

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

*Лесной журнал*

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

5

2006

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Заместители главного редактора:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

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

---

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 5

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

Перевод **Н.Т. Подражанской**

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

---

Сдан в набор 03.10.2006. Подписан в печать 28.11.2006. Заказ № 256  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,35. Усл. кр.-отт. 14,35.  
Уч.-изд. л. 17,27. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: (818-2) 27-37-18, тел. 21-89-01  
e-mail: forest@agtu.ru http://lesnoizhurnal.agtu.ru

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

*ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО*

<i>А.Х. Газизуллин.</i> Региональные особенности почвообразования и почвы лесов центральной части Среднего Поволжья.....	7
<i>В.М. Ивонин, О.В. Перфильев И.В. Воскобойникова.</i> О влиянии плотности почв на эрозию при антропогенной дигрессии горных лесов.....	14
<i>Н.Н. Харченко.</i> Территориальное распределение и стадии обитания норных зверей Среднего Подонья.....	22
<i>А.А. Афонин.</i> Изменчивость длины пыльцевых зерен аборигенных видов ив Брянского лесного массива.....	25
<i>Ю.М. Дебринюк.</i> Результаты интродукции псевдотсуги Мензиса в лесные насаждения Украинского Расточья.....	34

*ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ*

<i>В.П. Стуков.</i> Комплексное исследование мостов с балками из клееной древесины.....	40
<i>Г.С. Морозов.</i> Определение осадок сооружений на основании из мерзлого торфяного грунта.....	46
<i>П.Д. Шергов.</i> Использование валочно-пакетирующих машин на лесозаготовках.....	52
<i>Е.В. Платонова.</i> Применение методов множественной регрессии для определения средней скорости движения лесовозного транспорта.....	57

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

<i>А.Н. Чубинский, В.М. Щербаков.</i> Обоснование конструкции и технологии изготовления трудногорючих столярных плит.....	61
<i>Д.В. Иванов.</i> Пакетоспособность партии пиломатериалов.....	66
<i>М.Н. Гамрекели.</i> Скорость движения капель жидкости и время их пребывания в газодисперсной круглой струе.....	72
<i>Ю.А. Варфоломеев, А.В. Лукичев.</i> Экспериментальные исследования прочности деревянных клееных балок с различным расположением слоев.....	80
<i>Л.В. Алексеева, Р.Г. Чернега.</i> Определение размеров накопителей сортиментов.....	87
<i>А.Е. Алексеев, В.М. Волков, С.В. Петухов.</i> Исследование привода механизма перемещения узла резания однопильного торцовочного станка.....	90

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

<i>В.Т. Харитоненко.</i> Совершенствование подготовки ремонтно-механических предприятий целлюлозно-бумажной промышленности.....	96
<i>А.В. Вураско, А.Я. Агеев.</i> Реологические свойства дисперсной системы шелок-ПАВ-антрахинон.....	100
<i>И.Я. Киселев.</i> Исследование качественного состава пигментов осенней окраски листьев некоторых видов древесных растений.....	106
<i>О.С. Бегушева, Н.П. Мусько, М.М. Чемерис.</i> Математическая модель процесса взрывного автогидролиза древесины лиственницы.....	113

*ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА*

- А.А. Зубко.* Экономическая организация ведения лесного хозяйства в городских лесах..... 117  
*М.Д. Некрасов.* Об экономической оценке лесных ресурсов..... 123

*МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ*

- А.В. Волокитина, М.А. Софронов, Т.М. Софронова.* Обучающая программа для прогноза поведения низовых лесных пожаров..... 130

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- Э.И. Гермер.* Вода и энергия как экологические характеристики производственных процессов, требующие нормирования..... 136  
*Б.В. Лабудин, Р.П. Матвеев, Р.С. Санжаровский.* Критерии устойчивости сжато-изогнутых стержней, усиленных титановыми элементами..... 140
-



## CONTENTS

## FORESTRY

<i>A. Kh. Gasisullin.</i> Regional Peculiarities of Soil Formation and Forest Soils of Middle Povolzhje Central Part.....	7
<i>V.M. Ivonin, O.V. Perfiljev, I.V. Voskoboynikova.</i> On Influence of Soil Density on Erosion under Anthropogenic Digression of Mountain Forests.....	14
<i>N.N. Kharchenko.</i> Territorial Distribution and Burrow Animals Habitat in Middle Podonje.....	22
<i>A.A. Afonin.</i> Variability of Pollen-grains Length for Native Species of Willows in Bryansk Woodland.....	25
<i>Yu.M. Debrinyuk.</i> Results of <i>Pseudotsuga menziesii</i> Introduction in Forest Stands of Ukrainian Rastochje.....	34

## WOODEXPLOITATION

<i>V.P. Stukov.</i> Complex Investigation of Bridges with Laminated Wood Beams.....	40
<i>G.S. Morozov.</i> Determination of Structures Settlements on Foundation of Frozen Peat Soils.....	46
<i>P.D. Shergov.</i> Use of Felling-bunching Machines in Forest Harvesting.....	52
<i>E.V. Platonova.</i> Use of Multiple Regression Methods for Average Speed Determination of Timber-carrying Transport Movement.....	57

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>A.N. Chubinsky, V.M. Shcherbakov.</i> Substantiation of Design and Manufacturing Technique for Hard-combustible Composite Boards.....	61
<i>D.V. Ivanov.</i> Sawn Timber Bundle Ability.....	66
<i>M.N. Gamrekely.</i> Velocity of Liquid Drops Motion and Duration of their Stay in Gas-dispersed Round Stream.....	72
<i>Yu.A. Varfolomeev, A.V. Lukichev.</i> Experimental Research of Laminated Wood Beams Strength with Different Layer Arrangement.....	80
<i>L.V. Alekseeva, R.G. Chernega.</i> Determination of Storage Device Dimensions for Assortments.....	87
<i>A.E. Alekseev, V.M. Volkov, S.V. Petukhov.</i> Investigation of Travelling Gear Drive of Cutting Unit for One-saw Circular Butting Machine.....	90

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>V.T. Kharitonenko.</i> Improvement of Mechanical-repair Mill Preparation of Pulp-and-paper Industry.....	96
<i>A.V. Vurasko, A.Ya Ageev.</i> Rheological Characteristics of Dispersion System Alkali-Surface Active Agent-Anthraquinone.....	100
<i>I.Ya. Kiselev.</i> Study of Qualitative Composition of Pigments in Leaves' Autumn Color of Some Woody Plants.....	106
<i>O.S. Beusheva, N.P. Musko, M.M. Chemeris.</i> Mathematical Model for Process of Larch Explosive Autohydrolysis.....	113

---

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

- A.A. *Zubko*. Economic Organization of Forest Management in Municipal Forests... 117  
M.D. *Nekrasov*. On Economic Assessment of Forest Resources..... 123

*METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING*

- A.V. *Volokitina*, M. A. *Sofronov*, T.M. *Sofronova*. Teaching Programme for Predicting Behavior of Creeping Forest Fires..... 130

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING*

- E.I. *Hermer*. Water and Energy as Ecological Characteristics of Production Processes Requiring Norm-setting..... 136  
B.V. *Labudin*, R.P. *Matveev*, R.S. *Sanzharovsky*. Criteria of Compressed-bent Bars Sustainability Reinforced by Titanic Elements ..... 140
-



УДК 630\*114(470.40/.43)

*А.Х. Газизуллин*

Газизуллин Ахмадулла Хадеевич родился в 1931 г., окончил в 1955 г. Поволжский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования Марийского государственного технического университета. Имеет более 200 печатных работ в области исследования почв лесных экосистем Среднего Поволжья, их генезиса, свойств и связи с составом и продуктивностью древостоев.



### **РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И ПОЧВЫ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

Раскрыты региональные особенности почвообразования. Приведен перечень наиболее распространенных лесных почв региона, дана оценка их лесорастительных свойств. Более детально охарактеризованы коричнево-бурые лесные почвы, строение их профиля, генезис, свойства, плодородие; показано их отличие от дерново-подзолистых и серых лесных почв региона.

*Ключевые слова:* Среднее Поволжье, почвообразование, почвенный покров, элювий коренных пород, лесорастительные свойства, продуктивность лесов, псевдоподзоливание.

Исследование лесных почв центральной полосы Среднего Поволжья в пределах республик Марий Эл, Татарстан, а также южной части Кировской и Нижегородской, северной части Ульяновской и Самарской областей проводится нами с 1960-х гг. Исследования позволили выяснить эколого-генетические особенности и закономерности географического распространения основных типов лесных почв Среднего Поволжья, установить их производительную способность, взаимосвязь с лесной растительностью, разработать принципы повышения продуктивности и устойчивости лесов.

Среднее Поволжье, как и Предуралье, в природном отношении является одним из наиболее сложных и самобытных ландшафтов Восточно-Европейской равнины. По сравнению с ее западными областями здесь значительно возрастает континентальность климата, выпадает меньше осадков. В то же время соотношение тепла и влаги в центральной полосе региона близко к единице. Это способствует, с одной стороны, протеканию различно направленных почвообразовательных процессов и формированию разнооб-

разных почв, от подзолистых и болотных до типичных и выщелоченных черноземов; с другой – обеспечивает оптимальные климатические условия для произрастания и высокой продуктивности древесной и травянистой растительности. Наряду с климатом, большое разнообразие почв региона связано с расчлененным рельефом и выходом коренных пород на дневную поверхность. Геологическая структура земной коры создает непростую мозаику форм рельефа, что усложняет границы климато-ландшафтных зон. В качестве основных почвообразующих пород данной территории выступают элювий и делювий коренных пермских, юрских и меловых пород, а также четвертичные лессовидные и покровные суглинки и глины. На среднечетвертичных террасах рек и Марийской песчаной равнине почвообразующими породами являются древнеаллювиальные и флювиогляциальные пески и супеси, а в поймах рек современные аллювиальные отложения. Рассматриваемая территория не подвергалась четвертичному оледенению, поэтому здесь нет гляциальных отложений.

По лесорастительному районированию России район исследования охватывает зону смешанных и широколиственных лесов, а также лесостепную зону [17]. Под лесной растительностью в зависимости от сочетания факторов почвообразования сформировались подзолистые, подзолисто-болотные, серые лесные и лесостепные, бурые лесные, коричнево-бурые лесные почвы, рендзины, черноземы, в поймах рек – пойменные аллювиальные почвы.

В Предволжье светло-серые и серые лесные почвы сформировались преимущественно на лессовидных суглинках, реже на элювии юрских и меловых глин. На юго-западе Республики Татарстан в качестве почвообразующих распространены серые юрские и темно-серые и табачно-бурые меловые преимущественно тяжелые глинистые отложения, характеризующиеся карбонатностью и слабой выщелоченностью. На них формируются преимущественно темно-серые лесостепные почвы и черноземы: оподзоленные, выщелоченные и типичные. По сравнению с идентичными почвами, развитыми на делювиальных лессовидных суглинках и глинах, почвы, сформировавшиеся на юрских и меловых глинах, имеют более укороченный, менее дифференцированный по гранулометрическому и валовому химическому составу профиль. Карбонатный горизонт залегает обычно на глубине около 100 см, материнская порода часто имеет признаки оглеения. Под лесной и луговой растительностью эти почвы имеют хорошо выраженную структуру, высокую гумусированность, с преобладанием в составе гуминовых кислот, близкую к нейтральной или слабнокислую реакцию. Лесорастительные свойства позволяют выращивать высокопродуктивные дубовые насаждения с примесью весьма требовательной к плодородию почвы породы – ясеня обыкновенного [1, 9]. Однако площадь их под лесом незначительна, ибо большая часть занята сельхозугодьями.

В Марийской низменной песчаной равнине преимущественно распространены дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы. Значительное участие в составе почвенного покрова принимают болотно-

подзолистые и болотные почвы, встречаются также кислые светло-бурые и бурые лесные почвы на двучленных наносах [4, 9]. На подзолистых песчаных почвах произрастают преимущественно сосняки лишайниковые, лишайниково-мшистые, мшистые, брусничные, черничные II–III классов бонитета [4].

В восточной возвышенной части Республики Марий Эл в области Вятского увала, а также на пермском возвышенном плато Предкамья и в восточном Закамье Республики Татарстан в местах выхода на дневную поверхность отложений татарского и реже казанского ярусов пермской системы, на их дериватах, богатых карбонатами и несиликатными оксидными формами железа, формируются своеобразные почвы, отнесенные нами к коричнево-бурым лесным, отличающимся как от подзолистых, так и от серых лесных [2, 3, 6–8, 10, 11]. В «Классификации и диагностике почв СССР» [16] эти почвы отнесены к типу серых лесных почв и выделены лишь на уровне рода пестроцветных. С.В. Зонн [14, 15] связал буроземообразование с двумя биогеохимическими факторами: минералогическим богатством почвообразующих пород и интенсивностью биологического круговорота органических и минеральных веществ, нейтрализующих кислые продукты гидролиза и способствующих аккумуляции  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  в гумусовых горизонтах.

В процессе исследования почвенного покрова лесов Среднего Поволжья нами установлено, что в автоморфных условиях для почв, формирующихся под пологом широколиственных и смешанных хвойно-лиственных и даже хвойных фитоценозов на пермских красноцветных отложениях, более всего характерны процессы буроземообразования. Это обусловлено богатым минералогическим составом пермских отложений, особенно оксидами железа и карбонатами кальция, а также высоким биохимическим потенциалом природных ландшафтов региона. В результате обеспечивается высокая продуктивность лесных экосистем и интенсивный биологический круговорот веществ, следовательно, создаются необходимые предпосылки для буроземообразования и формирования бурых лесных литогенных почв. Литогенность коричнево-бурых лесных почв, сформировавшихся на красноцветных пермских отложениях, бесспорна и проявляется как под лесными формациями, так и под сельскохозяйственными угодьями. Их профиль слабо дифференцирован и под пологом лесных фитоценозов имеет следующее строение: A0-A1-AB-Vt-BC-Cca. Исходя из этого положения, в пределах типа мы выделили следующие подтипы коричнево-бурых лесных почв: коричнево-бурые лесные типичные, коричнево-темно-бурые лесные, коричнево-бурые лесные лессивированные (оподзоленные), коричнево-бурые лесные псевдоподзолистые (поверхностно-глееватые).

Первые два подтипа признаков оподзоленности не имеют, чем существенно отличаются от серых лесных почв с признаками оподзоливания. По этому признаку они близки к рендзинам, а также типичным и выщелоченным черноземам. Их профиль слабо дифференцирован, состоит из следующих горизонтов: A0-A1-AB-Vt-C. Окраска гумусового горизонта коричнево-

темно-бурая или темно-коричневая с бурым оттенком, структура комковато-зернистая, переходящая в иллювиальном горизонте в ясно выраженную комковатую. Глубина залегания карбонатов варьирует в пределах 40 ... 120 см. Лесная подстилка мулевая или модер-мулевая. Микроморфологические исследования показали биогенное происхождение структурных агрегатов, высокую степень переработки органического вещества микрофауной. Нет следов подвижки тонкодисперсных веществ в горизонте A1, а также натечных форм иллювиирования и признаков лессиважа в горизонте Bt.

На коричнево-бурых лесных типичных и коричнево-темно-бурых лесных почвах, в южной подзоне хвойно-широколиственных и в зоне широколиственных лесов, в условиях хорошего дренажа и при глубоком залегании грунтовых вод формируются высокопродуктивные широколиственные формации – дубравы и липняки I–II классов бонитета. В Предволжье самые восточные пункты произрастания ясеня обыкновенного приурочены к коричнево-бурым лесным почвам. На менее дренированных участках зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов, особенно в ее северной подзоне, произрастают высокопродуктивные темнохвойные формации – ельники и пихтарники сложные с липой I–IIa классов бонитета. При этом доля участия пихты сибирской в составе елово-пихтовых древостоев возрастает по мере улучшения дренажа местности [7, 9, 13].

Коричнево-бурые лессивированные почвы имеют следующий профиль: A0-A1-A1A2 $\ell$ (A2 $\ell$ )-A2 $\ell$ B-Bt-Cca. Лессиваж определяется C.V. Зонном [14, 15] как текстурно-химическая дифференциация профиля под влиянием слабокислых растворов, обеспечивающих частичное перемещение ила без его разрушения, а также частичное перемещение органо-железистых соединений и подвижных аморфных форм железа. Застой влаги на стадии лессиважа настолько кратковременен, что морфологически восстановительные явления в почве не проявляются. Для лессиважа не характерны переход железа в закисные подвижные формы и последующее превращение его в окристаллизованные и тем более сегрегационные формы в виде конкреций.

Коричнево-бурые лесные псевдоподзолистые почвы формируются обычно на плоских выровненных или пониженных участках водораздельных плато, периодически испытывающих избыточное увлажнение. В живом напочвенном покрове преобладают виды, являющиеся индикаторами влажных местообитаний: таволга вязолистная, вербейник обыкновенный, гравилат речной и др. Профиль имеет следующее строение: A0-A1(A1g)-A2 $\ell$ (A1A2 $\ell$ )g-A2 $\ell$ B-Bt1-Bt2-C-D, иногда ниже горизонта A0 залегает органо-минеральный горизонт A0A1.

Псевдоподзоливание [2, 3] – элементарный процесс, который по внешнему проявлению (белесоватость горизонта A2 $\ell$ g) сходен с подзолообразованием, но по своей природе существенно отличается от последнего. В основе псевдоподзоливания лежит сезонная смена окислительно-восстановительных режимов, которые определяют мобилизацию подвижных гумусовых кислот. Во влажный период при преобладании восстанови-

тельного процесса она способствует образованию закисных форм железа, их местной (в пределах увлажненной толщи) миграции. В засушливый период при эвапотранспирации избытка влаги из переувлажненной толщи железо сегрегируется в сгустки, микро- и макроконкреции преимущественно в осветленном и верхней части оглиненного горизонтов. Генезис псевдоподзолистых почв связан с суглинистым и глинистым составом почвообразующих пород, их геологической и почвенно-геологической двучленностью, равнинным или слабоволнистым рельефом, поверхностным периодическим переувлажнением почвы.

