

В экспериментальной части использовали систему пиролизер – байпас с продувкой реактора, а для разделения компонентов парогазовой смеси – сочетание ГЖХ и ГАХ с программированием температуры хроматографических колонок.

Пиролиз образцов проводили в ячейке PYR-1 проточного типа (емкость 3 см<sup>3</sup>). Навеску образца массой примерно 7 мг помещали в кварцевую капсулу с термопарой ХА и вводили в холодную часть реактора, где выдерживали по времени до стабильной нулевой линии катарометра 1 (стадия продувки). Затем подготовленную пробу передвигали в зону пиролиза реактора с заданной температурой. В процессе нагрева фиксировали температуру образца (на КСП-4) и динамику выхода летучих продуктов термического разложения (стадия пиролиза) по времени.

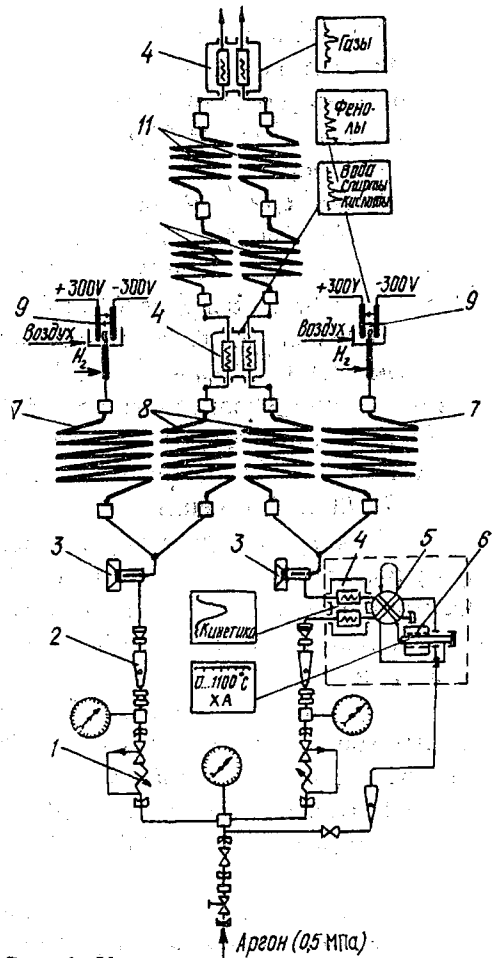


Рис. 1. Установка для изучения кинетики пиролиза: 1 – регулятор постоянного расхода газа-носителя; 2 – ротаметр; 3 – испаритель-дозатор; 4 – детектор Г-26; 5 – кран-переключатель; 6 – пиролизер с байпасной линией; 7 – колонка разделения фенольных компонентов; 8 – колонка разделения водо-спиртокислотной фракции; 9 – детектор ДИП; 10 – колонка-хемосорбент; 11 – колонка разделения неконденсируемых газов

Парогазы пиролиза через пропорциональный делитель потока газаносителя поступали в систему с параллельно-последовательными хроматографическими колонками для разделения и количественного определения индивидуальных компонентов (стадия анализа).

Для определения состава фракций неконденсируемых газов и легкокипящих ингредиентов применяли схему последовательного соединения колонок. Так, воду и спирто-кислотную часть разделяли на колонке (пирекс, длина  $L = 2,5$  м, диаметр  $D = 3$  мм; 5 %-й ПДЭГИФ на хромосорбе  $G$ , 80 ... 100 меш.). Для удаления конденсирующихся соединений из фракции перед колонкой анализа неконденсируемых газов (пирекс,  $L = 2,5$  м,  $D = 3$  мм; АУ СКТ, фракция 0,25 ... 0,30 мм) установлена ловушка с ангидроном. Состав высококипящих компонентов парогазов (фенольная часть) определяли по дифференциальной схеме с пламенно-ионизационным детектором на колонках (пирекс,  $L = 2,5$  м,  $D = 3$  мм; 5 %-й ПФСМ-6 на хромосорбе  $G$ , 100 ... 120 меш.).

Температура детекторов и дозатора  $300$  °С. Температуру колонок программировали от  $50$  до  $250$  °С со скоростью  $6$  °С/мин. В качестве газаносителя использовали гелий с расходами в пиролизере, хроматографических колонках и компенсационных потоках соответственно  $70$ ,  $35$  и  $35$  мл/мин.

Предварительными опытами было установлено, что характер получаемых хроматографических спектров зависит от времени выдержки капсулы в реакторе. Экспериментально найдено, что для получения воспроизводимых результатов это время должно соответствовать выделению  $90$  % летучих продуктов деструкции от их суммарного выхода по показаниям катамометра-пиролизера.

Для идентификации элюируемых компонентов в работе использовали метод добавок, причем для уточнения хроматографических спектров и температур элюирования ввод свидетелей осуществляли через дозатор 3 газовой линии пиролизер – хроматографические колонки. Для количественного определения преобладающих элюируемых ингредиентов парогазов применен метод абсолютной калибровки показаний детекторов по  $\text{CO}_2$ , воде, уксусной кислоте и гваяколу.

На полученных хроматограммах фиксируется число компонентов: фенольных – до 51; содержащихся в водо-спиртокислотной фракции – не менее 22; входящих в состав неконденсируемых газов – 7.

Изучение кинетики скоростного пиролиза проводили на древесине березы и выделенных из нее компонентах (ксилан, целлюлоза, диоксанлигнин) в температурном интервале  $300$  ...  $800$  °С с шагом  $50$  °С. Экспериментальные данные показывают, что с повышением температуры реакционной зоны скорость нагрева возрастает от  $480$  до  $2000$  °С/мин, время разложения  $\tau$  образцов снижается с  $80$  до  $5$  с (рис. 2, а). Максимальный выход летучих веществ (определен по разнице с нелетучими компонентами) при



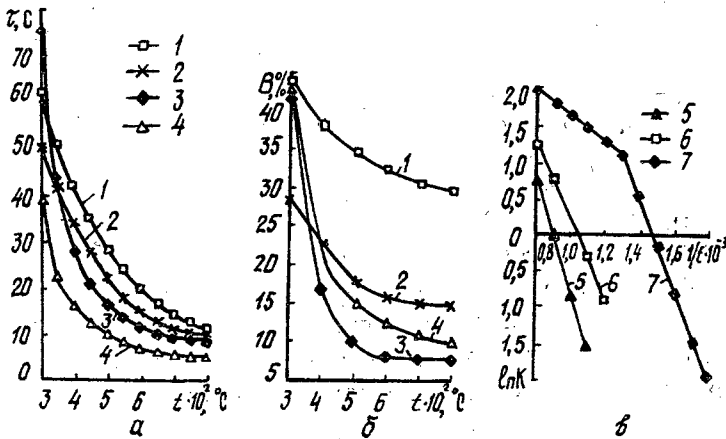


Рис. 2. Влияние температуры  $t$  пиролиза березовой древесины и ее компонентов на продолжительность разложения  $\tau$  (а), выход нелетучего остатка  $B$  (б) и кинетику разложения (в) ( $K$  – константа скорости реакций): 1 – лигнин; 2 – древесина; 3 – целлюлоза; 4 – ксилан; 5 –  $\alpha = 0,5$  и  $E_{эф} = 58,8$ ; 6 –  $0,3$  и  $46,2$ ; 7 –  $0,1$  и  $12,6(I)$ ;  $0,1$  и  $56,8$  (II)

температуре  $t = 800$  °С наблюдается (рис. 2, б) для целлюлозы (91,8 %), минимальный – для диоксанлигнина (72,0 %).

Обработку получаемых кинетических данных пиролиза проводили на основании уравнения Ерофеева–Казеева по методике [1]. Результаты расчетов пиролиза до степени превращения 50 % показывают, что реакции термодеструкции протекают в кинетической области и при значении кинетической константы  $m > 1$ . С повышением температуры наблюдается тенденция к увеличению значений  $m$  при последующих степенях превращения. Аналогичная закономерность характерна и для выделенных ксилана, целлюлозы, лигнина.

При графическом определении констант скоростей реакций по уравнению  $\ln(-\ln(1 - \alpha)) = f(\ln t)$  наблюдался значительный разброс найденных значений. Поэтому в качестве эффективной энергии активации  $E_{эф}$  использовали величины, полученные из зависимости

$$\ln d\alpha/dt = f(\ln(1 - \alpha)).$$

Графики Аррениуса для различной степени превращения древесины приведены на рис. 2, в.

По экспериментальным данным для всех степеней превращения древесины до  $t = 800$  °С определены кинетические параметры по Ерофееву–Казееву:  $m = 1,33$ ,  $n = 0,25$ ,  $z = 1,82$ . Уравнение кинетики скоростного пиролиза можно представить в виде

$$d\alpha/dt = 0,6 (1 - \alpha)^{0,25} \exp^{36\,600/RT}$$

Рассчитанные значения  $E_{эф}$  для ксилана, целлюлозы, лигнина и древесины соответственно находятся в пределах: 41,2 ... 56,3; 38,1 ... 51,3; 36,6 ... 55,8 и 58,8 ... 71,3 кДж/моль. Из полученных данных видно, что при исследовании формальной кинетики по предлагаемой методике получены низкие значения  $E_{эф}$ , так как общепринятыми величинами считаются 120 ... 224 кДж/моль, причем последнее значение относят именно к пиролизу целлюлозы.

Существенной особенностью проведенных опытов является интенсивный подвод удельной тепловой энергии, что обеспечивает нагрев образцов со скоростью, сопоставимой с ультрапиролизом. Факт снижения  $E_{эф}$  с увеличением скорости нагрева отмечен неоднократно и подтвержден нами экспериментально. Следует также отметить закономерность увеличения  $E_{эф}$  с 12,6 до 58,8 кДж/моль с возрастанием степени деструкции именно при максимальных скоростях нагрева. Как следует из полученных данных, формальный порядок реакции для всех исследуемых образцов в значительной степени определяется степенью превращения и температурой пиролиза. В свою очередь, данный факт подтверждает сложность и многовариантность самого процесса пиролиза, даже в случае пиролиза выделенных компонентов древесины.

Результаты изменения качественного и количественного состава основных летучих ингредиентов пиролиза древесины представлены на рис. 3, где четко прослеживается появление температурных максимумов образования метоксифенолов (450 ... 550 °С), уксусной кислоты (400 ... 500 °С),  $H_2$  и  $CO$  (700 ... 800 °С). Весьма неожиданным оказалось наличие такого максимума и для реакционной воды в интервале 500 ... 600 °С (рис. 3, в), что

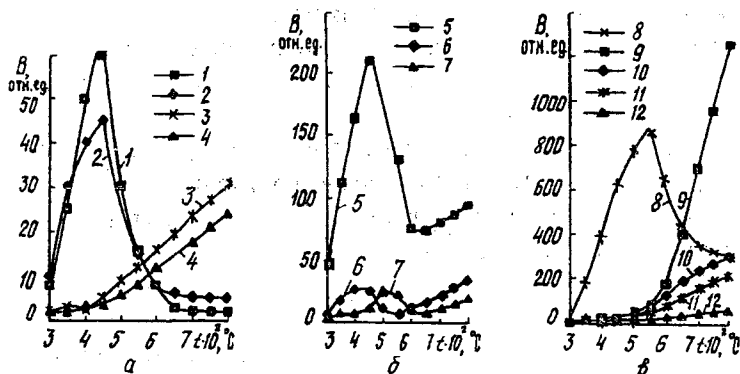


Рис. 3. Влияние температуры пиролиза березовой древесины на относительный выход  $B$  и состав фенолов (а), летучих кислот (б), неконденсируемых газов и реакционной воды (в): 1 – 2,6-диметоксифенол, 2 – гваякол, 3 – крезолы, 4 – ксиленолы, 5 – уксусная кислота, 6 – муравьиная кислота, 7 – пропионовая кислота, 8 – реакционная вода, 9 –  $H_2$ , 10 –  $CO$ , 11 –  $CH_4$ , 12 –  $CO_2$

также подтверждает изменение механизма термораспада при термоударе. Оптимальный температурный интервал 400 ... 500 °С при пиролизе древесины для максимального выхода суммарных фенолов отмечен ранее [2, 4].