Гранулометрический состав подтипов коричнево-бурых лесных почв показывает идентичность их текстурной дифференциации. Минимум ила и физической глины приходится на горизонт A1, с глубиной их содержание плавно возрастает и достигает максимума в оглиненном горизонте Bt. В нижней части горизонта A1 и лессивированном горизонте A2ℓB в отличие от подзолистых и серых лесных почв не снижается содержание ила. Характер распределения ила и физической глины в коричнево-бурых лесных почвах аналогичен таковому в выщелоченных черноземах.

Лессивированные и псевдоподзолистые коричнево-бурые лесные почвы по лесорастительным свойствам не уступают типичным, так как развиваются в лучших условиях увлажнения. В северной подзоне смешанных лесов региона на плато Вятского увала более распространены коричнево-бурые лесные лессивированные и коричнево-бурые псевдоподзолистые почвы, которые также характеризуются высокими лесорастительными свойствами. К ним приурочены высокопродуктивные коренные темнохвойные и производные мелколиственные формации I–Ia классов бонитета.

Сосновая формация в районе распространения коричнево-бурых лесных почв представлена преимущественно искусственными насаждениями, произрастающими по I, Ia и Ib классам бонитета.

О лесорастительных свойствах коричнево-бурых лесных почв можно объективно судить по материалам лесоустройства 2001 г., проведенного в Сабинском лесхозе Республики Татарстан (покрытая лесом площадь превышает 55,3 тыс. га), на территории которого преобладают коричнево-бурые лесные суглинистые почвы. Из 22,4 тыс. га хвойных насаждений 93 % произрастают по I–Ia и Ib и лишь 7 % по II классу; 94,2 % дуба высокоствольного – по II и выше классам бонитета; березняки и осинники – по Ia и I классам. Продуктивность липовых насаждений несколько понижена, 70 % липняков растут по II и 30 % по III классу бонитета, что связано в первую очередь с накоплением перестойных древостоев липы вследствие запрещения рубок главного пользования вокруг пасек.

Районы распространения коричнево-бурых лесных почв региона (область Вятского увала, Предкамское плато) характеризуются относительно малой лесистостью, ибо с давних пор вследствие более высокого плодородия почв обезлесены и интенсивно освоены под сельхозугодья.

В условиях региона в зоне смешанных и широколиственных лесов значительную площадь занимают почвы, сформировавшиеся на двучленных

и многочисленных наносах и на песках под пологом широколиственных, хвойно-широколиственных и сосновых формаций, характеризующиеся своеобразным строением профиля и свойствами, отличными от таковых для подзолистых и серых лесных почв. В них морфологически не выражены подзолистые и иллювиальные горизонты. Их профиль не дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу, напротив, для них характерна отчетливая аккумуляция в гумусовом горизонте илистой фракции, физической глины, полуторных оксидов, валовых кальция, магния, а также поглощенных оснований с последующим постепенным убыванием их с глубиной. Эти почвы отнесены нами к типу бурых лесных почв [2–4, 6, 7, 10], которые обладают также относительно высокими лесорастительными свойствами и в зависимости от глубины залегания подстилающих пород и условий увлажнения позволяют выращивать высокопродуктивные сложные сосновые и березовые насаждения. При близком залегании к дневной поверхности подстилающих суглинков на них произрастают также ельники и широколиственные формации I–II классов бонитета.

В Закамской лесостепи состав почвенного покрова под лесной растительностью обусловлен сочетанием почвообразователей и зависит в первую очередь от рельефа местности и характера почвообразующих пород.

В Западной низменной равнинной половине на четвертичных лессовидных и делювиальных суглинках преобладают серые лесостепные почвы и черноземы оподзоленные, выщелоченные и типичные. В восточной возвышенной части, где близко к дневной поверхности залегают коренные породы пермской системы, на их элювии и элювиально-делювиальных отложениях сформировались коричнево-бурые лесные почвы и черноземы выщелоченные и типичные. Реже встречаются рендзины. На лессовидных суглинках развиты как черноземы, так и темно-серые и серые лесостепные почвы. Здесь произрастают широколиственные и производные мелколиственные леса естественного происхождения I–II классов бонитета. Хвойные формации искусственного происхождения также занимают значительную площадь и характеризуются высокой продуктивностью, растут по I и Ia классам бонитета [1, 5, 9, 12].

#### *Выводы*

Почвенный покров Среднего Поволжья характеризуется большой сложностью, разнообразием состава; подзолообразовательный процесс выражен слабо, преобладают процессы буроземообразования, в лесостепи – дерновый.

Лесные почвы в целом обладают высоким потенциальным и эффективным плодородием, позволяют выращивать высокопродуктивные древо-стой основных лесобразующих пород региона.

Высокие лесорастительные свойства имеют коричнево-бурые лесные, серые лесные и лесостепные суглинистые почвы, а также бурые лесные песчаные и супесчаные почвы на двучленных наносах.

Несмотря на то, что дуб, ясень, ель и пихта в регионе произрастают на границе своих ареалов, благодаря хорошим лесорастительным свойствам почв они формируют высокопродуктивные насаждения. При этом неблагоприятные климатические факторы как бы компенсируются высоким плодородием почв, что отмечалось и другими учеными-лесоведами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Газизуллин, А.Х.* Почвы и производительность древостоев Среднего Поволжья и способы изучения взаимосвязи между почвой и насаждениями для оценки лесорастительных свойств почв региона [Текст] / А.Х. Газизуллин, В.Н. Смирнов // Пути и методы лесорастительной оценки почв и повышения их продуктивности: тез. докл. Всесоюз. совещ. – М., 1980. – С. 45–46.
2. *Газизуллин, А.Х.* Бурые лесные почвы широколиственных и хвойно-широколиственных лесов Среднего Поволжья на двучленных наносах [Текст] / А.Х. Газизуллин, Б.Д. Хасаншин // Почвоведение. – 1980. – № 11. – С. 117–130.
3. *Газизуллин, А.Х.* Бурые лесные почвы сосновых лесов Среднего Поволжья [Текст] / А.Х. Газизуллин, Б.Д. Хасаншин // Почвоведение. – 1986. – № 1. – С. 10–22.
4. *Газизуллин, А.Х.* О взаимосвязи почв и лесной растительности в условиях песчаной низменной равнины Марийской АССР [Текст] / А.Х. Газизуллин, К.К. Захаров, Р.Н. Шарафутдинов. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1987. — С. 33–37.
5. *Газизуллин, А.Х.* Рост и производительность культур ели в лесостепи Среднего Поволжья [Текст] / А.Х. Газизуллин // Лесоведение. – 1990. – № 3. – С. 20–26.
6. *Газизуллин, А.Х.* Соединения оксидов железа в основных типах лесных почв Среднего Поволжья [Текст] / А.Х. Газизуллин, А.Т. Сабиров // Почвоведение. – 1991. – № 3. – С. 37–55.
7. *Газизуллин, А.Х.* Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / А.Х. Газизуллин. – Йошкар-Ола, 1993. – 50 с.
8. *Газизуллин, А.Х.* Генезис почв, сформировавшихся на красноцветных пермских отложениях Среднего Поволжья и Предуралья [Текст] / А.Х. Газизуллин // Почвоведение. – 1995. – № 9. – С. 1071–1081.
9. *Газизуллин, А.Х.* Взаимосвязь почв и лесной растительности Среднего Поволжья [Текст] / А.Х. Газизуллин, А.Т. Сабиров, А.З. Нагимов // Почвоведение. – 1996. – № 12. – С. 1523–1529.
10. *Газизуллин, А.Х.* Коричнево-бурые лесные лессивированные и псевдоподзолистые почвы Среднего Поволжья: генезис и свойства [Текст] / А.Х. Газизуллин, А.Т. Сабиров // Почвоведение. – 1997. – № 6. – С. 735–742.
11. *Газизуллин, А.Х.* Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах лесов Среднего Поволжья и Предуралья [Текст] / А.Х. Газизуллин, А.Т. Сабиров. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 204 с.
12. *Газизуллин, А.Х.* Экологические условия и генезис лесостепных черноземов Среднего Поволжья [Текст] / А.Х. Газизуллин, А.Т. Сабиров, А.М. Гилаев // Почвоведение, 1998. – № 2. – С. 140–147.
13. *Газизуллин, А.Х.* Пихта сибирская в лесах Среднего Поволжья [Текст]: науч. изд. / А.Х. Газизуллин, Р.Н. Минниханов, А.М. Гилаев, В.Н. Гиззатуллин. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 240.

14. Зонн, С.В. Буроземообразование, псевдоподзоливание и подзолообразование [Текст] / С.В. Зонн // Почвоведение. – 1966. – № 7. – С. 5–15.

15. Зонн, С.В. Генетические особенности буроземообразования и псевдоподзоливания [Текст] / С.В. Зонн // Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах Русской равнины. – М.: Наука, 1974. – С. 9–83.

16. Классификация и диагностика почв СССР [Текст] / Сост. В.В. Егоров [и др.]. – М.: Колос, 1977. – 224 с.

17. Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование СССР [Текст] / С.Ф. Курнаев. – М.: Наука, 1973. – 203 с.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 26.12.03

*A.Kh. Gasisullin*

### **Regional Peculiarities of Soil Formation and Forest Soils of Middle Povolzhje Central Part**

Regional peculiarities of soil formation are revealed. A list of the most common forest soils in the region is provided, their forest-growing conditions are assessed. Brown forest soils, soil profile structure, genesis, properties, fertility are characterized in more details; their difference from sod-podzol and grey forest soils of the region is shown.

---

УДК 631.6.02

**В.М. Ивонин, О.В. Перфильев, И.В. Воскобойникова**

Ивонин Владимир Михайлович родился в 1938 г., окончил в 1969 г. Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и лесных мелиораций Новочеркасской государственной мелиоративной академии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 печатных работ в области экологии и лесной мелиорации.



Воскобойникова Инна Владимировна родилась в 1968 г., окончила в 2003 г. Новочеркасскую государственную мелиоративную академию, аспирант кафедры экологии и лесных мелиораций НГМА. Имеет одну печатную работу в области лесных мелиораций.

**О ВЛИЯНИИ ПЛОТНОСТИ ПОЧВ НА ЭРОЗИЮ ПРИ АНТРОПОГЕННОЙ ДИГРЕССИИ ГОРНЫХ ЛЕСОВ**

Показано, что при уплотнении бурых лесных почв на вырубках горных склонов снижается водопроницаемость, растут интенсивность стока и эрозия. Водопроницаемость может определять взаимосвязь эрозии с поверхностными оползнями. Эрозия серо-коричневых почв и щебенистых черноземов прямо связана с плотностью, которая служит диагностическим признаком стадии рекреационной дигрессии.

*Ключевые слова:* горные леса, дигрессия, вырубка, почва, эрозия.

При антропогенной дигрессии горных лесов (под влиянием рубок, тракторной трелевки, рекреационных нагрузок) эрозию во многом определяют водно-физические характеристики почв, важнейшей из которых является плотность. От нее зависят порозность, сцепление между частицами и агрегатами почвы. Порозность связана с водопроницаемостью (интенсивностью впитывания воды) почв, сцепление – с допустимой (неразмывающей) донной скоростью течения потоков, характеризующей эрозию.

По мнению Ц.Е. Мирцхулавы [8], допустимые скорости течения потоков возрастают по мере уплотнения связных грунтов в состоянии полного водонасыщения. Иначе говоря, чем плотнее грунты, слагающие русла рек и каналов, тем меньше эрозия.

При определении допустимых скоростей водных потоков во время размыва образцов грунта в гидравлических лотках считают, что если соблюдать принцип единственного различия в эксперименте, то четко проявляется прямая зависимость эрозии от плотности грунтов [6]. Поэтому известную гидромеханическую модель Ц.Е. Мирцхулавы [7], оценивающую противозерозионную стойкость связных грунтов через неразмывающую скорость потоков, М.С. Кузнецов [5] модернизировал для почв. По модели М.С. Кузнецова, с возрастанием плотности и уменьшением порозности почв увеличивается донная размывающая скорость водных потоков, т. е. уменьшается эрозия. Это не всегда соответствует данным натуральных наблюдений, осо-

бенно на почвах, обладающих высокой водопроницаемостью (черноземы, бурые лесные почвы и др.). Например, после прохода трактора вдоль склона эрозия активизируется в местах уплотнения почвы по колее.

Эти разногласия можно объяснить методиками исследований: при моделировании эрозии в гидравлическом лотке исключают фактор водопроницаемости почв, а в натуральных экспериментах интенсивность впитывания воды играет главенствующую роль.

Особенно велико значение плотности и водопроницаемости почв как факторов эрозии в деградированных горных лесах. Поэтому нами в 1998 – 2003 гг. проведены опыты по изучению влияния плотности на эрозию бурых лесных, серо-коричневых и других почв в горных лесах Краснодарского и Ставропольского краев.

Вариантами опытов служили элементы вырубок разного возраста и участки лесов разной степени рекреационной дигрессии по ОСТ 56–100–95 [9]. При невозможности выделения участков с разной степенью дигрессии моделировали рекреационные нагрузки – при «шагании» человека средней массы со скоростью 3,5 км/ч (60 м/мин) на площадках 1,43 × 0,7 м. По вариантам площадок моделировали рекреационные нагрузки 0, 1, 3, 5, 7, 9 и 11 чел./га. В каждом варианте опытов проводили искусственное дождевание и изучали эрозию почв. Подробная методика этих исследований опубликована ранее [4].

По вариантам отбирали образцы почв из слоя 0 ... 20 см согласно ГОСТ 12071–72, лесной подстилки (ЛП) и живого напочвенного покрова (ЖНП). В образцах почв определяли водно-физические свойства по ГОСТ 5180–84 и прочностные характеристики по ГОСТ 12248–78, а образцы ЛП и ЖНП доводили до воздушно-сухого состояния и взвешивали.

Известно, что при антропогенной деградации лесов происходят как уплотнение почвы, так и сдирание (частичное или полное) лесной подстилки. Поэтому при регрессионном анализе данных наших исследований на вырубках Пшишского лесхоза Краснодарского края [1] были получены следующие зависимости (бурые лесные почвы, слой дождя 90 мм, интенсивность 3 мм/мин):

$$\sigma = 1,05\gamma - 0,08m - 0,83 \quad \text{при } R = 0,738 \pm 0,118; \quad (1)$$

$$\mathcal{E} = 7,48\gamma - 0,12m - 8,57 \quad \text{при } R = 0,744 \pm 0,105, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – коэффициент ливневого стока;

$\mathcal{E}$  – эрозия почв, т/га;

$\gamma$  – плотность слоя почв 0 ... 20 см, г/см<sup>3</sup>;

$m$  – воздушно-сухая масса ЛП и ЖНП, т/га;

$R$  – коэффициент множественной корреляции.

Согласно выражениям (1) и (2), ливневый сток и эрозия находятся в прямой зависимости от плотности почв и в обратной – от воздушно-сухой массы ЛП и ЖНП. Эти показатели определяют водопроницаемость (интенсивность впитывания воды): плотность – через порозность почв; лесную подстилку и живой напочвенный покров – через их влагоемкость, защитную

(от запыливания поверхности под ударами капель) роль, способность постепенной отдачи почве накопленной воды. Поэтому по элементам вырубок (пасеки, волоки и др.) эрозия почв связана обратной зависимостью с интенсивностью впитывания:

$$\Theta = 4,7 - 1,6 I_{\text{в}} \quad \text{при } r = -0,820 \pm 0,086, \quad (3)$$

где  $I_{\text{в}}$  – интенсивность впитывания воды, мм/мин,  $I_{\text{в}} = h / (T + t)$  ( $h$  – слой дождя, мм;  $T$  – продолжительность дождевания, мин;  $t$  – время добега сточа по площадке после прекращения дождя, мин);

$r$  – коэффициент парной корреляции.

В то же время интенсивность впитывания связана и со сцеплением ( $C$ , МПа), т. е. основной силой, сохраняющей устойчивость склонов. Эта связь имеет вид

$$C = 0,084 - 0,012 I_{\text{в}} \quad \text{при } r = -0,506 \pm 0,192. \quad (4)$$

Следует отметить, что тройная ошибка коэффициента корреляции уравнения (4) больше самого коэффициента ( $3 \cdot 0,192 > 0,506$ ), значит, уравнение (4) непригодно для прогноза. Однако анализ уравнений (3) и (4) дает основание полагать, что увеличение интенсивности впитывания сточных вод для предупреждения эрозии почв может привести к ослаблению сил сцепления между почвенными частицами и агрегатами с активизацией оползневых процессов. Поэтому с водопроницаемостью бурых лесных почв связаны два геологических процесса – эрозия и оползни. Ослабление одного из них приводит к усилению другого, и наоборот. Так себя проявляет известный закон связи в развитии геологических процессов на вырубках горных склонов [1].

По мере возрастания уклонов местности увеличиваются интенсивность стока и эрозия, особенно там, где поверхность склонов лишена защитного слоя ЛП и ЖНП (трелевочные волоки, технологические дороги, трассы трубопроводов и др.).

Эксперименты, проведенные в Сочинском национальном парке (бурые лесные почвы, слой дождя 75 мм, интенсивность 2,5 мм/мин), позволили получить следующие зависимости [3]:

$$I_{\text{с}} = 2,6\gamma + 1,14i - 2,9 \quad \text{при } R = 0,650 \pm 0,139; \quad (5)$$

$$\Theta = 9,9\gamma + 71,81i - 23,86 \quad \text{при } R = 0,552 \pm 0,164, \quad (6)$$

где  $I_{\text{с}}$  – интенсивность стока, мм/мин,  $I_{\text{с}} = h_{\text{с}} / T_{\text{с}}$  ( $h_{\text{с}}$  – слой стока, мм;  $T_{\text{с}}$  – продолжительность стока, включая время добега воды после прекращения дождя, мин).

Согласно выражениям (5) и (6), на вырубках горных склонов при сильном повреждении или полном уничтожении лесной подстилки и живого напочвенного покрова, по мере уплотнения верхнего слоя бурых лесных почв снижается их водопроницаемость, увеличиваются интенсивность стока и эрозия. Сравнивая формулы (2) и (6), можно заключить, что отсутствие ЛП и ЖНП вызывает усиление плотности почв в эрозионных процессах. Плотность прямо влияет на эрозию до тех пор, пока водопроницаемость плотных почв не снизится до определенного значения, которым можно пре-

небрежь. Тогда при дальнейшем возрастании плотности возможно уменьшение эрозии. Наблюдения на магистральных волоках и лесовозных дорогах (где почва уничтожена) показали, что при достижении плотности верхнего слоя грунта около  $1,6 \text{ г/см}^3$  водопроницаемость снижается до пренебрежимо малой величины и уже не влияет на эрозию.

В регионе Кавказских Минеральных Вод (КМВ) на серо-коричневых почвах и предгорных черноземах гор – лакколитов антропогенная деградация лесов происходит под влиянием рекреации. Здесь исследования провели в различных типах лесов Бештаугорского лесхоза, где в 2000–2001 гг. подобрали опытные участки, имитировали рекреационные «шаговые» нагрузки и выполнили дождевание по вариантам (слой дождя 80 мм, интенсивность 2 мм/мин). Результаты этой работы приведены в табл. 1.

Из данных таблицы следует, что при имитации рекреационных нагрузок не обнаружено связей сцепления с плотностью и эрозией почв. Можно полагать, что сцепление обусловлено главным образом связующим (между агрегатами) действием корневых систем. Поэтому рекреационные нагрузки на серо-коричневые почвы не вызывают опасности активизации оползней. Однако характеристики стока тесно связаны с рекреационными нагрузками через плотность верхнего слоя почв, массу лесной подстилки и живого напочвенного покрова:

$$\sigma = 1,09\gamma - 0,01m - 1,10 \quad \text{при } R = 0,644 \pm 0,111. \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) показывает, что плотность почвы является ведущим фактором формирования стока при ливнях. Воздушно-сухая масса ЛП и ЖНП в широколиственных лесах КМВ не превышает 10 ... 13 т/га.

Таблица 1

2

Вариант рекреационной нагрузки	Воздушно-сухая масса ЛП и ЖНП, т/га	Плотность почв, $\text{г/см}^3$	Сток, мм	Коэффициент стока	Эрозия почв, т/га	Сцепление, МПа
--------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	----------	-------------------	-------------------	----------------

Опыт 1 (дубрава ясенево-кленовая, возраст 55 лет, склон крутизной  $6,0^\circ$ )

Контроль (без нагрузки)	12,32	1,02	0	0	0	0,025
Нагрузка, чел./га:						
1	9,57	1,07	0	0	0	0,015
3	7,24	1,05	2,6	0,035	0,013	0,025
5	5,42	1,09	2,4	0,030	0,012	0,020
7	3,52	1,10	8,8	0,110	0,070	0,010
9	1,50	1,12	10,0	0,125	0,100	0,010
11	0,60	1,30	9,4	0,117	0,103	0,020

Опыт 2 (бучина дубово-грабовая, возраст 140 лет, склон крутизной  $14,5 \dots 17,0^\circ$ )

Контроль (без нагрузки)	5,13	1,15	0	0	0	0,005
Нагрузка, чел./га:						
1	5,53	1,16	0,3	0,004	0	0,015

3	2,40	1,16	6,9	0,086	0,221	0,010
5	3,50	1,19	7,2	0,090	0,173	0,020
7	0,10	1,23	10,0	0,125	0,370	0,005
9	0,10	1,24	10,6	0,132	0,530	0,008
11	0,50	1,24	23,1	0,289	1,894	0,015

Опыт 3 (судубрава грабово-ясеневая, возраст 110 лет,  
склон крутизной 8,0...12,0°)

Контроль (без нагрузки)	8,48	1,12	0	0	0	0,005
Нагрузка, чел./га:						
1	8,95	1,13	0	0	0	0,020
3	6,48	1,14	0,3	0,004	0,005	0,020
5	6,29	1,16	1,2	0,015	0,028	0,010
7	4,10	1,17	3,4	0,042	0,051	0,020
9	2,20	1,18	7,8	0,097	0,429	0,005
11	1,40	1,19	15,7	0,196	0,429	0,010

Опыт 4 (субучина грабовая, возраст 110 лет, склон крутизной 9,5...16,0°)

Контроль (без нагрузки)	3,44	1,13	0	0	0	0,010
Нагрузка, чел./га:						
1	2,72	1,15	3,8	0,047	0,004	0,010
3	1,58	1,20	10,4	0,130	0,042	0,020
5	1,37	1,20	16,1	0,201	0,097	0,010
7	1,30	1,22	26,8	0,335	0,858	0,020
9	1,20	1,22	41,1	0,514	5,672	0,020
11	1,00	1,28	52,0	0,650	7,280	0,010

Поэтому, уничтожаясь под рекреационными нагрузками, она слабо влияет на связь между  $\sigma$  и  $m$ . Зависимость эрозии от плотности почвы характеризуется уравнением

$$\mathcal{E} = 15,38\gamma - 17,17 \quad \text{при } r = 0,548 \pm 0,132. \quad (8)$$

Согласно формуле (8), в твердолиственных лесах КМВ эрозия возможна при рекреационном уплотнении слоя 0 ... 20 см серо-коричневых почв более 1,12 г/см<sup>3</sup>. Возрастание эрозии под влиянием рекреационных нагрузок и уклонов местности [2] происходит в соответствии с уравнением

$$\mathcal{E} = 0,226 Rd + 1,428i - 0,816 \quad \text{при } R = 0,52 \pm 0,14, \quad (9)$$

где  $Rd$  – рекреационная плотность, чел./га.

На втором этапе (2002–2003 гг.) исследования проводили в водоохранных лесах КМВ (серо-коричневые почвы и щебенистые черноземы) разной степени рекреационной дигрессии (слой дождя 80 мм, интенсивность 2 мм/мин). Результаты приведены в табл. 2.

По данным таблицы заключаем, что нет тесных связей сцепления с плотностью верхнего слоя почв ( $r = 0,121$ ) и эрозией ( $r = 0,101$ ). Согласно ОСТ 56–100–95, стадии рекреационной дигрессии определяются

Таблица 2

Стадия	Воздушно-	Плотность	Сток,	Коэффициент	Эрозия	Сцепление,
--------	-----------	-----------	-------	-------------	--------	------------

дигрессии	сухая мас- са ЛП и ЖНП, т/га	почв, г/см <sup>3</sup>	мм	стока	почв, т/га	МПа
Опыт 1 (свежая дубрава – 5ДНВ5КЛО, возраст 44 года, склон крутизной 1,5...4,5°)						
Пятая	0	1,28	78,7	0,983	4,15	0,020
Четвертая	3,50	1,37	25,4	0,317	0,34	0,020
Третья	5,50	1,31	11,8	0,147	0,14	0,025
Вторая	9,60	1,14	0	0	0	0,020
Первая	8,90	1,13	0	0	0	0,020
Опыт 2 (свежая дубрава – 5 ДНН5ЯО, возраст 61 год, склон крутизной 2,0...2,5°)						
Пятая	1,80	1,19	11,5	0,144	0,50	0,015
Четвертая	2,90	1,15	3,0	0,037	0,20	0,015
Третья	2,80	1,24	2,0	0,025	0,12	0,015
Вторая	4,10	1,06	0	0	0	0,020
Первая	10,30	1,10	0	0	0	0,015
Опыт 3 (свежая дубрава – 8ЯО1КЛО1ДНН, возраст 131 год, склон крутизной 1,0...3,5°)						
Пятая	0	1,18	31,4	0,392	1,53	0,025
Четвертая	1,80	1,16	13,8	0,172	0,55	0,020
Третья	3,25	1,12	0,2	0,002	0,01	0,020
Вторая	4,00	1,13	0	0	0	0,030
Первая	5,25	1,12	0	0	0	0,015

Примечание. ДНВ и ДНН – соответственно дуб нагорный высокоствольный и низкоствольный; КЛО – клен остролистный; ЯО – ясень обыкновенный. трансектным методом по соотношению вытоптанной и общей учетной площади лесов. Поэтому при обработке данных табл. 2 получили соотношение

$$m = 9,6 - 1,79 R_{ст} \quad \text{при } r = -0,841 \pm 0,07, \quad (10)$$

где  $R_{ст}$  – стадия рекреационной дигрессии.

Связь между эрозией почв и стадией рекреационной дигрессии характеризуется уравнением

$$\mathcal{E} = 0,448 R_{ст} - 0,835 \quad \text{при } r = 0,605 \pm 0,164. \quad (11)$$

Согласно выражению (11), с возрастанием стадии рекреационной дигрессии водоохраных лесов увеличивается эрозия, так как при этом уплотняется верхний слой почв одновременно с истиранием и передвижением вниз по уклону большей части ЛП и ЖНП. Меньшая их часть втаптывается в почву. Поэтому запишем:

$$R_{ст} = 4,56\gamma - 0,35m - 0,9 \quad \text{при } R = 0,877 \pm 0,059. \quad (12)$$

Подставляя уравнение (12) в равенство (11), получаем

$$\mathcal{E} = 2,05\gamma - 0,16m - 1,24. \quad (13)$$

С использованием полученных уравнений определяли основные диагностические признаки стадии рекреационной дигрессии лесов на серо-коричневых почвах и щебенистых черноземах КМВ по следующей схеме:

– согласно формуле (10) рассчитали воздушно-сухую массу ( $m$ ) ЛП и ЖНП по стадиям рекреационной дигрессии;

– подставив значения воздушно-сухой массы ( $m$ ) в равенство (12), получили значения плотности почв ( $\gamma$ ) для каждой стадии рекреационной дигрессии;

– подставив полученные  $m$  и  $\gamma$  в уравнение (13), для каждой стадии рекреационной дигрессии определили прогнозируемые объемы эрозии почв;

– используя уравнение (9) и рассчитанные объемы эрозии почв для каждой стадии рекреационной дигрессии, нашли соответствующие значения рекреационных нагрузок ( $Rd$ , чел./га) на пологих (до  $10^\circ$ ), покатых ( $20^\circ$ ) и крутых ( $30^\circ$ ) склонах.

Результаты расчетов представлены в табл. 3. Как следует из данных таблицы, плотность верхнего слоя почв может служить одним из основных диагностических признаков стадий рекреационной дигрессии горных лесов. По этому признаку, с учетом лесной подстилки и живого

Таблица 3

Стадия рекреационной дигрессии	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$m$ , т/га	$\Xi$ , т/га	$Rd$ , чел./га, при уклонах		
				0,1763 (10°)	0,3640 (20°)	0,5774 (30°)
Первая	1,01	7,8	0	2,5	1,3	0,03
Вторая	1,10	6,0	0,06	2,8	1,7	0,40
Третья	1,18	4,2	0,52	4,8	3,6	2,30
Четвертая	1,26	2,4	0,97	6,8	5,6	4,30
Пятая	1,34	0,6	1,42	8,8	7,6	6,30

напочвенного покрова, можно прогнозировать эрозию почв по стадиям рекреационной дигрессии лесов и рассчитывать соответствующие рекреационные нагрузки.

Известно, что в лесах допустимы нагрузки, при которых не превышает вторую стадию рекреационной дигрессии [2]. Поэтому на серо-коричневых почвах и щебенистых черноземах лесов КМВ допустимая рекреационная плотность составит: на пологих склонах –  $2,5 \pm 2,8$ ; покатых –  $1,3 \pm 1,7$ ; крутых –  $0,4$  чел./га. На склонах круче  $30^\circ$  в лесах КМВ бездорожная рекреация недопустима.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивонин, В.М. Эрозия почв на вырубках горных склонов [Текст] / В.М. Ивонин, В.А. Тергерян, С.М. Водяной. – Ростов н/Д, 2001. – 150 с.
2. Ивонин, В.М. Рекреационные ресурсы лесов Кавказских Минеральных Вод [Текст] / В.М. Ивонин, И.С. Ковалева, О.В. Перфильев. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 216 с.
3. Ивонин, В.М. Сток и эрозия почв на вырубках в горных лесах [Текст] / В.М. Ивонин, И.В. Каляда // Лесн. хоз-во. – 2003. – № 4. – С. 35–39.
4. Ивонин, В.М. Лесомелиорация ландшафтов (науч. исследования) [Текст] / В.М. Ивонин, Н.Д. Пеньковский. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 152 с.

5. Кузнецов, М.С. Противоэрозионная стойкость почв [Текст] / М.С. Кузнецов. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 136 с.
6. Кузнецов, М.С. Эрозия и охрана почв [Текст] / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 335 с.
7. Мирцхулава, Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии [Текст] / Ц.Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1970. – 240 с.
8. Мирцхулава, Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел [Текст] / Ц.Е. Мирцхулава. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 304 с.
9. ГОСТ 56–100–95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные комплексы: стандарт отрасли. – 14 с.

Новочеркасская государственная  
мелиоративная академия

Главное управление природных ресурсов  
и охраны окружающей среды  
Министерства природных ресурсов РФ  
по Ставропольскому краю

Поступила 25.02.04

*V.M. Ivonin, O.V. Perfiljev, I.V. Voskoboynikova*

### **On Influence of Soil Density on Erosion under Anthropogenic Digression of Mountain Forests**

It is shown that water impermeability decreases, drainage and erosion intensity grow under the compression of brown forest soils on cutting areas on mountain slopes. Water impermeability could determine the interrelation of erosion with surface landslides. Erosion of grey-brown soils and ballast black earth is directly linked with density that serves as a diagnostic indicator of the recreational digression stage.

---

УДК 519.615

*Н.Н. Харченко*

Харченко Николай Николаевич родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат биологических наук, докторант кафедры экологии, защиты леса и охотоведения ВГЛТА. Имеет более 30 научных трудов в области лесной зоологии и экологии животных.



### **ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СТАЦИИ ОБИТАНИЯ НОРНЫХ ЗВЕРЕЙ СРЕДНЕГО ПОДОНЬЯ**

Рассмотрены зоогеографические группировки норных зверей и закономерности их распределения по типам местообитаний Среднего Подонья.

*Ключевые слова:* норные звери, зоогеографические районы, типы местообитаний.

Среднее Подонье расположено в лесостепи, в части, граничащей со степью. Южные районы региона выходят за пределы лесостепи, занимая промежуточное положение. Ландшафт территории представляет собой чередование возвышенностей с низинами; плоских равнин с резко выраженными всхолмлениями; открытых пространств с лесами; более или менее сформированную систему полезащитных лесных полос; а также хорошо развитую гидрогеографическую сеть. В результате образуются чрезвычайно многообразные биотопы, различные по своим характеристикам, в том числе защиты млекопитающих.

Норные звери составляют особую экологическую группу чрезвычайно широкого диапазона. Их образ жизни связан не только с необходимостью защиты от хищников и других факторов беспокойства, хотя именно эта причинно-следственная связь наиболее очевидна. Жизнь в норе спасает от резких суточных и сезонных перепадов погодных и климатических условий. Добывание пищи в напочвенном покрове и в горизонтах почвы также ведет к норному образу жизни. Звери многих видов укрываются в полостях почвы, иногда несколько преобразуя их, или делают ходы в легком субстрате напочвенной подстилки, не имея специализированных для рытья органов и раздвигая ее всем своим клиновидным телом. Такой способ проделывания ходов обеспечивает сбор пищи, но не позволяет создать достаточно защищенной от хищников норы. Поэтому землеройки, например, в процессе эволюции выработали физиологический способ защиты (отпугивающий секрет пахнущих желез), а ежи приобрели защитный колючий панцирь. Другие виды (кроты, слепыши и т. д.) освоили подземное добывание пищи, перейдя практически к постоянному обитанию в почве и превратившись в высокоспециализированных землероев.

Учитывая сказанное, зоогеографический анализ норных зверей Среднего Подонья представляет определенный научный интерес.

**Принадлежность норных зверей Среднего Подонья к географическим группам фауны России**

Географическая группа фауны	Вид норных зверей
Южная	Белогрудый еж, малая белозубка, белобрюхая белозубка, корсак, малый суслик, крапчатый суслик, степной сурок, обыкновенный еруманчик, южная мышовка, темная мышовка, степная мышовка, лесная мышь, мышь-малютка, обыкновенный хомяк, серый хомячок, обыкновенная полевка, рыжая лесная полевка, обыкновенная слепушонка, обыкновенный слепыш (19 видов, или 32,2 %)
Восточная	Обыкновенный восточный еж, ушастый еж, русская выхухоль, енотовидная собака, степной хорь, перевязка, большой тушканчик, полевая мышь, степная пеструшка, восточно-европейская полевка (10 видов, или 17,0 %)
Северная	Лесная мышовка, темная полевка (2 вида, или 3,4 %)
Западная	Обыкновенный крот, малая кутора, европейская норка, черный хорь, речной бобр, соня-полчок, садовая соня, лесная соня, орешниковая соня, желтогорлая мышь, черная крыса (11 видов, или 8,6 %)
Широкого распространения	Обыкновенная бурозубка, средняя бурозубка, малая бурозубка, крошечная бурозубка, водяная кутора, волк, лисица, ласка, горностаи, американская норка, барсук, выдра, домовая мышь, серая крыса, ондатра, водяная крыса, полевка-экономка (17 видов, или 28,8 %)

Распределение норных зверей по крупным географическим группам в определенной мере условно, тем не менее приведенные в таблице данные представляют достаточно четкую картину.

Южные и восточные (скорее юго-восточные) виды вместе составляют наиболее многочисленную группу. В абсолютном большинстве эти норные звери являются степными обитателями (суслики, степной сурок, обыкновенный хомяк, серый хомяк, большой тушканчик, степной хорь, перевязка, степная пеструшка и др.). Из сугубо лесных можно назвать только белозубок, лесную мышь и рыжую лесную полевку. Особое место здесь занимает типичный представитель восточной фауны – енотовидная собака, продвижение которой на запад связано исключительно с ее целенаправленной интродукцией.

Северные виды на Среднем Подонье буквально единичны (лесная мышовка, темная полевка). Их ареалы относительно обширны и охватывают, главным образом, лесную зону, проникая в лесостепь по лесистым поймам рек.

Присутствие западных видов простирается в юго-западном и северо-западном направлениях. Их распространение от сравнительно локального (русская выхухоль, европейская норка, речной бобр) до сплошного (обыкновенный крот, черный хорь, лесная соня, черная крыса и др.) за Урал

практически не отмечено. Основу этой группы составляют лесные или тяготеющие к древесно-кустарниковой растительности виды.

Виды норных зверей широкого географического распространения являются второй по численности группой на Среднем Подонье. Большинство из них приурочено к пойменным местообитаниям, поросшим лесной растительностью. Однако костяком этой группы выступают признанные виды-убииквисты, получившие широкое географическое распространение, прежде всего, на урбанизированных территориях (волк, лисица, ласка, домовая мышь, серая крыса и др.), а также интродуцированные виды (ондатра, норка американская).