Необходимо учитывать, что при температуре реактора свыше 500 °С первичные продукты реакции пиролиза подвергаются вторичному крекингу [3]. Это может в значительной степени исказить кинетику процесса первичного выделения летучих веществ и привести к снижению фиксируемой величины  $E_{эф}$ .

Причины, обуславливающие получение нами низких значений энергии активации, по-видимому, могут быть выяснены при проведении кинетического анализа по предлагаемой методике в более узких температурных интервалах с меньшим шагом, а также при более подробном качественном и количественном анализе выделяющихся летучих продуктов с использованием масс-спектропии.

### Выводы

1. Показано определяющее влияние температурного интервала 450 ... 550 °С на выход угольного остатка при пиролизе березовой древесины и ее компонентов.

2. Начальная фаза пиролиза древесины ( $\alpha = 0,1$ ) соответствует реакциям с высокими значениями  $E_{эф}$  в интервале относительно низких скоростей нагрева и температур реакционной зоны.

3. В интервале скоростей нагрева 1500 ... 2000 °С/мин увеличение степени превращения древесины сопровождается возрастанием  $E_{эф}$ .

4. Найдены температурные максимумы образования индивидуальных фенолов, летучих кислот и реакционной воды при пиролизе березовой древесины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. Сер. Химические науки. - 1978. - Вып. 3. - С. 28-32. [2]. Коптильные жидкости из древесных пиролизатов / А.А. Ливеровский, Э.И. Шмулевская, Р.М. Вздорникова, Е.И. Пенкина // Гидролизн. и лесохим. пром-сть. - 1967. - № 6. - С. 18-24. [3]. Кравченко М.И., Киприанов А.И., Коротков С.Я. О кинетических закономерностях реакции термического превращения гваякола и вератрола // Процессы химической технологии древесины и продуктов её переработки. - Л.: ЛТА, 1970. - В.2, № 135. - С. 60-64. [4]. Левин Э.Д., Чупрова Н.А., Малков Г.А. Пиролиз коры лиственницы во взвешенном слое // Гидролизн. и лесохим. пром-сть. - 1978. - № 3. - С. 15-16. [5]. Пиролиз древесины в низкотемпературной плазме / В.Н. Пиялкин, А.П. Никкинен, В.М. Зайцев, В.А. Федоров // Лесохимия и подсочка: Науч.-техн. реф. сб./ВНИПИЭлеспром. - 1973. - № 8. - С. 1-12. [6]. Пиялкин В.Н., Зайцев В.М., Атрошко В.В. Интенсификация процесса пиролиза измельченной древесины при повышенной температуре // Лесохимия и подсочка: Науч.-техн. реф. сб. / ВНИПИЭлеспром. - 1975. - № 10. - С. 13-14. [7]. Пиялкин В.Н., Федоров В.А., Славянский А.К. Применение электрического тока для пиролиза древесины // Лесохимия и подсочка:

Науч.- техн. реф. сб. / ВНИПИЭлеспром. - 1974. - № 7. - С. 7-8. [8]. Федоров В.А. и др. Хроматографический анализ в химии древесины. - Рига: Зинатне, 1975. - С. 243-248. [9]. Graham R.E., Bergougnou M.A., Overend R.P. Fast pyrolysis of biomass // J. Anal. and Appl. Pyroli. - 1984. - Vol. 6. - P. 95-135. [10]. Rodriguez R., Magne P., Deglise X. Sugar cane bagasse as a feedstock for an industrial fast pyrolysis process under development // J. Anal. and Appl. Pyroli. - 1987. Vol.12, N 3. - P. 301-308. [11]. Scott D.S., Piskorz J., Bergougnou M.A. The role of temperature in the fast pyrolysis of cellulose and wood // Ind. and Eng. Chem. Res. - 1988. - Vol. 27, N 1. - P. 8-15. [12]. Sivell A., Beeckman J., Webster A. Uitrarapid pyrolysis of biomass using an efectrical discharge // J. Anal. and Appl. Pyroli. - 1984. - Vol. 7, N 1-2. - P. 185-191.

Поступила 5 ноября 1999 г.

УДК 543.257

*А.М. АЙЗЕНШТАДТ, К.Г. БОГОЛИЦЫН*

Архангельский государственный технический университет



Айзенштадт Аркадий Михайлович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 80 печатных трудов в области теории растворов.



Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической и коллоидной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии при АГТУ, член-корреспондент РИА и РАИН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 200 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СУЛЬФАТОВ ЖЕЛЕЗА В КАЧЕСТВЕ МЕДИАТОРА В КОСВЕННОЙ ОКСРЕДМЕТРИИ**

Спектрофотометрическим методом исследована устойчивость сернокислых растворов сульфатов железа (II, III). Изучено влияние ионной силы, соотношения концентраций Ox- и Red-форм на окислительный потенциал системы.

The stability of ferrum sulphate (II, III) solutions has been investigated by spectrophotometric method. The effect of the ionic strength, ratio of ox- and red- form concentration on the system's oxidation potential has been studied.

В настоящее время получили широкое применение в практике окредметрии окислительно-восстановительные системы (ОВС) на основе цианокомплексов железа (II, III) и сульфатов церия (III, IV) [2]. Однако эффективность использования той или иной системы для изучения окислительно-восстановительных реакций, лежащих в основе технологических процессов (например делигнификации древесины) и окислительных превращений компонентов природных или сточных вод, определяется в основном стандартным окислительно-восстановительным потенциалом ОВС и окислительно-восстановительным потенциалом объекта окисления.

При исследовании технологических сред предприятий химической переработки древесины, где потенциалопределяющими компонентами являются лигнин и его производные, установлено, что способность к окислению лимитируется величиной потенциала ионизации (ПИ) фрагментов их макромолекул [3]. Определение ПИ родственных лигнину соединений, выполненное авторами [3], показало, что снижение данного параметра повышает способность лигнинных фрагментов окисляться. Следовательно окислительно-восстановительные свойства лигнина как природного редокс-полимера функционально связаны с величиной ПИ. Авторами [1] установлена функциональная связь между ПИ и эффективным окислительно-восстановительным потенциалом  $E^*_0$  модельных соединений структурного звена лигнина, которая выражается уравнением

$$E^*_0 = 501,6\text{ПИ} - 3407.$$

При этом  $E^*_0$  рассчитывали по характеристикам неорганического медиатора.

В выполненных за последнее время многочисленных исследованиях по применению различных веществ в качестве катализаторов процесса делигнификации древесины основное внимание уделялось тем, которые обладают окислительно-восстановительными свойствами [4 – 9, 12 – 18]. Авторы [17, 18] предлагают для этой цели антрахинон как наиболее эффективный катализатор делигнификации, окислительно-восстановительный потенциал которого равен 0,154 В. В работе [12] отмечается, что эффективными катализаторами делигнификации являются органические соединения, у которых окислительно-восстановительный потенциал находится в пределах 0,10 ... 0,25 В.

Однако исследования [4–6, 13–15] показали возможность использования неорганических ОВС на основе металлов переменной валентности в качестве каталитических добавок при проведении управляемых редокс-превращений различных органических природных и синтетических полимеров.

Окислительно-восстановительные реакции, катализируемые ионами переходных металлов, характеризуются большой склонностью к образованию комплексных соединений, способных изменять степень окисления в растворе [7, 16]. Давно установлено катализирующее действие соединений переходных металлов в радикальных реакциях окисления [8]. Добавки солей металлов переменной валентности (марганца, железа, кобальта, меди), катализирующих реакции окисления, широко применяют в лабораторных исследованиях и технологических процессах. Для многих случаев было показано, что роль добавленных солей сводится к ускорению образования радикалов.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что активность лигнина (или его компонентов) в реакциях редокс-взаимодействия определяется величиной окислительно-восстановительного потенциала как его макромолекулы, так и окислителя, а в случае использования при этом оксредметрического подхода – потенциала медиатора.

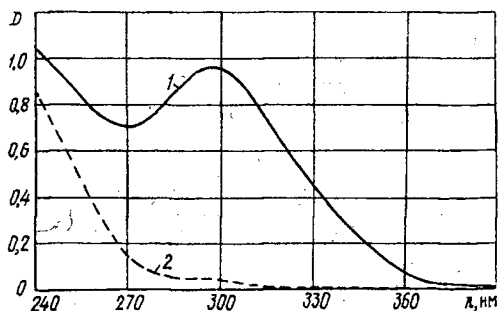
Одной из новых и, на наш взгляд, перспективных в плане каталитического ускорения процесса делигнификации и одновременного применения в качестве медиатора при разработке оксредметрического способа индикации оксред-превращений в реакционной среде является ОВС на основе сульфатов железа (II, III). Обладая термодинамической обратимостью и сравнительно высоким значением окислительного потенциала (0,771 В) [11], она доступна и проста в использовании.

Одно из основных требований, предъявляемых к ОВС, – устойчивость составляющих ее компонентов. Считается установленным фактом образование в водных растворах сульфата железа (III) моноядерного гексааквокомплекса  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ , который постепенно превращается в полиядерный гидроксокомплекс (ПЯГК) [10, 19], причем нестабильность состава растворов  $\text{Fe}^{3+}$  определяется кинетикой этого перехода. При этом скорость образования ПЯГК зависит от концентрации кислоты, используемой в качестве растворителя, поэтому одна из задач данного исследования – определить граничную концентрацию  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , при которой процесс образования ПЯГК можно считать остановленным.

### *Экспериментальная часть*

Экспериментальная установка включала термостатированную при температуре  $(25,0 \pm 0,2)$  °С стеклянную ячейку со встроенным платиновым (ЭПВ-1) и хлорсеребряным (ЭВЛ-1М3) электродами, подключенными к номеру И-130. Измерение оптической плотности (процента пропускания) раствора, поступающего из реакционной ячейки в проточную кварцевую кювету толщиной 0,5 см с помощью перистальтического насоса, проводили на спектрофотометре Specord M-40. Концентрация сульфата железа (III) в ячейке составляла  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Для удаления кислорода из раствора в ячейку через систему очистки подавали аргон при постоянном перемешивании раствора с помощью магнитной мешалки. Перед растворением навески соли сульфата железа (III) осуществляли продувку растворителя аргоном в

Рис. 1. Спектры поглощения сернокислых (концентрация кислоты 0,5 М) растворов сульфата железа: 1 – железо (III) концентрацией  $4 \cdot 10^{-3}$  моль/л; 2 – железо (II) концентрацией  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л ( $\lambda$  – длина волны)



течение 20 мин. Через 10 минут после внесения навески соли подачу инертного газа в раствор прекращали, и далее, в течение всего эксперимента, аргон подавали в реакционную ячейку над раствором. Оптическую плотность по характеристической полосе исследуемых растворов с различной (0,0 ... 0,1 моль/л) концентрацией серной кислоты  $[\text{H}_2\text{SO}_4]$  записывали на протяжении пяти часов.