Распространение на Среднем Подонье норных животных в общем соответствует установленным И.И. Барабаш-Никифоровым [1] закономерностям для всей фауны региона по выделяемым этим автором зоогеографическим районам (северный лесостепной, промежуточный и южный степной). Приведенные данные показывают четкое возрастание доли норников с севера на юг, что отражает динамику характера ландшафтов региона и степень освоения территорий хозяйственной деятельностью. Наиболее разнообразен видовой состав норных зверей в лесных местообитаниях региона (19 видов). Вместе с полуводными и околотоводными норниками, населяющими заросшие древесно-кустарниковой растительностью поймы и берега водоемов, они составляют самую многочисленную группу (34 вида, или 57,6 %). Для леса характерны многие насекомоядные звери: из хищников – лесной (черный) хорь и барсук; из грызунов – сони, лесная и желтогорлая мыши, рыжая лесная полевка и т. д. В два раза меньше норных зверей в степных и полевых местообитаниях (17 видов), причем здесь явное первенство принадлежит грызунам.

Таким образом, заключение Н.А. Северцова [2] о том, что «... наша фауна относительно зверей преимущественно лесная», остается верным и 150 лет спустя. Однако многие норники, прежде всего хищные звери, приспособившаяся к жизни в условиях ландшафтов, преобразованных хозяйственной деятельностью человека, становятся все более обычными как в лесах, так и в открытых биотопах. Отмеченная тенденция к увеличению фауны норников, видимо, сравнительно легко реализуется именно в лесостепи и оказывается характерной для всего региона в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барабаш-Никифоров, И.И.* Звери юго-восточной части Черноземного Центра [Текст] / И.И. Барабаш-Никифоров. – Воронеж: Воронеж. кн. изд-во, 1957. – 370 с.
2. *Северцов, Н.А.* Периодические явления в жизни зверей, птиц и гадов Воронежской губернии [Текст] / Н.А. Северцов. – М.: АН СССР, 1950. – 308 с.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

---

*N.N. Kharchenko*

**Territorial Distribution and Burrow Animals Habitat  
in Middle Podonje**

Zoogeographic grouping of burrow animals and regularities of their distribution according to the habitat types in the Middle Podonje are considered.

---

УДК 581.15 + 582.623

**А.А. Афонин**

Афонин Алексей Алексеевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Брянский государственный педагогический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник Брянского государственного университета. Имеет около 30 печатных работ в области саликологии.



### **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДЛИНЫ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН АБОРИГЕННЫХ ВИДОВ ИВ БРЯНСКОГО ЛЕСНОГО МАССИВА**

Приведены статистические характеристики изменчивости длины пыльцевых зерен ( $l$ ) 13 видов ив. Показан упорядоченный характер межвидовой изменчивости  $l$ . Обосновано выделение палинометрических групп видов. Доказано, что  $l$  не является таксономическим признаком. Выявлен параллелизм в распределении  $l$  в разных палинометрических группах. Введено понятие геномного числа  $\Omega$ , обсуждена возможная связь между  $l$  и геномными числами видов.

*Ключевые слова:* ивы, пыльца, изменчивость, хромосомные числа.

На территории Брянского лесного массива (БЛМ) в естественном состоянии произрастает не менее 13 аборигенных видов ив (*Salix* L.; *Salicaceae* Mirb.).

Подрод *Salix* Dumort. – Секция *Pentandrae* Schneid. (*Salicaster* Dumort.): *S. pentandra* L. (пятитычинковая,  $2n = 57, 76$ ). Секция *Amygdalinae* Koch: *S. triandra* L. (трехтычинковая,  $2n = 38, 44, 88$ ). Секция *Salix (Albae)* Dumort.: *S. fragilis* L. (ломкая,  $2n = 38, 72, 76$ ), *S. alba* L. (белая,  $2n = 76$ ).

Подрод *Vetrix* Dumort. – Секция *Nigricantes* Kerner: *S. myrsinifolia* Salisb. (мирзинолистная,  $2n = 114$ ). Секция *Vetrix* Dumort. (*Cinerella* Ser.): *S. caprea* L. (козья,  $2n = 38, 57, 76$ ), *S. cinerea* L. (пепельная,  $2n = 76$ ), *S. aurita* L. (ушастая,  $2n = 38, 76$ ). Секция *Fulvae* Barrat.: *S. starkeana* Willd. (Старке,  $2n = 38, 44$ ). Секция *Vimen* Dumort. (*Viminella* Ser.): *S. viminalis* L. (корзиночная,  $2n = 38$ ), *S. dasyclados* Wimm. (шерстистопобеговая,  $2n = 38, 76$ ). Секция *Daphnella* Ser. ex Duby: *S. acutifolia* Willd. (остролистная,  $2n = 38$ ). Секция *Incubaceae* Kerner: *S. rosmarinifolia* L. (розмаринолистная,  $2n = 38$ ).

В пределах БЛМ большинство перечисленных видов представлено различными таксонами видового ранга: разновидностями, формами, гибридами. Некоторые виды ив – *S. myrtilloides* L. (черниковидная,  $2n = 38$ ; подрод *Chamaetia*), *S. lapponum* L. (лапландская,  $2n = 38, 76$ ; подрод *Vetrix*) – встречаются спорадически. Не исключено нахождение *S. phylicifolia* L. (филиколистной), *S. vinogradovii* Skvorts. (Виноградова). Ряд видов и таксонов видового ранга встречается в культуре, например *S. purpurea* L. (пурпурная) [1].

Столь высокий уровень биологического разнообразия в пределах одного рода древесных растений позволяет предположить и высокий уровень изменчивости пыльцы. Известно [4], что пыльцевые зерна (ПЗ) ив зонопертурного типа (трехкольчатые или трехкольпоратные), продолговато-эллипсоидальные, в полярном положении трехлопастные, в экваториальном – эллиптические. Экина у видов подрода *Salix* характеризуется простой равноячейистой сетчатой скульптурой, ее толщина 1,0 ... 1,7 мкм, у видов подродов *Vetrix* и *Chamaetia* она разноячейисто-сетчатая толщиной 0,8 ... 1,2 мкм. Длина полярной оси ПЗ ( $l$ ) 18 ... 38 мкм. Высокая вариабельность  $l$  у видов *Vetrix* и *Chamaetia* связывалась с внутривидовой полиплоидией. У *S. cinerea* обнаруживались гигантские ПЗ (примерно на 30 % длиннее нормальных).

Ранее мы предпринимали попытки использовать палинометрический анализ для установления связи между размерами ПЗ и числом хромосом в соматических клетках апикальных меристем корней [2]. Известно, что хромосомы ив мелкие (0,5 ... 1,7 мкм), округлые или слабоовальные [3, 8, 9, 11, 12]. До сих пор обсуждается вопрос о числе хромосом у ив; в качестве основного числа обычно принимается  $x = 19$ ; реже допускается существование 22-хромосомных серий ( $x = 11, 22$  и даже 44), которые связываются с хромосомными перестройками [3, 11, 12]. Мы отмечали проблемы геномного анализа, возникающие при классификации структур, образующихся в процессе мейотической конъюгации хромосом (биваленты, униваленты, триваленты, трирадиалы, мультиваленты) [7]. Проблемы полиплоидизации, межвидовой гибридизации и их роли в эволюции ив остаются открытыми [8, 10–12]. Нужно отметить, что при изучении хромосомного аппарата ив использовались лишь традиционные методы цитохимического анализа [3, 9, 12]. В литературе мы не обнаружили ссылок на использование окраски по Фельгену с последующей цитофотометрией, дифференциальной окраски, применения ультрафиолетовой, флуоресцентной и электронной микроскопии, биохимических методов (например изоферментного анализа) и биотехнологий высокого уровня. Экспериментально полученные автополиплоиды ив нам также неизвестны.

Затруднения в прямом подсчете числа хромосом в делящихся клетках ив заставляют искать косвенные пути решения проблемы, например, понятие «число хромосом» подменить понятием «объем хроматина» ( $\Omega$ ). Тогда вместо подсчета хромосом можно рассчитать относительное содержание хроматина в ПЗ – стабильных гаплоидных структурах.

К настоящему времени нами накоплен достаточный объем материала по изменчивости  $l$ , что позволяет сравнить разные виды ив по общей изменчивости данного параметра. Пыльцу собирали в течение 1995–2003 гг. с 13 массовых видов ив БЛМ, перечисленных в начале статьи. Для обозначения видов использовали символы: *pe* – пятитычинковая, *tr* – трехтычинковая, *fr* – ломкая, *al* – белая, *my* – мирзинолистная, *ca* – козья, *ci* – пепельная, *au* – ушастая, *st* – Старке, *vi* – корзиночная, *da* – шерстистопобеговая, *ac* – остролистная, *ro* – розмаринолистная. Сбор материала осуществляли в период массового цветения каждого вида, в границах (контурах) однородных в

эдафо-фитоценоотическом отношении естественных насаждений ив на территории БЛМ. Пыльцу каждого вида собирали в тех насаждениях, где данный вид безусловно доминировал над другими и характеризовался высоким виталитетом. Было заложено 16 пробных участков; для видов *tr*, *ca*, *da* выборки были продублированы. Объем выборок определялся количеством тычиночных особей с типичными видовыми признаками, без видимых повреждений, интенсивно цветущих. Проанализировано 10 174 ПЗ с 245 особей.

С каждой тычиночной особи отбирали не менее 5 сережек с разных побегов в полном цвету. Образцы хранили в холодильнике не более суток. Непосредственно перед анализом смесь пыльцы из всех сережек, собранных с одной особи, без предобработки наносили на предметное стекло. Полученные временные препараты немедленно просматривали под микроскопом «Биолам Р-14» с общим увеличением  $\times 900$ . У зрелых ПЗ с типичной морфологией измеряли  $l$  с помощью окуляр-микрометра (точность  $\pm 0,8$  мкм).

Все ПЗ с одной особи рассматривали как внутрикронную выборку; в дальнейшем внутрикронные выборки одного вида объединяли в видовые – одну (для большинства видов) или две (для *tr*, *ca*, *da*). Для каждой видовой выборки вычисляли общепринятые статистические показатели [5]: средние арифметические значения  $l$  для каждого вида ( $l_{\text{ср}}$ , или  $M$ , мкм), статистические ошибки ( $\pm m$ ), дисперсии ( $\sigma^2$ ), стандартные отклонения ( $\sigma$ ), коэффициенты вариации ( $C$ , %) и относительные статистические ошибки ( $P$ , %). Вычисляли коэффициент корреляции ( $r$ ) между  $l_{\text{ср}}$  и  $\sigma^2$ . Для каждой выборки рассчитывали пределы изменчивости  $l$  при разных уровнях значимости  $p$  [1, 5]. При попарном сравнении  $l_{\text{ср}}$  использовали t-критерий Стьюдента, а при сравнении  $\sigma^2$  – F-критерий Фишера. Различия по  $l_{\text{ср}}$  и  $\sigma^2$  между продублированными выборками *tr* и *ca* были статистически недостоверны ( $p > 0,05$ ), поэтому продублированные выборки объединяли в общие видовые. Межвыборочные различия между продублированными выборками *da* оказались достоверными ( $p < 0,05$ ), поэтому выборки этого вида анализировали отдельно (*da1* и *da2*). Для визуального анализа внутривидовой и межвидовой изменчивости  $l$  использовали полигоны распределения (вариационные кривые), при построении которых для каждой варианты вычисляли средние межиндивидуальные относительные частоты во всей выборке.



Таблица 1

## Внутривидовая изменчивость длины пыльцевых зерен

Названия видов	Основные статистические показатели									Пределы изменчивости длины ПЗ			
	N	Nn	n <sub>ср</sub>	M, мкм	±m	σ <sup>2</sup>	σ	C,%	P,%	lim <sub>0,50</sub>		lim <sub>0,95</sub>	
										M-0,675σ	M+0,675σ	M-1,96σ	M+1,96σ
<i>pe</i>	7	210	30,0	29,43	0,108	2,436	1,561	5,3	0,4	28,38	30,48	26,37	32,49
<i>tr</i>	34	1540	45,3	26,93	0,040	2,414	1,554	5,8	0,2	25,88	27,98	23,88	29,98
<i>fr</i>	10	275	27,5	29,24	0,099	2,678	1,636	5,6	0,3	28,14	30,34	26,03	32,45
<i>al</i>	12	355	29,6	29,99	0,081	2,354	1,534	5,1	0,3	28,95	31,03	26,98	33,00
<i>my</i>	15	803	53,5	31,70	0,083	5,560	2,358	7,4	0,3	30,11	33,29	27,08	36,32
<i>ca</i>	38	1791	47,1	28,32	0,038	2,557	1,599	5,6	0,1	27,24	29,40	25,19	31,45
<i>ci</i>	24	1140	47,5	31,29	0,058	3,796	1,948	6,2	0,2	29,98	32,60	27,47	35,11
<i>au</i>	16	824	51,5	25,29	0,088	6,318	2,514	9,9	0,3	23,59	26,99	20,36	30,22
<i>st</i>	18	240	30,0	27,27	0,100	2,388	1,545	5,7	0,4	26,23	28,31	24,24	30,30
<i>vi</i>	6	231	38,5	29,00	0,120	3,302	1,817	6,3	0,4	27,77	30,23	25,44	32,56
<i>da1</i>	8	350	43,8	34,13	0,103	3,688	1,920	5,6	0,3	32,83	35,43	30,37	37,89
<i>da2</i>	7	353	50,4	32,10	0,101	3,567	1,889	5,9	0,3	30,82	33,38	28,40	35,80
<i>ac</i>	35	1612	48,9	28,20	0,046	3,458	1,860	6,6	0,2	26,94	29,46	24,55	31,85
<i>ro</i>	15	450	30,0	28,21	0,078	2,743	1,656	5,9	0,3	27,10	29,30	25,00	31,50
Среднее	17,5	726,7	41,0	29,36	0,082	3,376	1,814	6,2	0,3	–	–	–	–
Всего	245	10174	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Пределы	–	–	–	–	–	–	–	–	–	23,6	35,4	20,4	37,9

Примечание. Виды расположены согласно системе рода *Salix*. N – количество особей; Nn – общее количество пыльцевых зерен; n<sub>ср</sub> – среднее количество пыльцевых зерен в образце; M – средняя длина пыльцевых зерен; ±m – статистическая ошибка; σ<sup>2</sup> – дисперсия; σ – стандартное отклонение; C – коэффициент вариации; P – относительная статистическая ошибка; lim<sub>0,50</sub> = M ± 0,675σ и lim<sub>0,95</sub> = M ± 1,96σ – расчетные пределы изменчивости l при p = 0,50 и при p = 0,95.



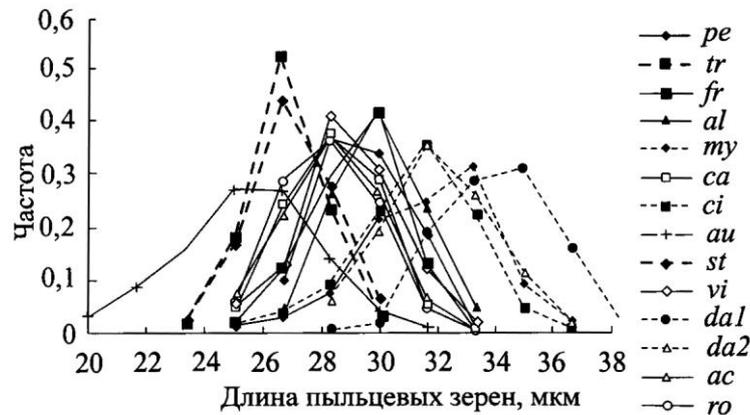


Рис. 1. Распределения длины ПЗ во всех выборках

Результаты статистической обработки представлены в табл. 1. У всех изученных видов  $l$  характеризуется низкой вариабельностью ( $C_{cp} = 6,2\%$ , от  $5,1\%$  у  $al$  до  $9,9\%$  у  $au$ ). Низкие значения относительной статистической ошибки ( $P < 0,4\%$ ) указывают на высокую разрешающую способность проводимого палинометрического анализа. Полигоны внутривыборочных распределений  $l$  представлены на рис. 1. Во всех выборках характер распределения  $l$  близок к нормальному. Однако из-за различия в дисперсиях полигоны различаются по общей конфигурации, поскольку чем выше значение  $l_{cp}$ , тем больше и  $\sigma^2$  (табл. 1): если исключить  $au$ , то  $r(l_{cp}; \sigma^2) = 0,615$ .

Совместный анализ табл. 1 и рис. 1 позволяет утверждать, что межвыборочные различия по  $l_{cp}$  и  $\sigma^2$  носят упорядоченный характер. Учитывая абсолютные значения  $l_{cp}$  и  $\sigma^2$ , достоверность и недостоверность межвыборочных различий по  $t$ - и  $F$ -критериям ( $p = 0,05$ ), таксономические и эдафитоценологические характеристики видов, мы выделили следующие палинометрические группы:  $au$  – один вид с минимальной  $l_{cp}$  и высокой  $\sigma^2$ ;  $st$  – один вид подрода *Vetrix* с низкими  $l_{cp}$  и  $\sigma^2$ ; [ $ca$ ,  $ac$ ,  $ro$ ] – облигатные или факультативные псаммофиты из подрода *Vetrix* с умеренными  $l_{cp}$  и  $\sigma^2$ ; [ $my$ ,  $ci$ ] – виды из подрода *Vetrix*, избегающие незадернованных песков, с высокими  $l_{cp}$  и  $\sigma^2$ ;  $tr$  – один вид, сходный по изменчивости ПЗ с  $st$ , но принадлежащий к подроду *Salix*; [ $pe$ ,  $fr$ ,  $al$ ] – ивы подрода *Salix* с близкими  $l_{cp}$  и  $\sigma^2$ ;  $vi$  – один вид, занимающий промежуточное положение между видами  $ca$ ,  $ac$ ,  $ro$  и  $pe$ ,  $fr$ ,  $al$  по величине  $l_{cp}$  и  $\sigma^2$ ;  $da1$  и  $da2$  – первая и вторая выборки  $da$ . Выделение групп  $vi$ ,  $da1$  и  $da2$  основано на принадлежности  $vi$  и  $da$  к одной секции *Vimen*; однако все три выборки различаются по  $l_{cp}$  и  $\sigma^2$ .

Для палинометрических групп [ $ca$ ,  $ac$ ,  $ro$ ], [ $ci$ ,  $my$ ] и [ $pe$ ,  $fr$ ,  $al$ ] были пересчитаны средние относительные частоты вариант и вновь построены полигоны распределения  $l$ . Большинство распределений показано на рис. 2.

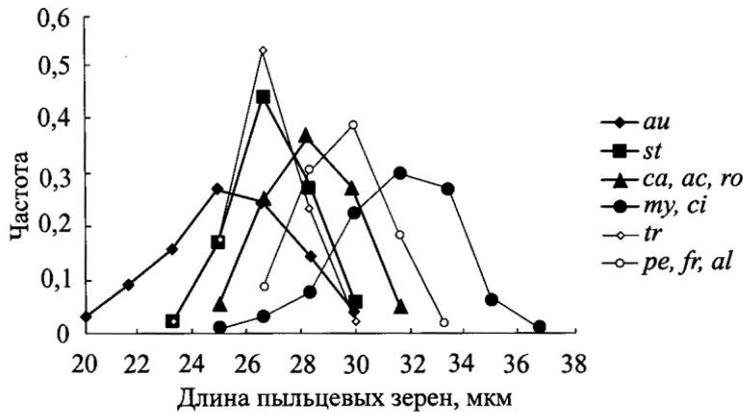


Рис. 2. Распределения длины ПЗ в группах *au*, *st*, [*ca*, *ac*, *ro*], [*my*, *ci*], *tr*, [*pe*, *fr*, *al*]

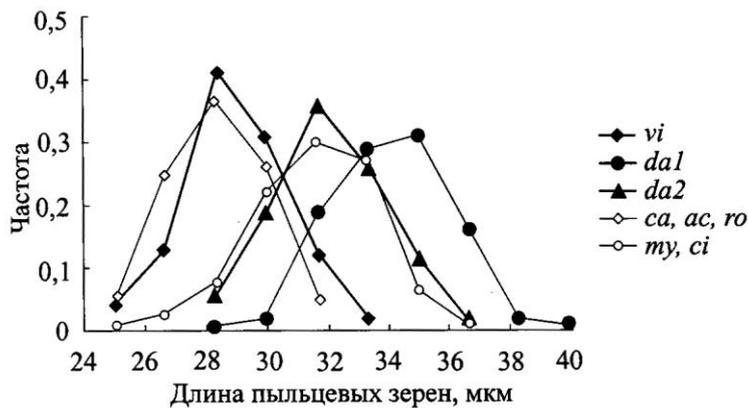


Рис. 3. Распределения длины ПЗ видов секции *Vimen* на фоне распределений длины ПЗ в группах [*ca*, *ac*, *ro*] и [*my*, *ci*]

Распределения  $l$  для видов секции *Vimen* (*vi*, *da1*, *da2*) приведены на рис. 3; в качестве фона использованы распределения в группах [*ca*, *ac*, *ro*] и [*ci*, *my*].

Анализ распределений (см. рис. 2) позволяет утверждать, что  $l$  не является таксономическим признаком у ив. Виды одной секции *Vetrix* (*au*, *ca*, *ci*) входят в состав разных палинометрических групп, а одна группа может включать представителей разных секций ([*ca*, *ac*, *ro*], [*ci*, *my*] и [*pe*, *fr*, *al*]). Наблюдается заметный параллелизм в изменчивости  $l$  в разных таксонах. Например, распределения  $l$  у видов *tr* и *st* практически совпадают, а последовательность полигонов *tr* – [*pe*, *fr*, *al*] параллельна последовательности *st* – [*ca*, *ac*, *ro*] – [*my*, *ci*]. В то же время полигон распределения  $l$  у *au* резко отличается от всех остальных: минимальное значение  $l_{cp}$  сочетается с высокой  $\sigma^2$ . Распределение  $l$  в группе *da2* (рис. 3) практически совпадает с распределением в группе [*my*, *ci*]. Однако распределение в группе *vi* заметно (хотя и

статистически недостоверно) смещено вправо по отношению к распределению в группе [ca, ac, ro], что указывает на особое положение секции *Vimen* в системе подрода *Vetrix*.

Для дальнейшего анализа все множество отдельных выборок и выделенных палинометрических групп мы разбили на три палинометрические серии: серия 1 – подрод *Vetrix* без секции *Vimen* – *au*, *st*, *ac*, *ro*, *ca*, [ca, ac, ro], *ci*, *my*, [*ci*, *my*]; серия 2 – секция *Vimen* – *vi*, *da1*, *da2*; серия 3 – подрод *Salix* – *tr*, *pe*, *fr*, *al*, [*pe*, *fr*, *al*]. Упорядоченный характер изменения *l* в разных сериях позволяет предположить, что этот признак контролируется некоторым стабильным дискретным фактором, например числом хромосом. Мы предлагаем описывать взаимосвязь между относительным объемом хроматина и относительной длиной ПЗ с помощью эмпирического уравнения регрессии

$$\Omega_{ij} = k(l_i/l_j)^3,$$

где  $\Omega_{ij}$  – относительное содержание хроматина у вида (группы) *i* по сравнению с видом (группой) *j*;

$l_i/l_j$  – относительная длина ПЗ у вида (группы) *i* по сравнению с видом (группой) *j*;

*k* – эмпирический коэффициент.

На основании предложенного уравнения была составлена матрица отношений  $l_i/l_j$  и  $(l_i/l_j)^3$  в палинометрических сериях (табл. 2). Над диагональю (единицы) даны значения  $l_i/l_j$ , под диагональю – значения  $(l_i/l_j)^3$ . Для перевода показателя  $(l_i/l_j)^3$  в единицы относительного содержания хроматина  $\Omega_{ij}$  данные первого столбца матрицы отношений умножали на коэффициент *k*, который подбирали так, чтобы получить минимальные целые значения  $\Omega$ .

Сопоставление данных табл. 1, 2 и рис. 2, 3 позволяет предположить, что упорядоченный характер межвидовой (межгрупповой) изменчивости ПЗ ив связан с феноменом полиплоидии, т. е. содержанием в гаплоидных клетках двух и более геномов – одинаковых (гомологичных), сходных (гомеологичных) или различных. При этом геном мы рассматриваем как минимальный объем хроматина в клетках. В большинстве случаев (кроме *st*) изменение относительного содержания хроматина в гаплоидных клетках ПЗ ив может быть описано рядом целых чисел  $\Omega$  (2, 3, 4, 5), которые мы предлагаем назвать геномными числами. Соответственно уровень плоидности в соматических клетках изменяется от  $4x$  до  $10x$ , например, *au* должна рассматриваться как тетраплоид ( $\Omega=2$ ,  $2n=4x$ ), *tr* – как гексаплоид ( $\Omega=3$ ,  $2n=6x$ ), а *ci* – как октоплоид ( $\Omega=4$ ,  $2n=8x$ ). Тогда современные основные числа ив ( $x=19$  и  $x=22$ ) следует расценивать как суммы элементарных хромосомных чисел, которые сложились в результате авто- или аллополиплоидизации и эволюционных преобразований элементарных геномов, что не противоречит литературным данным [6, 10].

В то же время вид *st* характеризуется дробным числом геномов ( $\Omega \approx 2,6$ ). Данный феномен можно объяснить различными способами.



Таблица 2

## Изменчивость относительных размеров ПЗ и ее возможная связь с относительным содержанием хроматина

Подрод *Vetrix* без секции *Vimen*:  $k = 2,1$ 

<i>M</i> , мкм	$\Omega$ (т)	$\Omega$ (о)	Виды	<i>au</i>	<i>st</i>	<i>ac</i>	<i>ro</i>	<i>ca</i>	<i>ca, ac, ro</i>	<i>ci</i>	<i>my</i>	<i>my, ci</i>
25,29	2,10	2	<i>au</i>	1	<b>1,078</b>	1,115	1,115	1,120	<b>1,117</b>	1,237	1,253	<b>1,246</b>
27,27	2,63	3 (?)	<i>st</i>	<b>1,254</b>	1	1,034	1,034	1,039	1,036	1,147	1,162	1,155
28,20	2,91	3	<i>ac</i>	1,386	1,106	1	1,000	1,004	1,001	1,110	1,124	1,117
28,21	2,91	3	<i>ro</i>	1,388	1,107	1,001	1	1,004	1,001	1,109	1,124	1,117
28,32	2,95	3	<i>ca</i>	1,404	1,120	1,013	1,012	1	1,003	1,105	1,119	1,112
28,24	2,92	3	<i>ca, ac, ro</i>	<b>1,392</b>	1,111	1,004	1,003	1,009	1	1,108	1,123	<b>1,115</b>
31,29	3,98	4	<i>ci</i>	1,894	1,511	1,366	1,365	1,349	1,360	1	1,013	1,007
31,70	4,14	4	<i>my</i>	1,969	1,571	1,420	1,419	1,402	1,414	1,040	1	1,006
31,50	4,06	4	<i>my, ci</i>	<b>1,932</b>	1,541	1,394	1,392	1,376	<b>1,388</b>	1,020	1,019	1

Секция *Vimen*:  $k = 3,0$ 

<i>M</i> , мкм	$\Omega$ (т)	$\Omega$ (о)	Виды	<i>vi</i>	<i>da1</i>	<i>da2</i>
29,00	3,00	3	<i>vi</i>	1	1,106	1,177
32,06	4,05	4	<i>da1</i>	1,351	1	1,065
34,13	4,89	5	<i>da2</i>	1,630	1,206	1

Подрод *Salix*:  $k = 3,0$ 

<i>M</i> , мкм	$\Omega$ (т)	$\Omega$ (о)	Виды	<i>tr</i>	<i>pe</i>	<i>fr</i>	<i>al</i>	<i>pe, fr, al</i>
26,93	3,00	3	<i>tr</i>	1	1,093	1,086	1,114	<b>1,097</b>
29,43	3,92	4	<i>pe</i>	1,305	1	1,006	1,019	1,004
29,24	3,84	4	<i>fr</i>	1,280	1,020	1	1,026	1,011
29,99	4,14	4	<i>al</i>	1,381	1,058	1,079	1	1,015
29,55	3,96	4	<i>pe, fr, al</i>	<b>1,321</b>	1,012	1,032	1,045	1

Примечание.  $\Omega$  (т) – значения  $\Omega$  с точностью до второго знака;  $\Omega$  (о) – округленные (целые) значения  $\Omega$ .  
 Виды – отдельные выборки и палинометрические группы. Полужирным шрифтом выделены реперные отношения.



Во-первых, связь между  $l$  и  $\Omega$  в ПЗ  $st$  может не подчиняться предложенному нами уравнению регрессии. Такое исключение может быть обусловлено давлением отбора; тогда сходство в изменчивости  $l$  у  $st$  и  $tr$  – результат обычной конвергенции. Во-вторых,  $st$  могла просто утратить часть хроматина, который для этого вида оказался избыточным. И, наконец, можно предположить, что все значения  $\Omega$  нужно умножить примерно на 2, тогда мы получаем совершенно фантастические уровни плоидности в соматических клетках ив:  $8x$ ,  $10x$  ( $st$ ),  $12x$ ,  $16x$ ,  $20x$ .

Выборки  $da1$  и  $da2$  характеризуется различными  $l_{cp}$  в разных ценопопуляциях. Как и в предыдущем случае, нельзя исключить прямое влияние эдафитоценологических факторов, в результате которого происходит изменение  $l_{cp}$  при постоянном  $\Omega$ . Оно возможно также с изменением  $\Omega$  в ходе отбора; в данном случае геномные числа вида оказываются в прямой зависимости от условий обитания. Тогда можно предположить существование у этого вида двух геномных (хромосомных) рас: с  $\Omega=4$  ( $2n=8x$ ) и  $\Omega=5$  ( $2n=10x$ ). И, наконец, можно предположить, что под названием *S. dasyclados* скрываются два разных таксона видового ранга, приуроченных к разным местообитаниям: например, ряд (series) из двух викарирующих видов-близнецов или «чистый вид» и фенотипически сходный гибрид (криптогибрид).

Автор выражает глубокую благодарность доктору биологических наук, профессору, академику РАЕН, заведующему кафедрой дендрологии, селекции и озеленения БГИТА Е.Н. Самошкину за конструктивные замечания, обсуждение основных положений статьи и помощь в ее оформлении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афонин, А.А.* Ивы Брянского лесного массива [Текст] / А.А. Афонин. – Брянск: Изд-во БГУ, 2003. – 237 с.
2. *Афонин, А.А.* Зависимость размеров пыльцевых зерен ив трехтычинковой и пепельной от числа хромосом в клетках [Текст] / А.А. Афонин, Е.Н. Самошкин // Лесн. журн. – 1999. – № 4. – С. 35–40. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Кричфалушій, В.В.* Хромосомні числа представників в роду *Salix* [Текст] / В.В. Кричфалушій, Л.В. Голишкін // Укр. бот. журн. – 1985. – № 2. – С. 33–34.
4. *Куприянова, Л.А.* Сем. *Salicaceae* Mirbel – Ивовые [Текст] / Л.А. Куприянова, Л.А. Алешина // Пыльца двудольных растений европейской части СССР. – Л.: Наука, 1978. – С. 119–122.
5. *Лакин, Г.Ф.* Биометрия [Текст] / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1980. – 293 с.
6. *Левитский, Г.А.* Материальные основы наследственности [Текст] / Г.А. Левитский // Цитогенетика растений. – М.: Наука, 1978. – С. 10–208.
7. *Самошкин, Е.Н.* Особый тип мейоза у ивы трехтычинковой и необходимость его учета в селекционной работе [Текст] / Е.Н. Самошкин, А.А. Афонин // Генетика и селекция – на службе лесу: тез. докл. – Воронеж: Изд-во ВЛТА, 1996. – С. 18–19.
8. *Скворцов, А.К.* Ивы СССР [Текст] / А.К. Скворцов. – М.: Наука, 1968. – 262 с.

9. Федорова-Саркисова, О.В. О числе хромосом некоторых видов ив и тополей [Текст] / О.В. Федорова-Саркисова // Докл. АН СССР. – 1946. – № 4. – С. 357–360.

10. Чуксанова, Н.А. Эволюция кариотипов растений [Текст] / Н.А. Чуксанова // Успехи современной генетики. – М.: Наука, 1974. – Вып. 5. – С. 200–209.

11. Čhmelar, J. Die Weiden Europas [Text] / J. Čhmelar, W. Meusel. – Wittenberg-Lutherstadt, 1976. – 143 p.

12. Håkansson, A. Chromosome Numbers and Meiosis in certain Salices [Text] / A. Håkansson // Hereditas. – 1955. – Bd. 41, N 3–4. – P. 454–482.

Брянский государственный  
университет

Поступила 16.01.04

*A.A. Afonin*

### **Variability of Pollen-grains Length for Native Species of Willows in Bryansk Woodland**

The statistics of pollen-grains length variability ( $l$ ) for 13 willow types are provided. The well-ordered character of interspecies variability  $l$  is shown. The separation of palinometric groups of species is substantiated.  $L$  is proved not to be a taxonomic characteristic. The concurrency in  $l$  distribution in different palinometric groups is revealed. The concept of genomic number  $\Omega$  is introduced; possible relation between  $l$  and genomic numbers of species is discussed.

---

УДК 630\*181.28

**Ю.М. Дебринюк**

Дебринюк Юрий Михайлович родился в 1960 г., окончил в 1985 г. Львовский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и лесной селекции Украинского национального государственного университета (г. Львов). Имеет более 100 научных трудов в области лесных культур, исследования корневых систем, районирования территорий.



### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТРОДУКЦИИ ПСЕВДОТСУГИ МЕНЗИСА В ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ УКРАИНСКОГО РАСТОЧЬЯ**

Исследованы рост и особенности накопления древесины в чистых и смешанных насаждениях псевдотсуги Мензиса. Рассмотрены схемы и способы смешения, размещение посадочных мест, возможность совместного произрастания псевдотсуги с другими породами, преимущество создания чистых насаждений.

*Ключевые слова:* псевдотсуга, интродукция, Украина.

Благодаря интенсивному росту и ценной древесине, псевдотсуга Мензиса, или дугласия (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco; *P. douglasii* Lindl.) давно и широко культивируется за пределами естественного ареала, в том числе в Украине, где искусственные насаждения породы отличаются довольно высокой производительностью.

Исследуя насаждения дугласии в западных областях Украины, Т.М. Бродович [1] отмечал ее очень высокую продуктивность (Ia–Ie классы бонитета). По В.В. Матяшу [3] и В.Б. Логгину [2], псевдотсуга является одной из наиболее продуктивных пород Карпат, превышая лиственницу европейскую, ель европейскую, пихту белую по интенсивности накопления ствольной древесины на 20 ... 52 %. Высочайшей продуктивностью и стойкостью отличаются древостой псевдотсуги с участием бука, пихты, лиственницы на высотах 300 ... 700 м над у. м. в типах C<sub>2-3</sub> – D<sub>2-3</sub> с размещением 3 × 3 м [5].

Цель нашей работы – исследование роста и продуктивности насаждений с участием псевдотсуги на территории Украинского Расточья, изучение истории их создания в целях определения целесообразности дальнейшего культивирования лесных культур с участием исследуемого интродуцента.

Объекты исследований находились на территории гослесфонда Великопильского и Лелеховского лесничеств Страдчивского научно-производственного лесокombината Львовской области. Исследования проводили на территории Украинского Расточья, которое тянется по территории Украины приблизительно на 60 км, начиная от г. Львова, в западном направлении до государственной границы с Польшей.

Рост и продуктивность дугласии изучали в лесных культурах 34–100-летнего возраста. Так, на ПП-5ст эта порода имеет низкую интенсивность роста, отстает от дуба по высоте на 18, по диаметру на 19 %. Лишь отдельные экземпляры растут удовлетворительно. Причиной стало использование в культурах медленно растущей формы дугласии (*var. caesia*). Ухудшение ее роста связано также с отсутствием разреживаний в рядах. По средним таксационным показателям дугласия в данном насаждении отстает от всех лиственных пород (см. таблицу).