Стабильность состава растворов сульфата железа (III) может быть подтверждена постоянством значений коэффициента молярного поглощения  $\epsilon$  этих растворов при различной концентрации растворителя. На рис. 1 приведен общий вид спектров растворов сульфата железа (II, III), которые указывают на наличие характеристической полосы при 303 нм, причем, как показали эксперименты по определению  $\epsilon$ , оптическая плотность при данной длине волны подчиняется закону Бугера–Ламберта–Бееера. Рассчитанные по экспериментальным данным значения  $\epsilon$  для 0,001 М растворов  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  при различной концентрации серной кислоты приведены в таблице.

$[\text{H}_2\text{SO}_4]$ , моль/л	$\epsilon$ , л/(моль · см)	$[\text{H}_2\text{SO}_4]$ , моль/л	$\epsilon$ , л/(моль · см)
0,000	$3122 \pm 52$	0,010	$2949 \pm 28$
0,001	$2784 \pm 15$	0,020	$2935 \pm 17$
0,002	$2804 \pm 24$	0,050	$2918 \pm 16$
0,005	$2813 \pm 19$	0,100	$2960 \pm 47$

На рис. 2 представлена зависимость  $\epsilon = f([\text{H}_2\text{SO}_4])$ . Аппроксимация линейных участков этой кривой уравнениями прямой линии показала, что общим решением для них является точка, соответствующая концентрации кислоты  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Аналитические уравнения данной зависимости для диапазонов концентраций серной кислоты имеют следующий вид:

при  $[\text{H}_2\text{SO}_4] = (0,1 \dots 1,0) \cdot 10^{-2}$  моль/л

$$\epsilon = 17796[\text{H}_2\text{SO}_4] + 2757,4 \text{ (коэффициент корреляции } 0,91);$$

при  $[\text{H}_2\text{SO}_4] = (1,0 \dots 10,0) \cdot 10^{-2}$  моль/л

$$\epsilon = 163[\text{H}_2\text{SO}_4] + 2933,2 \text{ (коэффициент корреляции } 0,73).$$

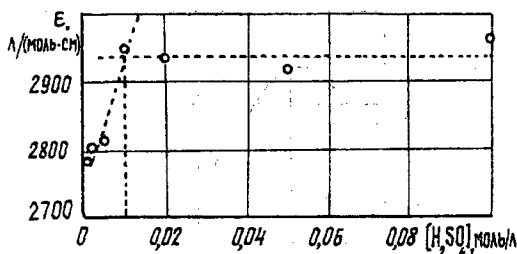


Рис. 2. Зависимость коэффициента молярного поглощения сернокислых растворов сульфата железа (III) от концентрации серной кислоты  $[H_2SO_4]$

Полученные коэффициенты молярного поглощения растворов сульфата железа (III) при различной концентрации серной кислоты позволили рассчитать по спектральным данным изменение концентрации  $Fe_2(SO_4)_3$  во времени. На рис. 3 представлено изменение относительной концентрации сульфата железа (III) через 30 мин ( $C_{30}$  – концентрация при полном растворении навески  $Fe_2(SO_4)_3$  с принудительным перемешиванием в течение 30 мин;  $C_0$  – концентрация  $Fe_2(SO_4)_3$ , задаваемая навеской) после начала эксперимента ( $(C_0 - C_{30})/C_0$  – функция от концентрации серной кислоты, используемой в качестве растворителя).

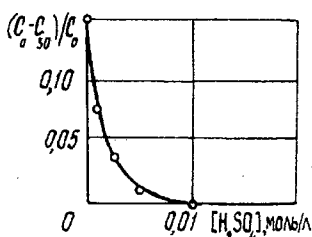


Рис. 3. Зависимость относительной концентрации сернокислых растворов сульфата железа (III) от концентрации серной кислоты

Таким образом, растворы сульфата железа (III) в серной кислоте концентрацией не ниже  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л можно считать стабильными по составу.

Спектры раствора сульфата железа (II), записанные на спектрофотометре СФ-26 в воде и серной кислоте (концентрация кислоты  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л), приведены на рис. 4. Полученные данные показывают, что сернокислые растворы  $FeSO_4$  практически стабильны. Уменьшение поглощения водных растворов сульфата железа (II) связано, по всей видимости, с протеканием процесса гидролиза соли. Подтверждением данного факта является образование желтого кристаллического осадка основной соли.

Таким образом, проведенный эксперимент показал, что для создания устойчивой ОВС на основе сульфатов железа (II, III) концентрация серной кислоты, используемой в качестве растворителя, должна быть не ниже  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

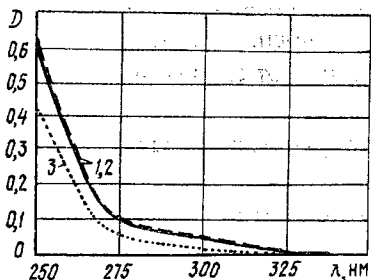
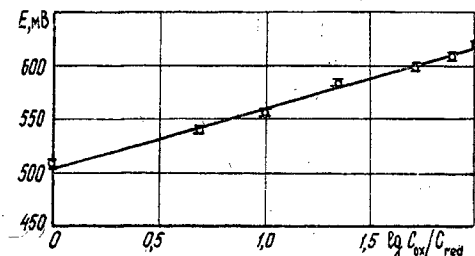


Рис. 4. Спектры поглощения растворов сульфата железа (II) концентрацией  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л: 1, 3 – в воде сразу после растворения навески соли и через 72 ч соответственно; 2 – в 0,01 М серной кислоте сразу после растворения навески соли и через 72 ч



Рис. 5. Зависимость потенциала  $E$  для ОВС на основе сульфатов железа (II, III) от  $\lg(C_{\text{Ox}}/C_{\text{Red}})$  ( $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 1 \cdot 10^{-2}$  моль/л;  $C_{\text{Ox}} + C_{\text{Red}} = 2 \cdot 10^{-3}$  моль/л)



Другим критерием оценки эффективности использования ОВС в качестве медиатора для метода косвенной оксидометрии является подчиненность ее окислительного потенциала уравнению Нернста. Нами установлена зависимость  $E = f(C_{\text{Ox}}/C_{\text{Red}})$  для исследуемой системы. Эксперименты проводили на вышеописанной установке (без записи спектров) при  $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 1 \cdot 10^{-2}$  моль/л и температуре  $t = (25,0 \pm 0,2)$  °С. Условие  $C_{\text{Ox}} + C_{\text{Red}} = 2 \cdot 10^{-3}$  моль/л выдержано во всех экспериментах; диапазон соотношения концентраций Ох- и Red-форм составил от 100:1 до 1:1; точность измерения потенциала  $\pm 2$  мВ.

На рис. 5 приведена зависимость  $E = f(\lg C_{\text{Ox}}/C_{\text{Red}})$ , полученная на основании экспериментальных данных. Аналитическое выражение для нее имеет следующий вид:

$$E = 57,7 \lg(C_{\text{Ox}}/C_{\text{Red}}) + 502.$$

Здесь коэффициент корреляции равен 0,99. Значение углового коэффициента этого уравнения близко к теоретическому для данных условий эксперимента, что может свидетельствовать о существовании в исследуемой ОВС равновесия типа  $\text{Ox} + e \leftrightarrow \text{Red}$ . На рис. 6 представлена зависимость потенциала окислительно-восстановительной системы  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3/\text{FeSO}_4$

от  $\sqrt{I}$  ( $I$  – ионная сила раствора). Ионную силу задавали путем добавки в раствор ОВС соответствующей навески сульфата натрия. Для исследований использовали ОВС с соотношением концентраций Ох- и Red- форм 1:1 ( $C_{\text{Ox}} + C_{\text{Red}} = 2 \cdot 10^{-3}$ ), приготовленную на серной кислоте концентрацией  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л; температура эксперимента  $(25,0 \pm 0,2)$  °С. Методом наименьших квадратов для данной зависимости получено аналитическое выражение:  $E = -53,7 \sqrt{I} + 545$  (коэффициент корреляции 0,94).

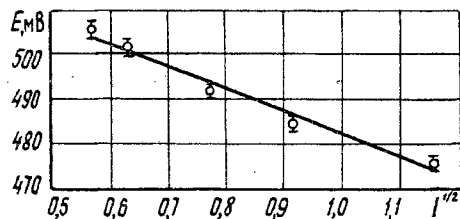


Рис. 6. Зависимость  $E$  для ОВС на основе сульфатов железа (II, III) от ионной силы раствора  $I$  ( $C_{\text{Ox}} + C_{\text{Red}} = 2 \cdot 10^{-3}$ ,  $C_{\text{Ox}}/C_{\text{Red}} = 1:1$ )

#### Вывод

Окислительно-восстановительная система на основе сульфатов железа (II, III), приготовленная на  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрацией не ниже  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л,

подчиняется уравнению Нернста в диапазоне соотношения концентраций Ох- и Red-форм ОВС от 1 : 1 до 100 : 1 и может быть использована в качестве медиатора в методе косвенной оксредметрии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Айзенштадт А.М., Богданов М.В., Боголицын К.Г. Реакционная способность модельных соединений структурного звена лигнина // Лесн. журн. - 1998. - № 2-3. - С. 83-89. - (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Боголицын К.Г., Крунчак В.Г. Теория и практика применения оксредметрии в химии древесины // Химия древесины. - 1989. - № 6. - С. 59-70. [3]. Вертикальные потенциалы ионизации родственных лигнину соединений / С.М. Шевченко, М.Я. Зарубин, Б. Ковач и др. // Химия древесины. - 1990. - № 3. - С. 68-71. [4]. Допкина Е.И. Ванадиевые катализаторы для окисления диоксида серы // ЖПХ. - 1996. - № 6. - С. 942-945. [5]. Каталитическое окисление древесины и ее компонентов в условиях окислительных способов делигнификации. I. Влияние феррицианида калия на скорость окисления древесины и ее компонентов/ Э.И. Чупка, С.Ж. Трофимова, С.В. Егорова, И.М. Лужанская // Химия древесины. - 1991. - № 5. - С. 19-25. [6]. Каталитический термолиз древесины осины в присутствии серной кислоты и сульфатов железа, кобальта и алюминия при повышенном давлении / А.А. Ефремов, Т.А. Слащигин, Е.Д. Корниец, Б.Н. Кузнецов // Химия древесины. - 1990. - № 5. - С. 57-60. [7]. Корнеева Г.А., Ежова Н.Н., Сливинский Е.В. Карбонилирование ацетальдегида в присутствии соединений переходных металлов // Изв. РАН (серия химическая). - 1995. - № 3. - С. 570-571. [8]. Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В. Аналитическая химия: В 2 т. - М.: Химия, 1990. - Т. 1. - 480 с. [9]. Применение антрахинона и родственных соединений в качестве добавок при щелочной делигнификации древесины / Р.Н. Ковалевская, Ю.А. Бойко, М.А. Иванов, В.М. Крюков // Химия древесины. - 1981. - № 2. - С. 7-19. [10]. Пыхтев О.Ю., Ефимов А.А., Москвин Л.Н. Двойные синхронные *d-d* переходы в полиядерных гидросокомплексах железа (III) // ЖНХ. - 1990. - Т. 35, вып. 7. - С. 1734 - 1736. [11]. Рябов В.Д., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ: Справочник. - Л.: Химия, 1977. - 389 с. [12]. Чудаков М.И. Растительные редокс-комплексы как катализаторы делигнификации древесины // Химия древесины. - 1981. - № 6. - С. 3-18. [13]. Чупка Э.И., Лужанская И.М. Изменение концентрации анион-радикалов при ингибированном окислении лигнина // Химия древесины. - 1990. - № 4. - С. 51-56. [14]. Чупка Э.И., Трофимова С.Ж., Сергеев А.Д. Эффективность кислотного-основного катализа при окислении древесины в водно-органических средах. 2. Каталитическое и ферментативное окисление древесины и ее компонентов // Лесн. журн. - 1995. - № 4-5. - С.85-93. - (Изв. высш. учеб. заведений). [15]. Dimmel D.R. Electron transfer in pulping systems // J. Wood Chem. and Technol. - 1985. - Vol. 5, N 1. - P.1-14. [16]. Fellrton T.T., Ahern S.P. Salcomines a catalyst for oxygen delignification // TAPPI. - 1978. - Vol. 61, N 12. - P. 37-39. [17]. Holton H., Chapman F.L. Kraft pulping with anthraquinone // TAPPI. - 1977. - Vol. 60, N 11. - P.121-125. [18]. Holton H. Soda additive softwood pulping: major new process // Pulp and Paper. Mag. Canada. - 1977. - Vol. 78, N 10. - P. 19-24. [19]. Wendt H., Strehlow H. Schnell Ionenreaktionen in Losungen. II. Die Bildung einiger einfacher Komplexe des Eisen-III-ions // Z. Elektrochem. - 1962. - 66, N 3. - S. 228-234.

Поступила 8 января 1999 г.

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 630\*905.2.003

Н.П. ЧУПРОВ

СевНИИЛХ

**ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОМ ЗНАЧЕНИИ ДРЕВЕСНЫХ  
И НЕДРЕВЕСНЫХ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ  
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Показана экономическая и социальная роль древесных и недревесных лесных ресурсов Архангельской области. Сравнительная оценка выполнена по трем вариантам, на разных этапах использования ресурсов. Сделан вывод о ведущей роли древесных ресурсов в экономике области.

The economic and social role of wood and non-wood forest resources of the Arkhangelsk Region is shown. The comparative assessment is carried out according to three variants at different stages of resource utilization. A conclusion is drawn about the leading role of wood resources in the region's economy.

Европейский Север России, включая Архангельскую область, остается одним из основных лесопромышленных районов России. Из большого разнообразия имеющихся здесь лесных ресурсов на первое место по своему экономическому значению всегда ставилась древесина и продукция ее переработки. Ресурсы прижизненного пользования лесом (живица) и особенно побочного (грибы, ягоды, лекарственные растения и др.) все еще считаются второстепенными, хотя последние широко используются населением. Общие запасы древесины на корню в лесах области составляют 2 млрд м<sup>3</sup>, в том числе в спелых лесах, возможных для эксплуатации, в ликвиде 1,4 млрд м<sup>3</sup>. Действующая расчетная лесосека главного пользования установлена в размере 20,6 млн м<sup>3</sup>, лесосека неистощительного лесопользования 20,0 млн м<sup>3</sup> [4], в том числе без низкобонитетных лесов Va-Vб классов бонитета – 18,7 млн м<sup>3</sup>. Издавна Архангельскую область называли «всесоюзной лесопилкой, валютным цехом страны». Здесь построены крупнейшие в стране Архангельский, Соломбальский и Котласский ЦБК, в результате сложился крупный лесной комплекс, включающий почти все лесные отрасли.

Таблица 1

Продукция	Выработка продукции по годам				
	1950	1960	1970	1980	1990
Заготовка древесины (отпуск), млн м <sup>3</sup>	13,5	23,5	23,8	22,7	21,2
Пиломатериалы, млн м <sup>3</sup>	3,0	6,4	6,8	5,7	4,9
Целлюлоза, тыс. т	162	234	1036	2001	2154
Бумага, тыс. т	18	38	222	346	397
Картон, тыс. т	-	-	365	589	628
ДВП, млн м <sup>2</sup>	-	5,3	14,1	18,5	22,4
ДСП, тыс. м <sup>3</sup>	-	6,5	67,7	135,0	149,4
Фанера, тыс. м <sup>3</sup>	-	-	-	50,1	50,4
Спирт, млн дкл	-	2,5	5,3	4,8	2,8

Таблица 2

Год	Объем потребления, млн м <sup>3</sup> , по направлениям							
	Всего	Итого	Круглый лес		Древесные отходы			
			в том числе в переработку		от лесопиления и деревообработки*		от лесозаготовок	
			в лесопилении	в ЦБП	всего	в том числе в переработку	всего	в том числе в переработку
1960	18,8	11,4	9,9	1,0	0,2	-	-	-
1965	21,1	14,5	11,7	2,3	2,3	0,8	-	-
1970	22,0	15,7	11,1	3,8	3,1	1,8	-	-
1975	24,0	18,2	11,8	5,6	5,3	3,4	0,5	0,5
1980	23,0	19,3	10,6	8,1	4,4	2,8	0,4	0,2
1985	22,9	18,7	10,0	7,5	4,6	3,2	0,4	0,3
1990	22,0	17,3	9,7	7,4	4,1	3,2	0,4	-

\* С учетом привозной технологической щепы.

Объемы продукции комплекса приведены в табл. 1. Лесозаготовки и лесопиление достигли максимума в 1975 г. В связи с перерубом расчетных лесосек по главному пользованию объем лесозаготовок к 1990 г. снизился до 21,2 млн м<sup>3</sup>, а лесопиления до 4,9 млн м<sup>3</sup>, но производство продукции химико-механической переработки увеличивалось до 1990 г. В 1970–1990 гг. доля лесопромышленного комплекса во всей валовой промышленной продукции области составляла около 40 %.

Объемы внутриобластного потребления древесины показаны в табл. 2. С 1960 г. по 1975 г. потребление круглого леса увеличилось с 18,8 до 24 млн м<sup>3</sup>, но снизилось до 22 млн м<sup>3</sup> в 1990 г.

Древесина в круглом виде и продукция ее переработки всегда шли в больших объемах в другие области страны и на экспорт во многие страны. В 1990 г., в самом начале перестройки, из области было вывезено 4,2 млн м<sup>3</sup> круглого леса, в основном в виде пиловочника, стройлеса, балансов. Одновременно поступило сплавом из соседних областей 2,0 млн м<sup>3</sup>

Таблица 3

Статья	Баланс производства и распределения круглого леса, млн м <sup>3</sup>	
	Всего	В том числе деловой
<b>Ресурсы</b>		
От рубок главного пользования в области*	22,0	18,9
Поступление из других областей	2,0	1,8
Переходящие остатки	4,5	3,8
<b>Итого</b>	<b>28,5</b>	<b>24,5</b>
<b>Распределение</b>		
Потреблено внутри области	22,0	18,7
В том числе:		
механическая и химическая переработка	17,3	17,0
выработка рудничных стоек	0,3	0,3
использование в круглом виде	1,4	1,4
на топливо	3,0	-
Вывоз в другие области и на экспорт	4,2	4,2
Переходящие остатки	2,3	1,6
<b>Итого</b>	<b>28,5</b>	<b>24,5</b>

\* По данным ТПО Архангельсклеспром.

Таблица 4

Вид продукции	Биологический запас, тыс. т	Доступные к заготовке ресурсы, тыс. т	
		Всего	Товарная часть
Ягоды всех видов	91,2	45,6	33,6
В том числе:			
брусника	15,0	7,5	6,8
черника	49,4	24,7	14,8
клюква	11,2	5,6	5,0
Грибы всех видов	39,6	9,8	5,1...9,8
В том числе:			
волнушки (для соления)	20,0	5,0	2,5...5,0
подосиновики	19,6	4,8	2,4...4,8

круглого леса (табл. 3). Продукция же переработки древесины почти вся вывозилась в другие районы страны и на экспорт.

В качестве топлива местным населением и в производстве использовалось ежегодно около 3 млн м<sup>3</sup> круглого леса, 1,5 млн м<sup>3</sup> отходов лесопиления и деревообработки и 0,1 ... 0,4 млн м<sup>3</sup> отходов лесозаготовок.

В период же перестройки и перехода к рынку объемы лесопромышленного производства в области резко сократились: лесозаготовок и лесопиления в 3 раза, целлюлозы в 1,5–2,0 раза. Соответственно снизились объемы потребления древесины на технологические цели, капитальное строительство, ремонт.

Из ресурсов побочного пользования лесом в области всегда довольно широко использовались, в основном местным населением, ягоды и

грибы. Их наличие, продуктивность по типам леса, объем среднегодовых ресурсов в области изучен сотрудниками СевНИИЛХа [1–3]. При этом урожаем оценивается по трем категориям: биологический принимается за 100 %; доступные к заготовке (по условиям транспорта) ресурсы – 50 % от биологического урожая; из них товарная часть – 50 ... 90 % в зависимости от вида грибов и ягод. Среднегодовой объем основных видов этих ресурсов в области, по данным исследований [1–3], показан в табл. 4.

Централизованный сбор ягод и грибов в лесах практически не производится, но закупкой этой продукции, собранной населением, с 30-х гг. занималась потребительская кооперация. С 60-х гг. к закупке подключилось около 10 заготовительных систем, включая Облрыболовпотребсоюз, областное управление лесами, отделы рабочего снабжения при лесных предприятиях, областное управление охотничье-промыслового хозяйства, управление пищевой промышленности, местные отделы торговли, тресты столовых.

В 1971–1980 гг. в области было централизованно закуплено у населения 152 т грибов и 389 т ягод (в среднем в год соответственно по 15,2 и 38,9 т). Перед перестройкой (1981–1985 гг.) у населения было закуплено 206 т грибов и 572 т ягод (в среднем в год по 41,2 и 114,4 т). Таким образом, в этот период использовалось централизованно заготовительными организациями области лишь 0,4 ... 0,5 % товарных ресурсов. Закупленные у населения грибы и ягоды перерабатывали в мелких цехах закупочных организаций. Фактические объемы сбора и использования грибов и ягод населением области во много раз превышают централизованное использование, но их точные объемы неизвестны.

В настоящее время организованных закупок этой продукции у населения практически нет, тогда как сбор грибов и ягод населением значительно увеличился. Значительная часть собранных ягод и грибов продается в частном порядке на рынках, станциях железных дорог по свободным ценам. Но в целом ресурсы грибов и ягод в области используются далеко не полностью.

В рыночной экономике имеются большие возможности для частного предпринимательства, организации товариществ, кооперативов по закупке у населения грибов и ягод, создания специальных цехов по их переработке и сбыту. Население готово собирать и продавать эту продукцию в больших объемах. В урожайные годы объем закупок может быть очень большим, а закупочные цены сравнительно невысокими. Для решения этой проблемы необходимы инициатива и активные усилия предпринимателей и относительно небольшие капиталовложения в строительство цехов по переработке, транспорт и др. Цеха по закупке, переработке и реализации грибов и ягод могут быть организованы и восстановлены в лесхозах, леспромхозах, предприятиях пищевой промышленности и др. Сбыт переработанных грибов и ягод при их высоком качестве реален в больших объемах как внутри области, так и в крупных городах центра России и на экспорт.

В последнее время довольно широко обсуждается вопрос о роли и потенциале ресурсов побочного пользования лесом и даже преимущественном их экономическом значении в сравнении с древесными. Действительно, в области да и на всем Севере России доля ресурсов побочного пользования лесом в экономике может быть значительно выше, однако в сравнении с древесными ресурсами и продукцией их переработки экономическая и социальная роль недревесных ресурсов, конечно, ниже.