Насаждение практически такого же возраста (ПП-7ст) накапливает в 1,5 раза больший запас стволовой древесины, чем на ПП-5ст. При этом на 32 ... 42 % возрастают и средние таксационные показатели дугласии. Причина заключается в использовании наиболее продуктивной формы породы (*var. viridis*) и своевременных лесоводственных уходах. По высоте дугласия опережает искусственно введенные лиственные породы на пробной площади на 6 ... 12, по диаметру на 23 ... 33 %, не отстает по интенсивности роста лишь естественная ольха черная.

В смешанном 36-летнем насаждении накапливается большой запас стволовой древесины (ПП-1ст). Здесь доминируют хвойные породы, среди которых наиболее интенсивно растет лиственница, однако и дугласия имеет Іс класс бонитета. По высоте она практически не уступает хвойным породам, по диаметру же существенно (на 38 %) уступает лиственнице и значительно меньше (на 4 %) – ели.

3\*

Расстояние между рядами дугласии составляет 5 м, между растениями в рядах на период исследования – в среднем 4 м. При таком размещении дугласия смыкается кронами и удовлетворительно очищается от сучьев. При одиночном стоянии деревьев порода формирует мощную крону с толстыми ветвями. Площадь кроны дугласии на исследуемом участке колеблется от 13 ... 14 м<sup>2</sup> у деревьев отстающей группы до 30 ... 35 м<sup>2</sup> у сильных деревьев.

Очень высок запас древесины в культурах дугласии на ПП-8ст. На данном участке произрастает форма *var. viridis*, наиболее продуктивная в условиях Европы [1, 3, 4–7, 9]. Накопленный запас древесины на 1 га в два с лишним раза выше, чем в насаждении, которое моложе лишь на десять лет. Однако и этот запас для данного возраста не максимален, поскольку приблизительно 1/3 площади фактически пустует. Раньше там произрастали ясень с лиственницей и сосной, которых дугласия практически вытеснила из состава насаждения.

Наблюдения показывают, что оптимальное размещение псевдотсуги для данного возраста составляет 3 × 3 или 3 × 4 м. В первом случае немного снижается прирост по диаметру, но возрастает прирост в высоту и улучшается формирование стволов.

Более низкий класс бонитета, но очень высокий запас древесины имеет средневозрастное чистое насаждение дугласии (ПП-2ст). Его начальная густота была довольно высокой. В настоящее время сохранились деревья в количестве, достаточном для формирования высокополнотного насаж-

дения, однако их размещение по площади неравномерное. Есть отдельные значительные по площади «окна», заросшие ежевикой.

Как и в предыдущем насаждении, значительное количество экземпляров с гладкой корой хорошо очищено от сучьев. Хорошее очищение от сучьев и тонкие ветви отмечены и у части особей с грубобороздчатой корой, они также и высокопродуктивны. Очевидно, нужны более детальные исследования в данном направлении.

Примером чрезвычайно высокой продуктивности являются культуры дугласии приблизительно 100-летнего возраста. Порода высажена по периметру квадратного участка  $33 \times 33$  м, всего сохранилось 32 экземпляра. Даже в значительном возрасте порода произрастает по Ic классу бонитета, достигая средней высоты 40 м. Практически никакая другая порода в этом возрасте не может сравниться по продуктивности с псевдотсугой. Сосна веймутова, один экземпляр которой сохранился в рядах дугласии, значительно отстает в росте, в особенности по диаметру (см. таблицу).

Несмотря на густое стояние в рядах, очищение от сучьев неудовлетворительное, у гладкокорых экземпляров лучше. Кроны сильно перекрываются и в рядах развиты слабо, мощнее они в середине участка, где их размещению не препятствуют кроны других деревьев.

Как видим, высокой производительности псевдотсуга достигает в чистых насаждениях, поэтому в богатых типах лесорастительных условий

#### Лесоводственно-таксационная характеристика лесных культур

Порода	Высота, м	Диаметр, см	Густота, шт./га	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета	Начальная густота, шт./га; размещение, м; схема смешения
ПП-5ст; Великопильское л-во, кв. 28, в. 5; D <sub>2</sub> -гД; 34 г.;							
6Д2Пд1Кля1Чш + Бк, ед. Г							
Дуб	14,5±0,29	14,3±0,50	860	13,87	112	I	5000;
Псевдотсуга	11,9±0,30	11,6±0,53	480	5,08	31	II	2,0 × 1,0;
Клен-явор	13,7±0,88	12,7±1,26	120	1,52	11		5р.Д 2р.Пд
Черешня	16,9±0,40	32,2±4,00	20	1,63	13		
Бук	12,6±0,32	10,2±0,87	110	0,89	6		
Граб	11,4±0,42	10,5±0,81	70	0,60	3		
В с е г о	–	–	1660	26,61	176	–	–
ПП-7ст; Великопильское л-во, кв. 3, в. 9; D <sub>2</sub> -д-гБк; 33 г.;							
4Бк3Пд1Кля1Олч1Г							
Бук	15,5±0,22	13,5±0,49	968	13,85	117	Ia	6200;
Псевдотсуга	17,6±0,51	20,1±1,01	236	7,48	65	Ia	2,0 × 1,0 (0,7);
Клен-явор	16,5±0,61	15,5±1,26	210	3,98	35		2р.Пд 1р.Кля
Ольха	17,9±0,69	24,4±1,56	67	3,13	28		3р.Бк 1р.Кля
Граб	13,8±0,25	10,4±0,38	362	3,09	20		
В с е г о	–	–	1843	31,53	265	–	–
ПП-1ст; Великопильское л-во, кв. 23, в. 14; D <sub>2</sub> -д-гБк; 36 л.;							
6Пд1Лця1Кля1Яс1Д + Г, ед. Е							
Псевдотсуга	21,4±0,40	29,8±1,09	214	14,96	160	Ic	Не установлено;

Листвен. яп.	23,9±0,85	47,6±4,36	12	2,11	26	Id	размещение псевдотсуги - 5,0 × 2,0 м
Клен-явор	18,1±0,35	19,6±0,91	122	3,69	33		
Ясень	22,1±0,44	24,2±1,54	50	2,32	28		
Дуб	15,9±0,49	18,2±1,05	77	2,01	17		
Граб	15,1±0,50	14,5±0,73	104	1,71	13		
Ель	21,7±0,93	31,1±3,53	9	0,67	7		
В с е г о	–	–	588	27,47	284	–	–
ПП-8ст; Великопильское л-во, кв. 4, в. 18; D <sub>2</sub> -д-гБк; 45 л.; 9Пд0,5C0,5Г, ед. Яс							
Псевдотсуга	28,4±0,20	34,4±0,83	412	38,26	549	Id	3300;
Сосна	26,5±0,28	25,4±1,04	63	3,20	38	Ic	3,0 × 1,0;
Граб	15,3±0,16	11,8±0,32	209	2,29	36		Зр.Пд Зр.Яс
Ясень	23,2±0,45	20,4±1,67	40	1,30	15		с Лц (С)
В с е г о	–	–	724	45,05	638	–	–
ПП-2ст; Лелеховское л-во, кв. 27, в. 18; CD <sub>2</sub> -с-гБк; 63 г.; 10Пд, ед. Бк							
Псевдотсуга	30,4±0,43	43,2±1,32	383	56,17	877	Ib	6700;
Бук	22,9±0,95	38,9±3,53	13	1,55	17	II	1,5 × 1,0;
В с е г о	–	–	396	57,72	894	–	чистые ряды Пд
ПП-31л; Товщивское л-во, кв. 58, в. 3; D <sub>3</sub> -гД; ~ 100 лет; 10Пд, ед. Св							
Псевдотсуга	39,9±0,89	75,0±3,06	293	129,49	2500	Ic	Псевдотсуга размещена в рядах через 1,0 м
Сосна вейм.	33,6±0,15	36,0±0,08	10	1,01	16	Ia	
В с е г о	–	–	303	130,50	2516	–	–

целесообразно создавать монокультуры. Подобной точки зрения придерживаются и другие авторы [2, 6, 8].

Изучение роста и продуктивности псевдотсуги в лесных культурах Украинского Расточья дает возможность сделать следующие обобщения.

В свежих богатых и относительно богатых типах лесорастительных условий псевдотсуга Мензиса (*var. viridis*) при соответствующей технологии выращивания в 40–60-летнем возрасте накапливает очень большие запасы древесины – в среднем 600 ... 800 м<sup>3</sup>/га, отличается высокой биологической устойчивостью, вследствие чего можно сделать вывод об успешной интродукции породы в лесные насаждения Украинского Расточья, а также целесообразности ее дальнейшего культивирования в лесных культурах региона.

Из-за относительно невысокой интенсивности роста в молодом возрасте дугласия может успешно произрастать и с менее быстрорастущими лиственными породами – дубом черешчатым и буком лесным, однако лучший рост породы наблюдается в чистых древостоях.

Оптимальное размещение деревьев дугласии на участке изменяется с возрастом и зависит от ее долевого участия в составе древостоя, типа лесорастительных условий, общей густоты насаждения. Псевдотсуга Мензиса – порода относительно густых насаждений и высокой интенсивностью роста отличается в монокультурах с начальным размещением растений 3 × 1 м.

Для 35-летних смешанных культур при 60 %-м участии в составе близким к оптимальному можно считать размещение породы 5 × 4 м; при

этом происходит удовлетворительное очищение стволов, формируется компактная крона площадью 18 ... 25 м<sup>2</sup>.

В чистых насаждениях 45-летнего возраста размещение должно составлять 3 × 3 – 3 × 4 м, для 60–65-летних – 4 × 4 м, что согласовывается с существующими таблицами хода роста насаждений дугласии. Начальная густота посадки и размещение посадочных мест призваны обеспечить оптимальную густоту и размещение породы в указанном возрасте.

Таким образом, при правильном подборе типа лесорастительных условий, наиболее высокопроизводительных форм псевдотсуги, применении рациональных лесоводственных приемов выращивания можно создать насаждения высокой продуктивности и ценности в грудовых и сугрудовых типах леса Украинского Расточья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродович, Т.М. Зеленая дугласия в культурах УССР [Текст] / Т.М. Бродович // Лесн. хоз-во. – 1950. – № 5. – С. 43–45.
2. Логгинов, В.Б. Интродукционная оптимизация лесных культурценозов [Текст] / В.Б. Логгинов. – К.: Наук. думка, 1988. – 164 с.
3. Матяш, В.В. Псевдотсуга в озеленении и лесных культурах Украины [Текст] / В.В. Матяш // Интродукция и акклиматизация растений на Украине. – К.: Урожай, 1982. – Вып. 20. – С. 19–23.
4. Пирагс, Д.М. Дугласия в Латвийской ССР. Разведение и селекция [Текст] / Д.М. Пирагс. – Рига: Зинатне, 1979. – 154 с.
5. Смаглюк, К.К. Интродуковані хвойні лісоутворювачі [Текст] / К.К. Смаглюк. – Ужгород: Карпати, 1976. – 94 с.
6. Хмилевский, В.М. Повышение продуктивности лесов Лесостепи Украины путем интродукции дугласии зеленой [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01 / В.М. Хмилевский. – Харьков: УкрНИИЛХА, 1987. – 23 с.
7. Шляхта, Я.М. Итоги интродукции дугласии в лесных насаждениях Украины [Текст] / Я.М. Шляхта // Folia dendrologia. Vidala Veda. 18. – Bratislava, 1991. – S. 245–254.
8. Hesmer, H. Anzucht und Anbau der Douglasie [Text] / H. Hesmer // Forstarchiv. – 1952. – N 1. – S. 1.
9. Röhrig, E. Anzucht und Pflanzung von Douglasien [Text] / E. Röhrig // Der Forst- und Holzwirt. – 1976. – N 15. – S. 295–296, 298–299.

Украинский государственный  
лесотехнический университет (г. Львов)

Поступила 26.12.03

*Yu.M. Debrinyuk*

#### **Results of *Pseudotsuga menziesii* Introduction in Forest Stands of Ukrainian Rastochje**

Growth and wood mass accumulation in pure and mixed stands of *Pseudotsuga menziesii* are investigated. Schemes and methods of mixing, tree distribution on plots, possibilities

of mixed growth of Douglas fir with other species, advantages of pure stand formation are considered.

---



УДК 624.21:691.116

**В.П. Стуков**

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства верфи филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный дорожник РФ. Имеет более 70 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.



### **КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОСТОВ С БАЛКАМИ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Исследованы дефекты элементов и конструкции пролетного строения моста с балками из клееной древесины, что позволяет определить соответствие этого материала конструкции мостового сооружения, работающего на динамические нагрузки в условиях жесткого температурно-влажностного режима.

*Ключевые слова:* мосты, дефекты, балки, клееная древесина.

В отечественном мостостроении насчитывается не более сотни сооружений с пролетными строениями из клееной древесины, и треть из них расположена на территории Архангельской области. Специфика климата и разнообразие конструкций балочных мостов при отсутствии должного надзора в период эксплуатации дали возможность оценить состояние сооружения и проанализировать недостатки конструктивных элементов и конструкции в целом, а также состояние и целесообразность использования композитного материала – клееной древесины.

Мостовое сооружение работает круглый год на открытом воздухе. Для Северо-Запада России, в частности Архангельской области, характерны длинная зима, затяжные весна и осень, повышенная влажность, длинный световой день летом, смена погоды в течение дня с перепадом температуры до 30 ... 35 °С. При изменении температурно-влажностного режима и воздействии динамических нагрузок создаются исключительно жесткие условия работы клееной древесины.

Таблица 1

Река	Год постройки моста	Срок до обследования, лет	Ориентация моста	Проект	Изготовитель	Пролет, м	Число балок, шт.	Габарит проезжей части	Клей балок	Одежда проезжей части*				
										1	2	3	4	5
Лявля	1982	9	СЗ-ЮВ	810-Р	ЭПЗ «Красный Октябрь»	18×3	18	Г-10	ФРФ-50	+		+		
Корода	1982	4	«	«	»	18	6	Г-6	«		+			+
Яренга	1983	9	З-В	«	»	18×10	80	Г-8	«	+		+		
Леменьга	1982	4	СЗ-ЮВ	810-Р, 810-К	ЭПЗ, завод КДК в г. Вельске	15×3	24	Г-7	«	+				+
Паденьга	1976	10	С-Ю	810-Р	ЭПЗ	18	8	Г-8	КБ-3		+			+
Елюга	1980	7	З-В	810-К	Вельск	15×3	24	Г-7	«		+			+
Лудега	1986	1	«	810-Р	ЭПЗ	18; 9×2	24	Г-8	ФРФ-50		+			+
Виледь	1983	3	СЗ-ЮВ	«	»	18×2	12	Г-6	«		+			+
Уртомаж	1982	4	З-В	«	»	18	10	Г-10	«	+			+	
Узdra	1983	3	«	«	»	18×3	18	Г-8	«	+			+	
Евда	1983	3	СЗ-ЮВ	«	»	18×3	24	«	«	+			+	
Лябла	1983	3	«	«	»	18×3	24	«	«		+		+	
Авнюга	1982	4	З-В	«	»	15	6	Г-7	«		+			+
Сойга	1984	2	«	«	»	18	12	«	«		+			+
Вель	1983	3	С-Ю	«	»	9	8	Г-8	«		+			+
Лепша 1	1989	11	«	810-Р, 810-К	ЭПЗ, Вельск	12×3; 18	18	Г-6,5	«		+			+
Лепша 2	1989	11	«	810-Р	ЭПЗ	12	6	Г-4,4	«		+			+
Моша	1989	11	СВ-ЮЗ	«	»	18×3	24	Г-7	«		+			+
Устья	1976	27	«	«	»	18×5	40	«	КБ-3		+			+
Удима	2003	11	З-В	«	»	15×3	24	«	ФРФ-50		+			+
Юмиж	1992	8	СЗ-ЮВ	«	»	18	6	Г-6	«		+			+

Гыжег	1988	9	3-В	«	»	18×3	30	Г-10	«	+		+
Ленка	1988	7	С-Ю	«	»	18×3	24	Г-7	«	+		+
Анда	1985	12	3-В	«	»	15×3	24	Г-8	«	+	+	+
Северица	1998	6	«	«	»	18	6	Г-4,5	«	+		+
Пукшеньга	1989	15	С-Ю	«	»	18×3	18	Г-4,8	«	+		+
Икса	1989	11	3-В	«	»	15	8	Г-7	«	+		+
Ухта	1996	1	«	«	»	12×3	24	Г-6	«	+		+

\* Одежда проезжей части: 1 – деревоплита; 2 – сплошной поперечный настил из бруса; 3 – цементобетонное покрытие; 4 – асфальтобетонное покрытие; 5 – продольный настил. Знаком «плюс» обозначено наличие указанного вида одежды проезжей части.



Комплексные исследования включают всестороннее изучение поведения клееной древесины в мостовом сооружении для оценки ее состояния, возможности широкого использования при сохранении первоначальных качеств. Важным моментом таких исследований является оценка влияния дефектов пролетного строения на состояние древесины в мостах. Исследуют дефекты проектирования, изготовления, строительные и эксплуатационные. Их объем и значимость дефектов существенно влияют на сроки службы мостового сооружения и затраты на ремонт для поддержания его пригодным к условиям нормальной эксплуатации. В табл. 1 и 2 приведены данные для большинства мостов, прошедших обследование.