Сравнительная экономическая оценка древесных и недревесных ресурсов может быть объективно установлена на основе рассмотрения ряда вариантов с учетом не только экономических, но и социальных условий, занятости населения. Такими вариантами могут быть:

1) сравнение ценности ресурсов древесины на корню в размере годичной расчетной лесосеки неистощительного пользования с годичными товарными ресурсами грибов и ягод в лесах на основе специальной экономической оценки по нормативам, разработанным СевНИИЛХ для оценки лесных ресурсов и лесных земель в рыночных условиях на рентной основе;

2) сравнение стоимости продукции в действующих рыночных ценах и прибыли от годичных объемов заготовленной древесины в круглом виде (в размере расчетной лесосеки) и объема заготовки грибов и ягод, равного их товарному запасу в лесах области;

3) сравнение стоимости и прибыли от годичной продукции переработки древесины, а также ягод и грибов для объемов 1990 г. в ценах, действующих в настоящее время.

Расчеты по первому варианту показывают, что экономическая оценка ресурсов древесины на корню в размере годичной расчетной лесосеки в лесах Архангельского управления лесами в современных экономических условиях (1998 г.) составляет примерно 270 млн р. Примерная же оценка всех товарных среднегодовых ресурсов грибов и ягод (табл. 4) равна 230 млн р., т. е. ненамного ниже, чем древесины. Оценка товарных ресурсов грибов и ягод, доступных по транспортным условиям, составляет около 100 млн р. С учетом же всех основных видов недревесных ресурсов, включая также живицу, лесные семена и др., получаем экономическую оценку не ниже, чем для древесных ресурсов (в выражении на год пользования). Это показывает высокую ценность имеющихся недревесных ресурсов.

Расчеты по второму варианту выполнены на основе установления стоимости заготовленной древесины в круглом виде и заготовленной продукции побочного пользования лесом также без переработки, при условии полного использования их ресурсов, по действующим (1998 г.) свободным ценам. Расчеты показывают, что доходы от реализации древесины возможны на уровне 2,3 млрд р., грибов и ягод – 750 ... 800 млн р., в том числе доступных к заготовке – 300 ... 350 млн р., т. е. в 3–7 раз меньше, чем по древесине.

Еще больше различия в стоимости продукции переработки древесины и сырья от побочного пользования лесом. Вся продукция переработки древесины и частичная ее реализация в круглом виде в объемах 1990 г. (см. табл. 1) при заготовках в размере расчетной лесосеки, выраженная в ценах 1998 г., составила бы примерно 12,5 млрд р. Оценка для условий последних лет в связи с общим упадком производства не характерна. Если принять, что стоимость переработанных грибов и ягод хотя бы втрое больше, чем в непереработанном виде (2,1 против 0,7 млрд р.), то и в этом случае стоимость возможной древесной продукции примерно в 6–12 раз выше стоимости продукции из ресурсов прижизненного пользования лесом.

Важное значение имеет и социальный аспект. Так, среднесписочная численность только промышленно-производственного персонала, занятого в лесозаготовительной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности в 1990 г., когда почти полностью использовались производственные мощности лесного комплекса, равнялась около 120 тыс. человек. Кроме того, большое число работающих было занято в сфере обслуживания лесного комплекса. Для переработки же ресурсов побочного пользования лесом, естественно, требуется работников во много раз меньше.

Из приведенных данных видно, что для Архангельской области первостепенное значение, как экономическое, так и социальное, безусловно, имеют древесные ресурсы. Однако и недревесные ресурсы могут и должны играть более заметную роль в экономике и жизни населения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Пользование ресурсами недревесной продукции леса. - Архангельск: АИЛиЛХ, 1988. - 214 с. [2]. Рекомендации по учету, прогнозированию и сбору недревесной продукции леса. - Архангельск: АИЛиЛХ, 1977. - 44 с. [3]. Учет пищевого, кормового, лекарственного и технического сырья // Лесотаксационный справочник для Северо-Востока Европейской части СССР. - Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. - С. 101-103. [4]. Чупров Н.П., Антуфьева Е.Д. Потенциал неистощительного пользования лесом на Европейском Севере // Лесн. хоз-во. - 1995. - № 4.

Поступила 15 сентября 1998 г.



## МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК 630\*6(075.5)

В.Н. ПЕТРОВ

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

Петров Владимир Николаевич родился в 1961 г., окончил в 1984 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 50 печатных трудов в области экономики лесного хозяйства и лесной политики.

**О ПРЕПОДАВАНИИ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ЛЕСНАЯ ПОЛИТИКА И ЛЕСНОЕ ПРАВО»**

Представлена учебная программа дисциплины «Лесная политика и лесное право», на основе которой автор читает курс лекций в С.-Петербургской лесотехнической академии.

The syllabus for the subject on forest policy and forest law is presented, used by the author as the basis for the course of lectures-delivered at St.-Petersburg Forest Engineering Academy.

Реформирование лесопромышленного комплекса требует изменения профиля, качества и содержания подготовки студентов лесных вузов.

Практически во всех лесных державах наблюдается появление качественно нового уровня развития лесных отношений, основанного на принципах устойчивого управления лесным хозяйством. Принятые в России законы – Конституция Российской Федерации, Гражданский кодекс, Лесной кодекс и др. – заставляют по-новому рассмотреть решение проблем лесопользования, воспроизводства, охраны, защиты и управления лесами, а следовательно, требуют новых подходов к формированию знаний и навыков у студентов лесных вузов. Важную роль при этом играет политика государства по отношению к лесам. Она призвана выдерживать оптимальный баланс между лесопользованием, воспроизводством, охраной и защитой лесов, с одной стороны, и интересами общества, с другой.

Перечисленные обстоятельства привели к необходимости преподавания новой дисциплины «Лесная политика и лесное право». В С.-Петербургской лесотехнической академии этот курс относится к специальным дисциплинам по выбору студента. Читается, как правило, в девятом семестре для студентов очной формы обучения (магистерские программы 521516 и 521509) и в десятом семестре для студентов заочной формы обучения по специальности 0608.06.

Первая часть дисциплины – «Лесная политика» – была введена в учебные планы Лесного института еще в 20-х гг.; ее читал проф. А.И. Шульц. Преподавание «Лесного права» в лесных вузах имеет давние традиции и уходит корнями в дореволюционное время.

Современная дисциплина «Лесная политика и лесное право» по своему содержанию граничит с такими дисциплинами, как экономика лесного хозяйства и лесной промышленности, государственное управление лесным хозяйством, экологическое право, но имеет ряд отличительных признаков. Объединение лесополитических и правовых вопросов в единый блок сделано на том основании, что концентрированным выражением лесной политики является лесное законодательство. Допустимо, однако, и раздельное существование этих курсов.

Обычно преподавание какой-либо отрасли права сводится к изучению действующего законодательства и не рассматривает законодательные нормы вместе с историей их возникновения как в общей системе права, так и с учетом национальных особенностей. Такой подход предполагает изучение комментариев к действующему федеральному законодательству и ограничивает тем самым творческое мышление у студентов. Схема построения предлагаемого курса позволяет устранить указанные недостатки. Отношения по поводу лесопользования, охраны, защиты, управления лесами и их воспроизводства формируются у студентов под воздействием лесохозяйственных, экономических и правовых требований. Закон в данном случае лишь фиксирует требования, которые находят свое выражение в нормах лесного права.

Поскольку лесное законодательство в России находится в настоящее время в стадии становления, то в процессе преподавания второй части дисциплины целесообразно уделять больше внимания принципам, подходам и вопросам преемственности в формировании лесного законодательства.

*Цель преподавания дисциплины.* В результате изучения дисциплины студенты должны усвоить концептуальные основы политики государства в области лесных отношений, знать основные источники лесного права, разбираться в системе правового регулирования в лесопромышленном комплексе.

*Задачи изучения дисциплины.* Учебная задача заключается в выявлении основных мотивов, которыми руководствуется государство по отношению к лесному фонду, а также в изучении системы правового регулирования лесных отношений. Студенты должны приобрести знания по истории развития лесной политики, понять ее сущность, механизмы государственного

регулирования лесных отношений в России и за рубежом, их правовые аспекты.

Теоретической основой нового курса является ранее изученный студентами блок экономических, лесохозяйственных и правовых дисциплин. Серьезное внимание уделяется взаимосвязи с практикой, опытом работы арендаторов, лесхозов, федеральных и региональных органов управления лесами.

*Главной формой* очного изучения курса является прослушивание лекций и работа на семинарских занятиях, по заочной форме – самостоятельная работа над литературой, рекомендуемой после каждой темы. Студенты должны также знакомиться с текущими публикациями в отраслевых изданиях, с изменениями в лесном законодательстве. Текущая успеваемость студентов определяется при помощи контрольных опросов (устные и письменные), итоговая – во время экзамена.

Ниже приведена рабочая программа, используемая в С.-Петербургской государственной лесотехнической академии.

Наименование тем, их краткое содержание

### **Введение**

Предмет, задачи и содержание курса «Лесная политика и лесное право», связь с другими дисциплинами. История развития дисциплины.

Международные соглашения в области устойчивого развития лесного сектора; международные обязательства России по лесам.

Необходимость проведения политики государства в лесопромышленном секторе.

## **Раздел 1. Лесная политика**

### **Тема 1**

Лесной фонд – объект лесной политики

Единство и различие понятий «лес» и «лесной фонд». Лес как элемент природы и объект государственной политики. Доходность от пользования лесом до революции и в настоящее время. Существование воззрения на экономическую природу леса. Экономико-правовая природа леса.

### **Тема 2**

Лесная политика как часть экологической и экономической политики

Различные подходы к изучению дисциплины: классический, правовой, статистический. Определение и содержание понятия лесной политики. Нормы Конституции Российской Федерации и политика государства в области лесных отношений. Отличительные черты лесной политики как самостоятельного вида человеческой деятельности. Субъекты лесной политики, их интересы. Отраслевые границы действия лесной политики.

### **Тема 3**

Основные принципы лесной политики

Принцип региональности лесополитических решений. Равное отношение к различным формам и видам собственности на леса. Учет интересов

коренных народов и этнических общностей на территориях и традиционного проживания. Предсказуемость решений государственных властей. Системность. Экономическая заинтересованность основных субъектов лесных отношений. Единство финансово-экономического, организационного и правового регулирования деятельности субъектов в области лесных отношений.

#### Тема 4

##### Цели и задачи лесной политики

Цели, преследуемые государством при проведении лесной политики. Теории стадийного развития лесной промышленности и лесного хозяйства. Ступени освоения лесов. Задачи федерального уровня и субъектов федерации в области лесной политики. Условия, обеспечивающие достижения целей лесной политики.

#### Тема 5

##### Компоненты лесной политики

Экономические, экологические и социальные составляющие. Зависимость лесной политики от исторических условий развития общества и его сознания.

Компоненты лесной политики, их содержание и связь с основными факторами производства в лесном хозяйстве и лесной промышленности. Две стороны лесной политики: ограничительная и содействующая.

#### Тема 6

##### Региональность лесополитических решений

Необходимость проведения региональной лесной политики в Российской Федерации. Внутренние источники воздействия на региональность лесополитических решений. Разделение правомочий собственности в отношении лесного фонда между Федерацией и ее субъектами. Неравномерность распределения трудовых ресурсов по территории. Различия природно-зональных условий произрастания лесов. Полномочия субъектов Российской Федерации в области использования, охраны и защиты лесного фонда и воспроизводства лесов.

Внешние источники воздействия на региональность лесополитических решений. Нормы конституционного права. Международные договоры России.

Системы ведения лесного хозяйства.

## Раздел 2. Лесное право

#### Тема 9

##### Предмет и система лесного права

Связь между лесной политикой и лесным правом. Понятие и особенности лесных отношений как предмета лесного права. Эколого-экономическое содержание лесных отношений.

Понятия, принципы и методы лесного права. Идеология, нормы права и правоотношение. Принципы лесного права. Императивный и диспозитивный методы регулирования лесных отношений. Соотношение лесного

права со смежными отраслями права. Основные периоды развития лесного права.

#### Тема 10

##### Источники лесного права

Понятие и виды источников лесного права. Закон и подзаконные акты как источник лесного права. Конституционные основы лесного права. Подзаконные акты исполнительных органов государственной власти как источник лесного права. Нормативные правовые акты субъектов РФ. Нормативные правовые акты органов местного самоуправления.

#### Тема 11

##### Объекты и субъекты лесных правоотношений

Лесоземельное угодье как объект лесных правоотношений. Лес и земля как недвижимости особого рода. Субъекты лесных правоотношений как носители и проводники лесополитических решений. Содержание лесных правоотношений.

#### Тема 12

##### Лесные правоотношения

Лесные отношения: экономический, юридический и лесохозяйственный аспекты. Содержание лесного правоотношения. Категории субъектов лесных правоотношений. Лесные правоотношения как конечный результат функционирования механизма лесного права. Лесные правоотношения собственности на леса. Лесные правоотношения в области пользования лесным фондом. Лесные правоотношения в области охраны и защиты лесов. Основания прекращения права лесопользования.

#### Тема 13

##### Право собственности на леса

Понятие и особенности права собственности на леса в экономическом и юридическом аспекте. Правомочия собственности на леса. Формы и виды собственности на леса, их эволюция. Ограничения прав собственности на леса со стороны государства. Основы возникновения и прекращения права собственности на леса.

#### Тема 14

##### Правовая ответственность за нарушение лесного законодательства

Понятие, состав и виды лесных правонарушений. Понятие и виды ответственности за нарушение лесного законодательства. Субъекты лесных правонарушений. Объекты лесных правонарушений. Функции ответственности за нарушение лесного законодательства. Понятия ущерба, неустойки, вреда.

Административная, уголовная, гражданско-правовая ответственность.

##### Семинарские занятия

1. Сущность и основные принципы лесной политики.
2. Региональность лесной политики.

3. Цели и задачи лесной политики.
  4. Экономическое и правовое регулирование лесных отношений в России и в европейских странах.
  5. Проблемы лесной политики и возможности их решения.
  6. Понятия, принципы и методы лесного права.
  7. Объекты и субъекты лесных правоотношений.
  8. Закон как источник лесного права.
  9. Право собственности на леса и лесные правоотношения.
  10. Экономико-правовые аспекты Лесного кодекса РФ.
- Всего часов: лекций – 20, семинарских занятий – 20, самостоятельной работы студентов – 80.

Список отечественной рекомендуемой литературы, к сожалению, ограничен, так как на сегодняшний день практически нет учебников по проблемам лесной политики и лесного права.

#### Основная литература

1. Конституция Российской Федерации. - М.: Юрид. литература, 1993. - 63 с.
2. Лесной кодекс Российской Федерации. - М.: Экос-Информ, 1997. - 85 с.
3. Гражданский кодекс Российской Федерации. Ч. 1-2. - СПб.: Альфа, 1994. - 608 с.
4. Кодекс об административных правонарушениях. - М.: Спарк, 1995. - 188 с.
5. Комментарии к уголовному кодексу Российской Федерации. - М.: Юридический бюллетень предпринимателя, 1996. - 286 с.
6. Петров В.Н. Лесная политика и охрана лесов. - СПб.: Наука, 1998. - 253 с.
7. Земельное право России: Учеб. для вузов / Под ред. В.В. Петрова. - М., 1995. - 300 с.
8. Петров В.В. Экологическое право России. - М.: БЕК, 1995. - 557 с.
9. Лесное законодательство Российской Федерации // Сб. нормативных правовых актов. - М.: ПАИМС, 1998. - 576 с.

#### Дополнительная литература

1. Петров А.П., Мамаев Б.М., Тепляков В.К. и др. Государственное управление лесным хозяйством: Учеб. пособие. - ВНИИЦлесресурс, 1997. - 304 с.
2. Петров А.П. Экономические и правовые основы национальной лесной политики // Лесн. хоз-во. - 1997. - № 2. - С. 6-8.
3. Петров В.Н. Вопросы приватизации лесов в Германии // Лесн. хоз-во. - 1995. - № 1. - С. 22-24.
4. Казанник А.И. Региональные проблемы правовой охраны природы в России. - Омск: ГУИПП, 1998. - 260 с.

Национальная лесная политика и сама дисциплина находятся в настоящее время в стадии становления, поэтому автор будет благодарен всем, кто поделится своим мнением по существу затронутых вопросов, выскажет свои замечания или предложения.

Наш адрес: 194021, г. С.-Петербург, Институтский пер. 5, СПбЛТА, кафедра экономики.

---

Поступила 2 октября 1999 г.

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 674.093

*Р.Е. КАЛИТЕЕВСКИЙ, А.С. ГУДКОВ, А.В. ВИНОГОРСКИЙ, С.А. СМИРНОВА*

С.-Петербургская лесотехническая академия



Калитеевский Ростислав Евгеньевич родился в 1924 г., окончил Всесоюзный заочный лесотехнический институт (при Ленинградской лесотехнической академии), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры лесопильного производства и гидротермической обработки древесины С.-Петербургской лесотехнической академии, академик РАЕН, заслуженный деятель науки РФ, чл.-кор. МАН ВШ. Имеет более 140 печатных трудов в области технологии, оборудования и систем управления лесопильного производства.



Гудков Алексей Сергеевич родился в 1961 г., окончил в 1987 г. Ленинградскую лесотехническую академию, аспирант кафедры лесопильного производства и гидротермической обработки древесины С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет около 10 печатных работ в области технологии лесопиления.



Виногорский Алексей Викторович родился в 1976 г., магистрант кафедры автоматизации производственных процессов С.-Петербургской лесотехнической академии.



Смирнова Светлана Анатольевна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, аспирант кафедры лесопиления и гидротермической обработки древесины С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет 2 печатные работы в области совершенствования раскрытия древесины.



## КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ СОРТИРОВКИ, СКЛАДИРОВАНИЯ И РАСКРОЯ ПИЛОВОЧНИКА

Показано, что использование имитационной модели позволяет определять рациональные значения основных технологических параметров, включая коэффициент загрузки лесопильного цеха во времени практически с любой номенклатурой оборудования для системы линия сортировки бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех.

It is shown that the use of the simulation model allows determining the rational values of the main technological parameters, including the coefficient of time utilization of sawmill shop equipped practically with any assortment for the system log sorting line – storage for the sorted wood – sawmill shop.

Целью статьи является компьютеризация нового метода расчета производственной мощности лесопильных цехов и предприятий, а также имитации процесса системы сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех. Это значительно повышает достоверность и скорость расчетов, необходимых как на существующих, так и на реконструируемых и новых лесопильных предприятиях.

Общий алгоритм программы имитации, расчета производительности и основных параметров процессов сортировки, складирования и раскроя пиловочника представлен на рис. 1. В него входят подпрограммы имитационного цикла процесса системы сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех и расчета производительности лесопильного цеха по методике Р.Е. Калитеевского [1, 2].

К исходным данным (блок 1) относятся: кривая распределения сырья по диаметрам; структура лесопильного цеха; интенсивность работы сортировочной линии бревен; коэффициент превышения работы сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха; средняя длина бревна с межторцовым разрывом; коэффициент превышения минимальных партий запуска рассортированных бревен; случайное число для определения вероятностной величины коэффициента технического использования для каждого бревнопильного потока; планируемый период работы лесопильных потоков; время имитации работы системы; границы сортировочных групп бревен с их распределением по бревнопильным потокам; посылки и скорости обработки принятых сортировочных групп бревен; требуемый объем обрабатываемого сырья.

В блоке 2 общего алгоритма имитационной модели осуществляется подготовка введенных исходных данных: расчет объема бревна каждого диаметра и вычисление процента бревен по кривой распределения сырья по диаметрам с шагом 1 ... 5 мм.

Подпрограмма осуществляет расчет производительности с учетом среднестатистического коэффициента технического использования для конкретного предприятия и предполагает его определение с вводом временных

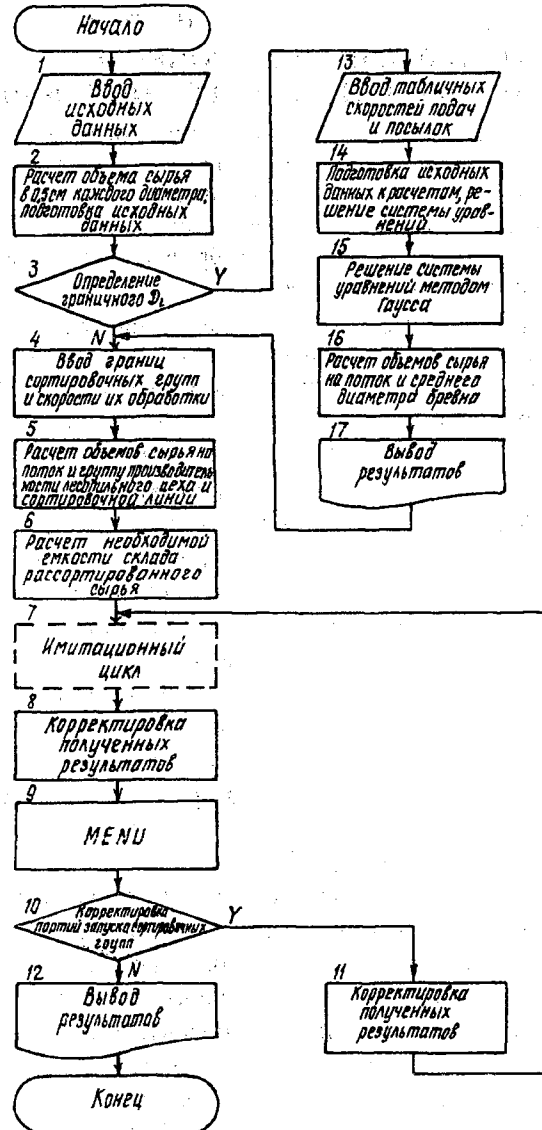


Рис. 1. Общий алгоритм имитационной модели SCLAD-10

параметров по фотографии дня, что позволяет находить границы сортiroвочных групп бревен.

При вводе исходных данных в программу имитации системы учитывают количество и тип бревнопильного оборудования в рассматриваемом лесопильном цехе. Затем производят выбор варианта расчета коэффициента технического использования  $K_{т.и}$ . При выборе первого варианта ( $K_{т.и}$  принимают по среднестатистическим данным предприятия) осуществляют ввод коэффициентов технического использования, машинного времени и коэффициента, учитывающего «скрытые» потери. При выборе второго варианта

вводят временные параметры; определенные по фотографии дня для каждой конкретной бревнопильной линии, затем определяют  $K_{т.и.}$ . При последующих расчетах учитывают только одну линию, умножая результат на число ей подобных.

Далее для построения таблицы проводят расчет производительности  $j$ -й бревнопильной линии для  $i$ -го диаметра бревна и числа смен работы при распиловке закрепленных за ней бревен заданных диаметров. Составленная система уравнений решается методом Гаусса. Перебор числа смен работы бревнопильных линий и их приблизительное равенство дает возможность определять граничные диаметры между потоками и среднесменную производительность лесопильного цеха.

В качестве дополнительных результатов вычисляют объем сырья в процентах на каждый поток, а также долю сырья в процентах и его объем, приходящиеся на каждый поток с граничного диаметра.

Ввод границ сортировочных групп бревен, скорости их обработки, расчет объемов сырья на поток и сортировочную группу, производительности сортировочной линии с учетом производительности лесопильного цеха и коэффициента превышения производительности сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха и необходимой емкости склада рассортированного сырья производят в блоках 4 и 5 (рис. 1).