*Влияние дефектов (ошибок) проектирования.* Нормативные документы предъявляют жесткие требования к этапу проектирования, поскольку от него во многом зависит работа сооружения в процессе эксплуатации. Так,

Таблица 2

Река	Число рас- слоений балок		Ширина раскрытых клеевых швов, мм	Разрушения				Грунт на проез- жей части	Загни- вание элемен- тов
	сквоз- ное	несквоз- ное		деревя- ные плиты	попе- речин	верхнего настила (покрытия)	троту- аров, перил		
Лявля	4	6	До 15	+		+			+
Корода	-	2	До 7		+	+	+		+
Яренга	5	9	До 15	-		-	-	-	-
Леменьга	-	2	До 10	+		+	+	+	+
Паденьга	1	2	До 12	-		-	+	-	+
Елюга	-	6	До 8		-	+	-	+	-
Лудега	-	3	До 10		-	-	-	+	-
Виледь	-	-	-		-	-	-	+	-
Уртомаж	2	2	До 20	+		+	-	+	+
Уздра	2	1	До 11	+		+	-	-	+
Евда	-	3	До 8	-		-	-	-	-
Лябла	1	1	До 10			+		+	-
Авнюга	-	-	-		-	+	-	+	-
Сойга	-	3	До 8		-	-	-	+	-
Вель	-	-	-		-	-	-	+	-
Лепша 1	2	4	До 7		+	+	+	-	+
Лепша 2	1	2	До 9		-	-	+	-	-
Моша	-	2	До 10		+	+	+	+	+
Устья	8	12	До 25		+	+	+	+	+
Удима	-	-	-		-	-	-	-	-
Юмиж	-	2	До 8		-	-	-	-	-
Гьжег	-	3	До 9		+	+	-	+	+
Ленка	-	2	До 10		+	+	-	+	+
Анда	8	4	До 15		-	+	+	-	+
Северица	-	-	-		-	-	-	-	-
Пук- шеньга	-	6	До 12		+	+	+	+	+
Икса	-	2	До 8		+	+	+	+	+
Ухта	-	-	-		-	-	-	-	-

в СНиП 2.03.05–84\* отмечено, что в деревянных мостах проезжая часть клееных пролетных строений должна защищать нижележащие конструкции от попадания осадков и прямого солнечного освещения. Плиту проезжей части следует устраивать непрерывной, а на верхние пояса балок под железобетонную плиту укладывать водонепроницаемые прокладки. Дощатую плиту необходимо подвергать тройной поверхностной обработке или предусматривать укладку асфальтобетона. Одним из важных требований является единство сроков службы элементов пролетного строения, что обеспечивает капитальность сооружения. В типовых решениях пролетных строений была предпринята попытка реализовать это требование, однако проектировщики конструкцию деревоклееных балок заменяют поперечным и продольными деревянными настилами из цельной древесины, отказываясь от гидроизоляции и т. п.

Из табл. 1 видно, что только в 21,4 % мостов использована дощато-гвоздевая плита. В остальных случаях принят двойной продольный настил, уложенный на сплошные или разреженные поперечины без гидроизоляции. Вода и грязь с пролетного строения беспрепятственно проникают на главные балки и обильно смачивают их. Повышенная влажность древесины при положительных температурах и недостаточном проветривании вызывает образование, а затем быстрый рост грибков, т. е. загнивание древесины и ее разрушение. Водонасыщение клееной древесины ведет к разрыву клеевых швов посередине высоты сечения балки. Цикличность набухания – усушки при динамическом воздействии подвижной нагрузки и резких температурных перепадах приводит к интенсивному расслоению клеевых швов и разрушению балок.

Отдельно следует сказать, что принятие дощато-гвоздевой плиты в типовом решении пролетного строения достаточно спорно. Как показали зарубежные исследования, подвижная нагрузка расшатывает швы даже клееной деревоплиты. Только поперечное обжатие ее клеевых швов позволило избавиться от их расслоения и попадания воды. Опыт эксплуатации дощато-гвоздевой плиты на мостах через р. Лявлю и Уртомаж показал, что через трещины в покрытии вода попадает в деревоплиту. Прогревание водонасыщенной древесины плиты без проветривания настолько активизирует процесс гниения древесины, что через 3-4 года она разрушается и требует замены.

Практически во всех проектах отсутствовала конструкционная защита как древесины деревоклееных балок, так и проезжей части. У крайних балок, подверженных большему воздействию солнечных лучей, расслоение клеевых швов выражено сильнее, чем у средних, однако защита экранами в виде полотнищ из стеклоткани была лишь у моста через р. Лявлю, а длин-

---

\* СНиП 2.03.05–84. Мосты и трубы [Текст]/ Минтрансстрой России. – М.: ГЛЦПП, 1996. – 214 с.

ные свесы деревоплиты или поперечного настила с тротуарами только у некоторых мостов.

Все проектные решения, в том числе типовых пролетных строений, не включали проработку конструкции деформационного шва. К нему относились традиционно, устраивая разрыв в конструкции полотна проезжей части. Вода вместе с грязью беспрепятственно попадает на шкафную часть опор, замачивает торцы балок, при замерзании вмораживает опорные сечения, изменяет работу балок на опорах, что ведет к разрушению древесины. Здесь же наблюдается активизация ее загнивания. Ошибки проектирования настолько быстро снижают первоначальные качества конструкции, что никакие ремонты и приемы эксплуатации не позволяют обеспечить нормальную эксплуатацию сооружения и его нормативные сроки службы, а в некоторых случаях ведут к разрушению конструкции.

*Влияние строительных дефектов.* Большое количество строительных дефектов свидетельствует о низкой квалификации строителей. Все отмеченные при обследовании мостов дефекты влияют на состояние сооружения и вместе с проектными и эксплуатационными дефектами усугубляют его. Неорганизованный отвод на подходах к мосту, отсутствие продольного и поперечных уклонов на пролетном строении приводят к скоплению воды на проезжей части и обильному смачиванию конструкции пролетного строения. Недостаточные зазоры между балками и шкафной стенкой устоя, отказ от использования опорных частей вызывают загнивание древесины торцов балки, особенно на участке опирания на опору. Отсутствие связи в виде наклонных металлических штырей между деревоплитой и цементобетонным покрытием приводит к его быстрому разрушению, что демонстрирует состояние покрытия моста через р. Лявлю. Это, в свою очередь, приводит к скорому загниванию и разрушению деревоплиты. Отмеченные дефекты диафрагм снижают поперечную жесткость конструкции пролетного строения и ухудшают распределение временной нагрузки на нем. Даже такой, казалось бы, незначительный дефект, как короткие водоотводные трубки, весьма пагубно влияет на состояние древесины балок, поскольку вода с пролетного строения при сбросе через них замачивает балки. Дефекты строительства как отдельные, так и при совместном действии могут оказать чрезвычайно негативное воздействие на пролетное строение и значительно сократить сроки его нормальной эксплуатации, а в худшем случае привести к его разрушению.

*Влияние эксплуатационных дефектов.* На протяжении десятилетий в отечественном мостостроении не было должного серьезного отношения к эксплуатации мостов, несмотря на существование регламентирующих документов. Это относилось особенно к железобетонным мостам, которые считались чуть ли не вечными. В последние годы, когда резко уменьшились объемы финансирования на мостостроение, деньги стали выделять преимущественно на эксплуатацию, поскольку иными путями просто не поддерживать требующие значительных капитальных ремонтов транспортные сооружения на автодорогах. При обследовании мостов были отмечены много-

численные дефекты эксплуатации. Некоторые из них можно рассматривать как совместное негативное влияние ошибок проектирования и эксплуатации. Для клееной древесины балок в первую очередь чрезвычайно опасно расслоение клеевых швов. При проявлении этого дефекта значительно уменьшается момент инерции сечения балки и соответственно возрастают напряжения в ней. Особенно опасны сквозные трещины по клеевым швам, где влияние этого дефекта максимально. Одновременно происходит перераспределение временной нагрузки между балками с перегрузкой «здоровых» балок. Балка со сквозными трещинами теряет несущую способность и становится «мертвым» грузом для остальных. Подобное явление имеет место на мосту через р. Уртомаж. Грунт на проезжей части и забитые мусором водоотводные трубки препятствуют быстрому удалению воды с пролетного строения, вызывают ее постоянную подпитку в конструкцию деревянного пролетного строения и активизацию процесса загнивания древесины. Наличие слежавшегося грунта на деревоплите при отсутствии асфальтобетонного или цементобетонного покрытия на пролетном строении моста через р. Леменьгу свидетельствует об абсолютной технической неграмотности эксплуатирующей мост организации. На мосту через р. Уртомаж, где по деревоплите заасфальтирована лишь средняя часть проезжей части пролетного строения под проезд автотранспорта, а полосы вдоль тротуаров засыпаны грунтом, имело место самое значительное на обследованных мостах расслоение клеевых швов балок. Вмороженные в смерзшуюся на весь зимний период грязь опорные участки балок не позволяют им работать по предусмотренной расчетами статической схеме, что ведет к перенапряжению древесины, задержке влаги при таянии смерзшейся грязи и загниванию древесины на этих участках. Эксплуатация моста с разбитыми продольным и поперечными настилами носит массовый характер, тогда как их разрушение влияет на состояние нижележащих конструкций, несущую способность пролетного строения в целом, безопасность движения транспорта и пешеходов и т. д. Ряд эксплуатационных дефектов является общими для мостов из любых материалов, и их влияние подробно не рассматривается.

#### *Выводы*

Дефекты мостов с балками из клееной древесины можно разделить на три части – проектирования, строительства и эксплуатации:

– проектирования – использование деревоплиты проезжей части без гидроизоляции, требуемой нормативными документами, отступление от конструктивного решения деформационного шва проезжей части над устоями, отсутствие необходимого для проветривания зазора между торцами балок и шкафной стенкой устоя и конструкционной защиты балок из клееной древесины;

– строительства – отсутствие связи деревоплиты или настила с цементобетонным или асфальтобетонным покрытием, устройства «продухов» при сопряжении настила с деревоклееными балками, опорных частей, элементов конструктивной защиты фасадных балок, неудовлетворительное

исполнение водоотвода с подходов к мосту и с проезжей части; другие дефекты, связанные с низкой квалификацией исполнителей;

– эксплуатационные – расслоение клеевых швов, разрушение элементов проезжей части, загнивание древесины, вода на проезжей части.

Дефекты существенно влияют на сроки эксплуатации мостового сооружения, поэтому следует принимать все меры по их предотвращению на этапах проектирования, строительства и эксплуатации.

Филиал «Севмашвтуз»  
С.-Петербургского государственного  
морского технического университета

Поступила 02.06.05

*V.P. Stukov*

### **Complex Investigation of Bridges with Laminated Wood Beams**

The defects of elements and structures of bridge span with laminated wood beams are analyzed that allows determining the compliance of this material with the bridgework structure meeting the dynamic load in the tough temperature-humidity conditions.



УДК 624.131.52:624.139.2

*Г.С. Морозов*

Морозов Геннадий Станиславович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры строительного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет 4 печатные работы по расчетам и проектированию сооружений из мерзлого торфяного грунта.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДОК СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВАНИИ ИЗ МЕРЗЛОГО ТОРФЯНОГО ГРУНТА

Рассмотрена методика расчета осадок фундаментов на основании из мерзлого торфяного грунта с применением послойного суммирования и учетом изменения модуля упругости по толщине рассчитываемого массива грунта.

*Ключевые слова:* мерзлый торфяной грунт, напряжения, осадки, модули упругости, метод послойного суммирования.

В настоящее время одним из основных практических методов определения осадок сооружений на основании из минеральных грунтов является послойное суммирование [1, 2]. Суть его заключается в том, что грунтовое основание разбивают на достаточно тонкие слои. Каждый из них может иметь один и тот же (в случае однородного основания) или разные (в случае неоднородного основания) модули упругости.

Для каждого слоя определяют осадку в зависимости от уровня действующих на его поверхности напряжений, а затем полученные осадки отдельных слоев суммируют.

Метод послойного суммирования является приближенным, но результаты расчетов довольно хорошо совпадают с данными наблюдений за осадками сооружений [1]. Его можно применять также и при расчете осадок сооружений на основании из мерзлых торфяных грунтов, зависимость между напряжениями и осадками которых является нелинейной.

Для определения характера этой зависимости были проведены в лабораторных условиях испытания на одноосное сжатие образцов мерзлого торфяного грунта ненарушенного сложения [3]. Степень разложения торфа составляла 25 ... 31 %, влажность варьировали от 300 до 600 %, температуру от  $-3$  до  $-25$  °С. По данным испытаний строили кривые ползучести, затем для различных моментов

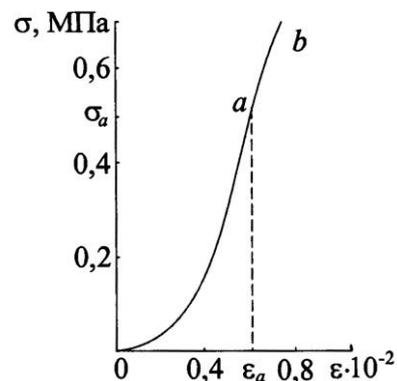


Рис. 1. Зависимость между напряжением  $\sigma$  и относительной деформацией  $\epsilon$

находили зависимость между напряжениями  $\sigma$  и деформациями  $\varepsilon$  мерзлого торфа (рис. 1). Эта зависимость является нелинейной и состоит из двух участков:  $0a$  и  $ab$ .

На участке  $0a$  зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  имеет выпуклость вниз (к оси  $\varepsilon$ ) и относится к жестким, т. е. по мере роста напряжений интенсивность нарастания осадок уменьшается.

На участке  $ab$  и далее зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  имеет выпуклость вверх и относится к мягким, т. е. по мере возрастания напряжений интенсивность нарастания деформаций увеличивается.

Аналогом жесткой характеристики является случай, представленный на рис. 2. Здесь основание плиты  $1$  изображено в виде совокупности пружин  $2$ , имеющих разную длину. По мере возрастания силы  $F$  происходит опускание плиты. При этом последовательно начинают деформироваться все новые пружины и сопротивление основания перемещениям плиты увеличивается. Условная зависимость  $F(\delta)$  показана на рис. 3. Она состоит из нескольких участков, соответствующих действию определенного числа пружин. Напри-

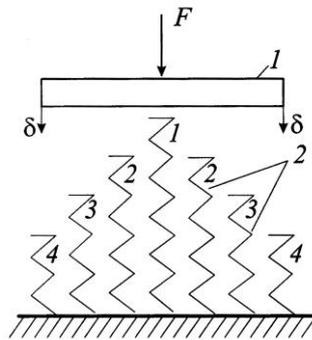


Рис. 2. Условная расчетная схема жесткого основания

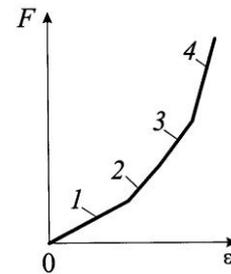


Рис. 3. Зависимость  $F(\delta)$  для схемы на рис. 2

мер, на первом участке деформируется только пружина  $1$ , на втором – пружины  $1$  и  $2$  и т. д.

Мерзлый торфяной грунт является многокомпонентной системой, состоящей из частиц льда, растительных волокон, минеральных частиц, воды и газовых включений. Основное сопротивление действию внешней нагрузки оказывают растительные остатки и частицы льда, меньшее – воды. По мере увеличения нагрузки в контакт вступают все новые частицы растительных волокон и льда, в результате возрастает сопротивление мерзлого торфяного грунта, что проявляется в повышении жесткости системы.

При дальнейшем увеличении нагрузки (участок  $ab$ ) разрушаются связи между растительными волокнами и частицами льда и сопротивление мерзлого торфа внешней нагрузке уменьшается.

На участках  $0a$  и  $ab$  зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  является явно нелинейной, поэтому аппроксимировать ее линейным уравнением вида  $\sigma = E\varepsilon$  с постоянным модулем упругости  $E$  слишком грубо. Мерзлый торфяной грунт имеет переменный модуль упругости, мгновенное значение которого равно тангенсу угла наклона касательной к кривой  $\sigma(\varepsilon)$  для данного значения  $\sigma$ .

В качестве рабочего примем участок  $0a$ , где ползучесть мерзлого торфа является затухающей. По данным опытов, напряжения на этом участке изменяются от нуля до 0,5 МПа, а зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  хорошо аппроксимируется уравнением

$$\sigma = A\varepsilon^m, \quad (1)$$

где  $A$ ,  $m$  – коэффициенты, определяемые экспериментально.

По уравнению (1) можно рассчитать переменный модуль упругости для любого слоя. Так как

$$E_i = \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\varepsilon_i} = \frac{\sigma_{i-1} - \sigma_i}{\varepsilon_{i-1} - \varepsilon_i}, \quad (2)$$

Таблица 1

Температура, °С	Значения $B \cdot 10^{-3n}$ , МПа, и $n$ при влажности торфа, %							
	300		400		500		600	
	$B$	$n$	$B$	$n$	$B$	$n$	$B$	$n$
-3	5,043	0,135	8,092	0,185	9,522	0,240	13,930	0,330
-8	6,516	0,285	9,769	0,330	10,812	0,365	15,082	0,450
-17	8,190	0,440	12,239	0,490	13,762	0,520	17,079	0,570
-25	8,046	0,530	13,773	0,570	14,737	0,600	19,620	0,660

то, выражая  $\varepsilon$  из уравнения (1), получаем

$$E_i = \frac{\sigma_{i-1} - \sigma_i}{B(\sigma_{i-1}^n - \sigma_i^n)}, \quad (3)$$

где  $B$ ,  $n$  – коэффициенты,  $B = A^{-n}$ ;  $n = m^{-1}$ .

Значения  $B$  и  $n$  для некоторых условий приведены в табл. 1.

Приведенные данные показывают, что даже в случае оснований из однородного массива мерзлого торфяного грунта модули упругости слоев зависят от их температуры и влажности,

При определении по формуле (3) модуля упругости слоя необходимо знать характер изменения напряжения  $\sigma$  по глубине массива. В соответствии с методом послойного суммирования для этого используют решение линейной задачи и определяют напряжения  $\sigma_z$  на вертикальной оси симметрии фундамента.

Расчетные зависимости имеют вид:

– для прямоугольного фундамента со сторонами  $2a$  и  $2b$  (пространственная задача) [1]:

$$\sigma_z = \frac{2P}{\pi} \left[ \operatorname{arctg} \frac{ab}{z\sqrt{a^2 + b^2 + z^2}} + \frac{zab(a^2 + b^2 + 2z^2)}{(a^2 + z^2)(b^2 + z^2)\sqrt{a^2 + b^2 + z^2}} \right]; \quad (4)$$

– для круглого фундамента диаметром  $2r$  (осесимметричная задача):

$$\sigma_z = P \left( 1 - \frac{z^3}{r^2 + z^2} \right); \quad (5)$$

– для ленточного фундамента шириной  $2b$  (плоская задача):

$$\sigma_z = 2 \frac{P}{\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2 + z^2} \right), \quad (6)$$

где  $P$  – интенсивность внешней нагрузки, равномерно распределенной по площади фундамента.

Разбивая основание на отдельные слои, отличающиеся влажностью или температурой торфа, можно по формуле (3) определить модуль упругости каждого слоя ( $E_i$ ), а затем их осадку ( $S_i$ ) по обычной формуле [2]

$$S_i = 0,8 \frac{\sigma_{\text{ср}i} h_i}{E_i}, \quad (7)$$

4

где  $h_i$  – толщина слоя;

$\sigma_{\text{ср}i}$  – среднее напряжение слоя,  $\sigma_{\text{ср}i} = 0,5(\sigma_{i-1} + \sigma_i)$ .