На следующем этапе программа переходит к имитации производственного процесса системы сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех.

В случае достаточности сырья в накопленной партии запуска подпрограмма суммирует обработанное сырье данной сортировочной группы, производит уменьшение партии запуска на обработанный объем пиловочника, заполнение выводных массивов и результатов, сравнение обработанных и оставшихся в партии запуска объемов сырья для определения следующего состояния бревнопильного потока.

Осуществляется проверка состояния работы сортировочной линии, а в зависимости от полученных текущих результатов – ее включение или выключение.

В подпрограмме присутствует фиксатор, по которому регистрация обработанного сырья в лесопильном цехе начинается только при достаточности сырья в партиях запуска для всех бревнопильных потоков, а также фиксируется начальная емкость склада рассортированного сырья. При этом производится перерасчет интенсивности работы сортировочной линии с учетом введенного коэффициента превышения ее производительности над производительностью лесопильного цеха, так как накопление необходимого запаса идет с максимальной технически возможной интенсивностью сортировочной линии.

После перебора всех сортировочных групп бревен подпрограмма вновь возвращается в начало, в котором таймер увеличивается на шаг расчета имитации.

Завершение имитационного цикла производится либо по заказанному времени имитации, либо по требуемому объему распиловки бревен с возможностью продолжить имитацию для последующих итераций.

Коэффициент загрузки оборудования лесопильного цеха определяется отношением производственной мощности, полученной при расчете и имитации.

Конечные результаты приведены на распечатке данных имитации.

## SCLAD-10

№ потока	№ сорт. группы	от см	до см	Емкость склада, м <sup>3</sup>	Произв. л/потока, м <sup>3</sup> /смена	Обработ. л/потоком, м <sup>3</sup>	Период работы л/ц, смен
1	1	11	14,5	96	189	561	0,5
1	2	15	18,5	194	324	2737	0,5
2	3	19	21,5	115	184	3486	0,5
3	4	22	23,5	489	213	1489	0,5
3	5	24	26,5	631	225	2802	0,5
4	6	27	31,5	239	269	2685	0,5
4	7	32	41,5	182	344	2401	0,5
4	8	42	52	238	264	131	0,5

1. На складе к концу имитации, м<sup>3</sup> – 1959
2. Обработано в лесопильном цехе, м<sup>3</sup> – 16297  
Всего рассортировано за время имитации, м<sup>3</sup> – 18251
3. Время накопления начального оперативного запаса, ч – 3
4. Время простоя бревнопильных потоков, ч  
ЛФП – 71,0  
ЛР – 15,3  
ЛР – 8,3  
ЛР – 27,3
5. Коэффициент превышения работы сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха – 1,4
6. Коэффициент превышения минимальных партий запуска бревен – 2,0
7. Интенсивность работы сортировочной линии после накопления оперативного запаса, бр/мин – 22,0
8. Производственная мощность лесопильного цеха с принятыми сортировочными группами, м<sup>3</sup>/год – 370523
9. Емкость склада, м<sup>3</sup>  
для начального оперативного запаса – 1886  
необходимый запас – 2014
10. Количество смен – 21,3
11. Остановы сортировочной линии, ч – 112
12. Производительность лесопильного цеха, м<sup>3</sup>/смена – 779,1

Кривая распределения сырья по диаметрам, %

12,0 – 0,07; 14,0 – 1,16; 16,0 – 6,41; 18,0 – 8,58; 20,0 – 13,22; 22,0 – 13,85;  
24,0 – 10,00; 26,0 – 12,25; 28,0 – 9,17; 30,0 – 9,67; 32,0 – 4,99; 34,0 – 6,77;  
36,0 – 2,95; 38,0 – 2,65; 40,0 – 0,88; 42,0 – 1,31; 44,0 – 0,49; 46,0 – 0,16;  
48,0 – 0,03; 50,0 – 0,05; 52,0 – 0,03.

При выводе полученных результатов на экране монитора появляется меню программы, позволяющее повторить режим имитации после изменения следующих параметров: кривой распределения сырья по диаметрам; компоновки цеха; границ сортировочных групп; режима имитации следующей итерации.

Оценку погрешности имитации, обусловленную наличием в программе имитационной модели генераторов псевдослучайных чисел, производили по методике [3]. Для определения погрешности имитации использовали метод, основанный на определении величины доверительного интервала для каждой компоненты вектора отклика и выборе максимального значения.

В качестве примера для определения погрешности имитации был взят ЛДК-3 (г. Архангельск), как наиболее типичный для Северо-Западного региона России. Исходные данные: характеристика оборудования, относящаяся к моделированию системы линия сортировки бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех; характеристика пиловочника, коэффициенты машинного времени, технического использования и коэффициент, учитывающий «скрытые» потери.

В качестве функции отклика был принят коэффициент технического использования лесопильного цеха. Всего было проведено три эксперимента с различными планируемыми периодами работы лесопильного цеха по десять повторений. Полученные экспериментальные результаты показали, что использование применяемых в модели генераторов псевдослучайных чисел допустимо.

В состав технологического оборудования комбината входят: сухопутная сортировочная линия БС-60 и лесопильный цех с тремя потоками на базе двухэтажных рам 2Р-75-1(2) и одного потока на базе фрезернобрусующего станка ФБС-750, спаренного с многопильным станком СБ-8М.

На линию агрегатной переработки сырья поступают бревна диаметром до 16 см, в некоторых случаях до 20 см. Среднегодовая кривая распределения сырья по диаметрам показала, что средний диаметр бревен составляет 18 см.

Согласно методике [2] были выполнены аналитические расчеты на 1000 м<sup>3</sup> сырья и определены среднесменная производительность лесопильного цеха и фактическая годовая производительность лесопильного предприятия. В расчетах принято 20 сортировочных групп бревен, а так как в цехе установлено три однотипных потока на базе лесопильных рам, то расчеты производили при утроенной фактической производительности одной из линий. При таком расчете получен только один граничный диаметр между линией ЛФП и тремя рамными потоками (3 Л/Р).

Для упрощения расчета производительности лесопильного цеха составлена табл. 1, где фиксируется  $i$ -й диаметр бревна, см;  $q_i$  – объем бревна  $i$ -го диаметра заданной длины, м<sup>3</sup>;  $\sum V_{бpi}$  – объем бревен  $i$ -го диаметра в 1000 м<sup>3</sup> сырья при заданном среднем диаметре, м<sup>3</sup>.

Таблица 1

d, см	q <sub>i</sub> , м <sup>3</sup>	ΣV <sub>бр i</sub>	Q <sub>j</sub> , м <sup>3</sup> /см.		U <sub>рj</sub> , м/мин		Δ, мм		n <sub>см</sub>	
			ЛФП	3 ЛР	ЛФП	3 ЛР	1	2		
12	0,0732	6,0	189,8	-	40	45	0,032	-		
14	0,0981	75,0	254,4	283,1	40	45	0,322	2,1000		
16	0,1286	209,0	333,5	371,1	40	45	0,950	1,8380		
18	0,1592	197,0	412,8	439,0	40	43	1,500	1,2800		
20	0,1954	165,0	506,7	526,3	40	42	1,780	0,8275		
22	0,2354	132,0	534,1	588,7	35	39	2,030	0,5175		
24	0,2791	74,0	633,2	644,3	35	36	-	0,2975		
26	0,3265	64,0	740,8	711,9	35	34	-	0,1875		
28	0,3777	28,0	-	775,0	35	32	-	0,0975		
30	0,4327	22,0	-	832,4	35	30	-	0,0615		
32	0,4914	19,0	-	850,8	30	27	-	0,0355		
34	0,5539	8,0	-	923,5	30	26	-	0,0135		
36	0,6202	3,0	-	994,3	30	25	-	0,0105		
38	0,6902	3,0	-	1062,2	30	24	-	0,0075		
40	0,7639	1,0	-	1077,9	-	22	-	0,0047		
42	0,8415	1,0	-	1079,2	-	20	-	0,0038		
44	0,9227	1,0	-	1124,2	-	19	-	0,0029		
46	1,0078	0,5	-	1098,6	-	17	-	0,0020		
48	1,0966	0,5	-	1125,1	-	16	-	0,0015		
50	1,1891	0,5	-	1143,8	-	15	-	0,0010		
52	1,6253	0,5	-	1042,2	-	10	-	0,0005		

Сменную производительность линии по раскрою тонкомерных бревен рассчитывали по формуле

$$Q_j = \frac{U}{l_{cp}} K_m K_N K_{т.и} T_c q_i = \frac{U}{5,1} \cdot 0,875 \cdot 0,96 \cdot 0,82 \cdot 480 \cdot q_i,$$

где  $K_m$  – коэффициент использования машинного времени;

$K_N$  – коэффициент скрытых потерь;

$K_{т.и}$  – коэффициент технического использования;

$T_c$  – число смен.

Сменную производительность трех ( $n$ ) рамных линий рассчитывали по формуле

$$Q_j = \frac{\Delta \cdot n}{1000 l_{cp}} K_m K_N K_{т.и} T_c q_i n_{п} = \frac{\Delta \cdot 325}{5100} \cdot 0,875 \cdot 0,96 \cdot 0,845 \cdot 480 \cdot q_i \cdot 3,$$

где  $\Delta$  – посылка.

Затем определяли число смен  $n_{см}$ , необходимых для распиловки бревен  $i$ -го диаметра, объем которых в 1000 м<sup>3</sup> сырья составил  $\sum_n V_{бр i}$ .

Решая систему линейных уравнений

$$\begin{cases} 0,95 + X = 0,8275 + Y; \\ 412,8X + 439Y = 197, \end{cases}$$

получаем  $X = 0,168$  и  $Y = 0,29$  (где  $X$  – число смен, необходимых для распиловки части бревен граничного диаметра 18 см;  $Y$  – число смен, необходимых для распиловки другой части бревен этого же диаметра).

Проверку осуществляли по следующему равенству:

$$n_{\text{см}} = 0,95 + 0,168 = 0,8275 + 0,29 = 1,118.$$

Среднесменная производительность цеха, м<sup>3</sup>/см.,

$$Q_{\text{ср.см}} = \frac{1000}{1,118} = 894,45.$$

Годовая фактическая производительность лесопильного предприятия при работе в две смены ( $T_c = 2$ ) и числе рабочих дней в году 250, а также коэффициенте загрузки лесопильного цеха  $K_z = 1$  составит, м<sup>3</sup>/год,

$$Q_{\phi} = Q_{\text{ср.см}} \cdot T_c \cdot K_{\text{т.н}} \cdot K_z \cdot K_r = 894,45 \cdot 2 \cdot 250 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 0,95 = 407779,75,$$

где  $K_z$  – коэффициент загрузки;

$K_r$  – поправочный коэффициент на среднегодовые условия работы лесопильного завода.

Имитационное моделирование системы линия сортировки бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех осуществляли для раскроя пиловочника объемом 16 200 м<sup>3</sup>, т.е. среднемесячного объема бревен, раскраиваемых в 90-х годах на предприятии.

Определение времени раскроя 1000 м<sup>3</sup> бревен (или меньшего объема) проводили при повторе итерации, но уже с меньшим, чем 16 200 м<sup>3</sup>, объемом бревен. При этом следует учитывать, что кривая распределения сырья полностью изменяется.

Исследования проводили для 12 и 20 сортировочных групп бревен с коэффициентом превышения партий запуска  $K_{\text{пр}}$ , равным 2 и 4. Полученные результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели	Значения показателей для различных сортировочных групп бревен и коэффициентов $K_{\text{пр}}$			
	12 групп		20 групп	
	2	4	2	4
Производственная мощность лесопильного цеха, м <sup>3</sup> /год, с принятыми сортировочными группами	294 989,1	399 102,4	288 047,8	364 397,9
Число смен для раскроя 16 200 м <sup>3</sup> сырья	26,60	19,67	27,30	21,56
Производительность лесопильного цеха, м <sup>3</sup> /см.	608,2	822,9	593,9	751,3
Коэффициент загрузки	0,680	0,920	0,664	0,840

Коэффициент загрузки рассчитывали как отношение фактической производительности лесопильного предприятия, полученной по программе имитации, к аналитической:

$$K_z = \frac{294989,10}{407779,75} = 0,72.$$

Экспериментальные исследования по определению влияния основных технологических факторов (планируемый период работы лесопильного цеха, коэффициент превышения производительности сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха, средний диаметр бревна, чис-

до сортировочных групп бревен) на коэффициент загрузки лесопильного цеха проводили с перечисленными выше исходными данными.

При этом были приняты следующие допущения: бревна на линию сортировки поступают равномерно и в достаточном количестве; потери производительности линии сортировки на восстановление работоспособности отсутствуют, т. е. линия работает непрерывно, без остановок по причине отказов механизмов; подача пиловочника в лесопильный цех со склада рассортированного сырья производится без задержек; интенсивность работы сортировочной линии до накопления первоначального запаса максимальная (вводится пользователем); очередность выбора бревнопильным потоком следующей сортировочной группы производится по максимально накопившемуся объему сырья из всех групп, ориентированных на этот поток.

Однако обработка результатов эксперимента с помощью  $t$ -критерия Стьюдента показала незначимость коэффициентов таких переменных факторов, как средний диаметр бревна и коэффициент превышения интенсивности работы сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха. Использование регрессионного анализа при обработке результатов эксперимента невозможно, во-первых, из-за недопустимости дробности коэффициентов у факторов планируемого периода работы бревнопильных потоков и количества сортировочных групп бревен, во-вторых, используемые в модели условия (спецификация сырья и пиломатериалов, структура лесопильного цеха и т.д.) носят частный характер, и при незначительном изменении одного из факторов происходит асинхронизация технологического процесса. В частности, фактор спецификации пиломатериалов (с указанными объемами выпилки определенных сечений) невозможно представить в уравнении регрессии, хотя его влияние очевидно.

Выбор уровней варьирования был обусловлен следующим. Планируемый период работы лесопильного цеха кратен полусмене вследствие затрат времени на перестановку пил при смене постава или при их заточке. Увеличение планируемого периода работы цеха более 1,5 смен нецелесообразно из-за резкого увеличения площади склада рассортированного сырья на группах бревен, ориентированных на один поток. Следует принять во внимание синхронизацию потоков пиломатериалов различных сечений между лесопильным цехом и сушильными камерами.

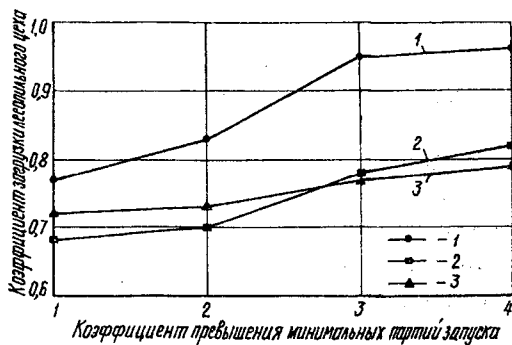


Рис. 2. График зависимости коэффициента загрузки лесопильного цеха от коэффициента превышения минимальных партий запуска бревен при различных итерациях



Исходя из условий базового предприятия (сортировка двух пород и сезонная поставка сырья на предприятие) рациональным следует считать сортировку на 12 ... 20 сортировочных групп бревен по четным (нечетным) диаметрам или группам четных (нечетных) диаметров. В имитационной модели рассмотрены диаметры бревен от 12 до 50 см, что при кратности в 2 см не превышает 20 сортировочных групп. Нижний уровень варьирования из 8 сортировочных групп принят из предыдущих исследований.

В ходе эксперимента было установлено, что средний диаметр бревен и коэффициент превышения производительности сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха незначительно влияют на коэффициент загрузки лесопильного цеха.

На рис. 2 представлен график влияния коэффициента превышения минимальных партий запуска на коэффициент загрузки лесопильного цеха при различных итерациях, проведенных на имитационной модели. Различие итераций заключается в разнице накопления сырья во времени для различных сортировочных групп по принятой кривой распределения сырья. Как видно из рис. 2, увеличение коэффициента превышения минимальных партий запуска более трех существенно влияния на коэффициент загрузки не оказывает. Влияние числа сортировочных групп на коэффициент загрузки лесопильного цеха связано с их распределением по различным потокам.

#### *Выводы*

1. Применение имитационной модели линия сортировки бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех позволяет определить рациональные значения основных технологических параметров, включая коэффициент загрузки лесопильного цеха во времени практически с любой номенклатурой оборудования в системе.

2. Ошибка (десятки процентов) коэффициента загрузки лесопильного цеха при аналитическом расчете объясняется тем, что не учитывается равномерность заполнения сортировочных групп сырьем во времени на планируемый период работы бревнопильного оборудования.

3. Разработанные методика, алгоритмы и программа могут быть использованы в качестве программно-методического обеспечения автоматизированных рабочих мест технологов лесопильных предприятий и систем автоматизированного проектирования информационных технологий лесопиления, а также в учебном процессе С-Петербургской лесотехнической академии при изучении дисциплины «Информационные технологии лесопиления», в курсовом и дипломном проектировании, при расчете производственных процессов промышленных лесопильных предприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Калитеевский Р.Е. Новый метод расчета производительности лесопильных потоков, цехов и предприятий // Деревообраб. пром-сть, 1999. - № 1, 3. -
- [2]. Калитеевский Р.Е. Теория и организация лесопиления. - М.: Экология, 1995. - 352 с. [3]. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. - М.: Радио и связь, 1988. - 230 с.

Поступила 19 октября 1999 г.

# Подписывайтесь

на второе полугодие 2000 г.

на журнал  
«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ»

## «ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ»

**Индекс 70368**

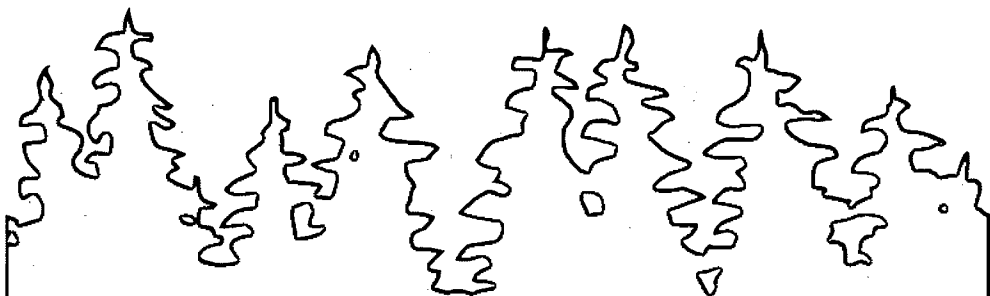
«Лесной журнал» выходит один раз в два месяца. Стоимость трех номеров 105 руб., доплаты за услуги связи устанавливаются по регионам.

Подписка принимается органами «Роспечати».

Подписка на журнал может быть оформлена через редакцию. (Наш расчетный счет 40503810100000000286 в ГРКЦ г. Архангельска, БИК 041117001, ИНН 2901039102.) Копию платежного поручения или денежный перевод с указанием адреса и фамилии подписчика просим выслать в редакцию.

По заявке, направленной в редакцию, отдельные номера журнала высылаются наложенным платежом.

**Адрес редакции:** 163002, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 17, АГТУ, «Лесной журнал».



ISSN 0536 - 1036. Изд. вузов. Лесной журнал, № 2, 1 - 144

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Статьи, представляемые в журнал, следует оформлять в соответствии с ОСТ 29.115-88 «Оригиналы авторские и текстовые издательские. Общие технические требования». Объем статьи должен составлять 6–7 страниц машинописного текста, статьи библиографического характера – 3 страницы. Над названием статьи проставляется индекс Универсальной десятичной классификации (УДК). В заглавии статьи указываются ее название, инициалы и фамилия автора (или авторов) на русском и английском языках и место работы. Рукописи направляются в редакцию в двух экземплярах, печатаются через два интервала на одной стороне листа. На листе должно быть не более 30 строк, а в строке не более 60 знаков. С левой стороны листа оставляется чистое поле шириной 30 мм. Все страницы рукописи нумеруются. На полях рукописи необходимо карандашом указать места рисунков и цифровых таблиц, если последние прилагаются к статье на отдельных листах.

Особое внимание должно быть обращено на аккуратное написание индексов и показателей степени. Следует делать ясное различие между заглавными и строчными буквами. Во избежание недоразумения заглавные буквы следует подчеркивать двумя черточками снизу, а строчные – двумя черточками сверху.

Для отличия от буквы О, ноль ( 0 ) оставлять без подчеркивания. Греческие буквы обводятся красным карандашом, латинские – синим.

Приводимый в статье графический материал не должен дублировать цифровых таблиц. Никакие сокращения слов, имен, названий, как правило, не допускаются. Возможно употребление лишь общепринятых сокращений. Названия учреждений, предприятий, марки механизмов и т. п., упоминаемые в тексте статьи в первый раз, пишутся полностью (в скобках указывается сокращенное название); в дальнейшем это наименование можно давать только сокращенно.

При ссылке в тексте статьи на работы других авторов следует в скобках указывать фамилию автора и год издания его работы. Имена иностранных авторов даются в русской транскрипции, ссылки на иностранные работы – на том языке, на котором они опубликованы. В случае приведения цитаты необходимо указать, откуда она взята ( автор, название работы, номер тома, год издания, страницы).

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1 – 84 «Библиографическое

описание документа. Общие требования и правила составления» и должен содержать лишь цитируемые в тексте статьи работы, и, наоборот, все упоминаемые в тексте работы должны быть помещены в список литературы. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Иллюстрации представляются в двух экземплярах. Они должны быть пригодны для сканирования (фотографии должны быть четкими, чертежи необходимо делать черной тушью на ватмане, тени на рисунках – при помощи точек или штрихов). На обратной стороне рисунка указывается его порядковый номер и фамилия автора. Подписи к рисункам прилагаются на отдельном листе.

Рукопись должна быть подписана автором, должны быть написаны дата ее отправки, а также служебный и домашний почтовые адреса и номера телефонов.

Для ускорения публикаций статей текст необходимо представлять на дискете 3,5 дюйма.

При отправке статьи электронной почтой обязательно наличие рукописи в двух экземплярах и всех необходимых документов.

Для компьютерной верстки журнала используется IBM PC совместимые компьютеры и программы, работающие в среде Windows. Для компьютерного набора статей предпочтительно применение текстового процессора Word for Windows.

Для рисунков и фотографий представляются графические файлы в форматах BMP, PCX, TIF ( разрешение 300 – 600 dpi).

К статье должны быть приложены краткий реферат, аннотация, рекомендация кафедры, экспертное заключение, две фотографии (6×7 см) и биографии авторов ( фамилия, имя, отчество, год рождения и окончания вуза (какого), ученая степень, звание, должность и место работы, число печатных работ, область научных исследований).

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения рукописей. Корректур статей авторам, как правило, не предоставляется.

Отписки статей авторам не высылаются.

Отдельные экземпляры журнала могут быть высланы наложенным платежом по заявкам.

ISSN 0536 - 1036

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**ЛЕСНОЙ  
ЖУРНАЛ  
2'2000**