Подставляя в уравнение (7) выражения для  $\sigma_{\text{ср}i}$  и модуля упругости  $E_i$ , получаем

$$S_i = 0,4 h_i \frac{(\sigma_{i-1} + \sigma_i) B(\sigma_{i-1}^n - \sigma_i^n)}{\sigma_{i-1} - \sigma_i}, \quad (8)$$

что позволяет определить осадку каждого слоя при заданном законе изменения  $\sigma(z)$ .

Таким образом, используя экспериментальную зависимость (1), можно модернизировать метод послойного суммирования и применить его для определения осадок сооружений, возводимых на мерзлых торфяных грунтах.

Предлагаемую методику расчета осадок поясним на примере. Пусть фундамент сооружения представляет собой прямоугольную плиту размерами  $3 \times 3$  м, лежащую на слое мерзлого торфяного грунта большой мощности, удельная нагрузка на подошве плиты  $0,3$  МПа.

Физико-механические свойства мерзлого торфяного грунта в основании фундамента соответствуют данным, полученным при проведении лабораторных испытаний. Влажность грунтового массива является однородной и составляет  $600\%$ , температура торфа на поверхности равна  $-10$  °С; на глубине  $3$  м –  $3$  °С. Между этими точками температура изменяется по линейному закону.

Разбиваем массив на слои такой толщины, чтобы разность значений  $\sigma_z$  на границах слоев не превышала  $0,03 \dots 0,05$  МПа (рис. 4).

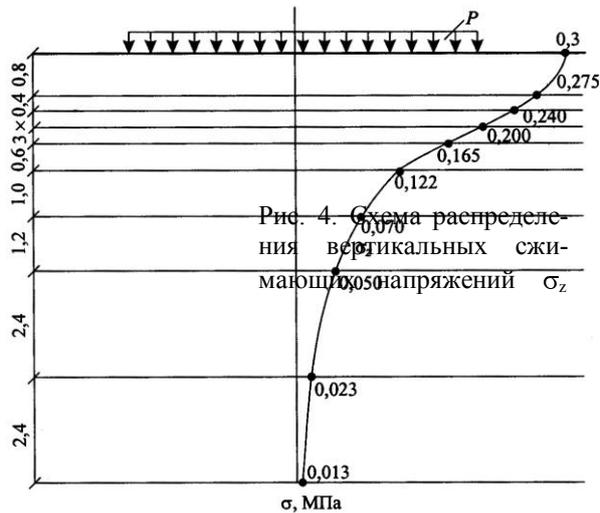


Таблица 2

№ слоя	Голщина слоя, м	Напряжение на поверхности слоя, МПа	Среднее напряжение слоя, МПа	Средняя температура слоя, °С	Коэффициенты		Модуль упругости слоя, МПа	Осадка слоя, см
					$B \cdot 10^{-3n}$ , МПа	$n$		
1	0,8	0,300	0,288	9,07	15,33	0,476	71,3	2,581
2	0,4	0,275	0,258	7,66	15,00	0,442	70,7	1,166
3	0,4	0,240	0,240	6,73	14,79	0,419	66,9	1,053
4	0,4	0,200	0,182	5,80	14,58	0,397	61,8	0,944
5	0,6	0,165	0,144	4,63	14,31	0,369	55,4	1,243
6	1,0	0,122	0,100	3,55	14,06	0,343	45,1	1,765
7	1,2	0,077	0,064	3,34	14,01	0,338	33,8	1,806
8	2,4	0,050	0,036	3,86	14,13	0,351	22,9	3,057
9	2,4	0,023	0,016	4,54	14,28	0,367	14,8	2,335
10	2,4	0,013	0,011	4,54	14,28	0,367	10,9	1,933
Итого	–	–	–	–	–	–	–	17,883

Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Значения  $B$  и  $n$  зависят от температуры торфа, поэтому для каждого слоя необходимо знать также и среднюю температуру, которую находим методом линейной интерполяции.

Мощность активной зоны (1–8) в рассматриваемом примере равна 7,2 м, осадка фундамента в пределах этой зоны 1,36 см.

Если решать линейную задачу, т. е. принять модуль упругости постоянным для всех слоев, то осадка изменится. Для рассматриваемого примера имеем:  $E = 34,2$  МПа, осадка – 1,95 см. Следовательно, осадка, подсчитанная при постоянном модуле упругости, на 32 % больше, полученной с учетом нелинейных свойств мерзлого торфа.

В статье не рассмотрены другие факторы, влияющие на осадку, например уменьшение несущей способности мерзлых торфяных грунтов с повышением их температуры. Зная сезонный ход температуры, нетрудно, применяя приведенную методику, определить осадку сооружений в период оттепелей и весеннего потепления и, следовательно, расчетный срок эксплуатации фундамента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Далматов, Б.И. Проектирование зданий и сооружений промышленных и гражданских зданий [Текст] / Б.И. Далматов [и др.]. – Л.: Высш. шк., 1968. – 292 с.
2. Строительные нормы и правила. Ч. 2., гл.15. Основания зданий и сооружений. СНиП II-15-74 [Текст]. – М.: Стройиздат, 1975. – 64 с.
3. Флорин, В.А. Основы механики грунтов. Т. 1 [Текст] / В.А. Флорин. – Л.; М.: Госстройиздат, 1959. – 357 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 26.05.03

*G.S. Morozov*

4\*

#### **Determination of Structures Settlements on Foundation of Frozen Peat Soils**

Method of calculation of foundation settlements on basement made from frozen peat soil by using layered summing and taking into account change of elasticity module along thickness of estimated soil massif.

---

УДК 630\*36

*П.Д. Шергов*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩИХ МАШИН НА ЛЕСОЗАГОТОВКАХ**

Приведен анализ технологий лесозаготовок, дано сравнение моделей валочно-пакетирующих машин, используемых на территории РФ.

*Ключевые слова:* технология лесозаготовок, сравнение машин, анализ, валочно-пакетирующая машина.

С переходом России к рыночной экономике отечественные предприятия, производящие лесозаготовительную технику, оказались в условиях жесткой конкуренции друг с другом и с зарубежными машиностроительными фирмами. Результатом реформ и конкурентной борьбы стали остановки производства на крупных российских предприятиях и появление, зачастую на их основе, мелких коммерческих производственных фирм, способных маневрировать в условиях современного рынка и поставлять потребителю необходимую современную технику.

Сегодня технический уровень отечественных лесозаготовительных машин ниже по сравнению с предлагаемыми импортными, поэтому их поставки потребителям возможны только за счет меньшей цены. Это во многом определяется и скудностью денежных ресурсов самих лесозаготовителей. Но нужно рассчитывать на то, что это явление временное и активно модернизировать лесозаготовительную технику: улучшать эргономику, дизайн, экологичность. Одновременно необходимо поднимать и эксплуатационные показатели: надежность, долговечность, производительность, универсальность, ходовые качества, снижать материалоемкость конструкций. Стоит внимательно присмотреться к требованиям лесозаготовительной промышленности, изучить передовые разработки зарубежных фирм и возможности их применения в отечественной лесозаготовительной промышленности, осуществлять оригинальные технические решения.

Это позволит сэкономить средства на организации производства и сопутствующих процессах, выйти на рынок с конкурентоспособными отечественными лесозаготовительными машинами.

На территории России располагаются обширные запасы деловой древесины. Основу насаждений составляют бореальные леса, обновляющиеся за счет лесных пожаров и ветровалов. Воздействию на лес лесных пожаров во многом идентичны сплошные рубки, при которых освобождается площадь для обновления леса, в зависимости от технологии разработки лесосек частично сохраняется жизнеспособный подрост. Перспективно оставлять часть сменных взрослых деревьев для ускорения воспроизводства леса.

Сплошные рубки наиболее эффективны в таежной зоне с крупномерным древостоем, но вследствие неразвитости дорожной лесовозной сети такие рубки крайне затруднены и осуществляются лишь в наиболее развитых промышленных регионах. В глубинных районах леса оказываются неразработанными и необновляющимися [2, с. 15 – 18].

Выборочные и прореживающие рубки применяют в основном в европейской части России. Они предназначены для обеспечения благоприятных условий роста леса, его расчистки и достижения однородности массива по возрасту и составу. Эти рубки зачастую проводят для того, чтобы подготовить лес к сплошной вырубке. Их цель – создать единообразие лесонасаждений. Поэтому машины для сплошных рубок находят применение почти во всех механизированных лесозаготовительных предприятиях. Главными требованиями к технике, работающей в этих условиях, являются экологичность, в том числе сохранение цельности грунта и корневой системы растущих деревьев, маневренность при движении между деревьями, компактность и производительность.

Наиболее полно требованиям выборочных рубок отвечает сортиментная технология, при которой применяют лесозаготовительную систему харвестер + форвардер. Зарубежные машины для выборочных рубок, в основном скандинавские (Швеция, Нидерланды), оставили далеко позади технику отечественных производителей, так как в XX в. наша страна отказалась от сортиментной технологии в пользу заготовки древесины деревьями и хлыстами как наиболее производительной в условиях обширных плотных лесонасаждений. Скандинавские страны развивали именно сортиментную технологию, поэтому неудивительно, что у них огромен опыт в проектировании и производстве машин для выборочных рубок.

По данным исследований Петрозаводского государственного университета, в 1998 г. в России на долю сортиментной технологии приходилось до 23 % годового объема лесозаготовок, 77 % составляла заготовка леса в деревьях и хлыстах [2].

В азиатской части нашей страны наиболее эффективна технология заготовки древесины в хлыстах и деревьях. Существует достаточно большая номенклатура отечественных лесозаготовительных систем, в которых в разных соотношениях применяют валочные, валочно-пакетирующие, валочно-трелевочные машины, различные трелевочные тракторы, мобильные сучкорезные машины, погрузчики. Применение той или иной системы определяется условиями работы и объемами заготовок. При больших объемах заготовок древесины в хлыстах (деревьях) оптимально применение системы валочно-пакетирующая машина – трелевочный трактор с пачковым захватом – передвижная сучкорезная машина – лесопогрузчик. Такая технология позволяет работать наиболее производительно и сохранять жизнеспособный подрост [1].

На эффективную работу этой системы во многом влияют технология разработки лесосеки, расположение и направление лент и свойства первого звена лесозаготовительной системы – валочно-пакетирующей машины, от

которых зависят производительность и качество лесозаготовительного процесса [1]. На рынке представлены следующие наиболее прогрессивные модели валочно-пакетирующих лесозаготовительных машин: отечественные ЛП-19В, МЛ-119, МЛ-135, их зарубежный аналог «Тимберджек-608» и его модификации.

Валочно-пакетирующие машины ЛП-19В выпускает производственная фирма ООО «Лестехком» (г. Йошкар-Ола), ранее, с 1975 г., их производил Йошкар-Олинский завод лесного машиностроения. Машина разработана на базе тяжелого экскаватора ЭО-4121, поставленного на ходовую часть трелевочного трактора ТТ-4. Основной вариант ЛП-19В – это машина, оборудованная гидроманипулятором с захватно-срезающим устройством (ЗСУ), позволяющим спиливать и укладывать в пачки деревья диаметром до 90 см в месте среза. Благодаря навесным сменным узлам ЛП-19В можно использовать на всех этапах технологического лесопромышленного процесса, начиная от строительства дорог до погрузки леса на подвижной состав: строительство – экскаватор; срезание мелких деревьев и кустарника – кусторез; обрезка сучьев и раскряжевка хлыстов на сортименты – процессор; погрузка леса в хлыстах и сортиментах – погрузчик [3].

Валочно-пакетирующие машины МЛ-119А и МЛ-135 выпускает завод «Ковровец» (г. Ковров), они различаются по условиям применения [4]. Основные тактико-технические характеристики этих и других валочно-пакетирующих машин приведены в таблице.

Валочно-пакетирующая машина «Тимберджек-608» разработана ведущей скандинавской фирмой, производящей лесозаготовительную технику. Модель 608 имеет несколько модификаций для различных условий труда: 608В – оснащенная валочной головкой KOENRIG WATEROUS 46 см с дисковой пилой, подходит для сплошных рубок в насаждениях с преобладанием (75 %) деревьев с диаметром в месте среза менее 30 см; 608S – отличается от предыдущей модели увеличенной мощностью; 608L – предназначена для работы на крутых склонах (до 27 °) с сохранением эксплуатационных характеристик модели 608S [5].

Анализируя характеристики отечественных ВПМ, можно предложить несколько путей совершенствования техники, позволяющих конкурировать с ведущей мировой фирмой «Тимберджек». Опираясь на потребности лесозаготовительных предприятий, нужно создавать новые или модернизировать существующие модели, идя по пути либо унификации (ЛП-19), либо специализации («Ковровец»). В последнем случае предприятия должны создавать различные модели машин применительно к конкретным условиям эксплуатации. Но при этом они окажутся в одном поле деятельности с фирмой «Тимберджек» и будут вынуждены превзойти ее продукцию хотя бы по основным показателям: эргономике, производительности, надежности и стоимости, иначе они просто не будут получать заказов.

В условиях среднесерийного производства наиболее оправдано создание универсальных машин, приспособленных к разным условиям эксплуатации путем регулировки или установки специализированного оборуду-



## Технические характеристики ВПМ

Параметры	ЛП-19В	МЛ-119А	МЛ-135	«Тимберджек-608В»	«Тимберджек-608S»	«Тимберджек-608L»
Двигатель	ЯМЗ-238ГМ2	ЯМЗ-238ГМ2	ЯМЗ-238АМ2	Cummins-167 л.с.	Cummins-205 (230)л.с.	Cummins-230 л.с.
Наибольшее давление в гидросистеме, МПа	25,0	25,0	32,5	–	–	–
База гусеничного ходового устройства, м	3,10	2,98	3,20	–	–	–
Колея гусеничного ходового устройства, м	2,5	2,5	2,5	–	–	–
Ширина гусеничной ленты, м	0,50; 0,60	0,60	0,60; 0,75; 0,90	–	–	–
Просвет дорожный минимальный, м	0,50	0,50	0,60	–	0,76	0,76
Вылет манипулятора, м	3,65...8,00	4,10...9,25	4,00...9,40	–	–	–
Скорость передвижения, км/ч	2,0...4,0	2,4; 4,8	2,0; 5,0	–	–	–
Среднее статистическое давление на грунт, кПа	65,0	70,0	54,2	–	–	–
Рабочий орган	ЗСУ с пильной цепью	ЗСУ с пильной цепью	ЗСУ с пильным диском и накопителем	Валочная головка KOEHRING WATEROUS	Валочная головка KOEHRING WATEROUS	Валочная головка KOEHRING WATEROUS
Наибольший диаметр срезаемого дерева в месте пропила, м	0,90	0,90	0,56	0,46	0,46	0,46
Грузоподъемность, т	3,2	2,5	1,8	–	–	–
Габаритные размеры, мм:						
длина	11600	12750	12180	–	–	–
ширина	3100	3150	3320	–	–	–
высота	3190	3800	4200	–	–	–
Производительность, м <sup>3</sup> /см.	270	250	170	–	–	–
Рабочий горизонтальный наклон (не более), град	8	8	10	10	10	27
Масса, кг	23 500	26 250	22 150	19 000	26 000	26 000
Цена, тыс. р.	2266	–	–	–	–	–



дования. При этом следует стремиться к снижению ее стоимости и уравниванию со стоимостью существующих образцов, что значительно повышает привлекательность техники для потенциального заказчика.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аболь, П.И.* Машина ЛП-19 на лесосечных работах [Текст] / П.И. Аболь [и др.]. – 2-е изд., перераб. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 88 с.
2. *Герасимов, Ю.Ю.* Лесосечные машины для рубок ухода: Компьютерная система принятия решений [Текст] / Ю.Ю. Герасимов, В.С. Сюнев. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. – 236 с.
3. Официальный Интернет-ресурс Йошкар-Олинского завода лесного машиностроения: <http://www.smoll.ru>.
4. Официальный Интернет-ресурс экскаваторного завода «Ковровец»: <http://www.kez.ru>.
5. Официальный Интернет-ресурс Петро-Тимберджек: <http://petrotj.onego.ru>.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 11.11.03

*P.D. Shergov*

#### **Use of Felling-bunching Machines in Forest Harvesting**

The analysis of forest-harvesting technologies is provided. The comparison of models for felling-bunching machines used on the territory of RF is given.

---

УДК 629.114.4.001.2

***Е.В. Платонова***

Платонова Елена Вячеславовна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры промышленного транспорта АГТУ. Имеет 6 печатных работ по изучению скорости движения лесовозных автопоездов и пропускной способности лесовозных дорог.



### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОЖЕСТВЕННОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО ТРАНСПОРТА**

Исследована зависимость среднетехнической скорости от параметров продольного профиля. С использованием метода множественной нелинейной корреляции получены уравнения элементарных математических функций.

*Ключевые слова:* множественная линейная и нелинейная корреляция, дисперсия продольных уклонов.

Известны различные способы определения скорости движения поездов [1, 3]. Она зависит не только от состава автопоезда, максимального подъема участка профиля, но и от среднеарифметического уклона продольного профиля, дисперсии уклонов, других факторов.

В данной работе получены зависимости для определения средней технической скорости движения от различных параметров продольного профиля, а также установлен математический закон, которому соответствуют результаты исследований.

Для получения фактических данных обработан 101 профиль лесовозных дорог протяженностью от 6 до 10 км, покрытие из железобетонных плит. Требовалось определить среднюю техническую скорость в грузовом и порожняковом направлениях, а также некоторые характеристики продольного профиля. С этой целью использованы материалы изысканий: пикетаж и отметки земли каждой трассы. Затем по программе Spl101 строили профиль каждой дороги. По программе Ukl21 рассчитывали наибольший подъем в грузовом направлении, средний арифметический уклон и дисперсию продольных уклонов. Исследования выполняли для автомобиля MA3-5337-041 как в грузовом, так и в порожняковом направлениях с учетом массы автопоезда. Скорость устанавливали используя программу Maz\_5337 (определение времени движения автопоезда в грузовом и порожняковом направлениях).

Зависимость средней технической скорости от перечисленных характеристик найдена методом множественной линейной регрессии [2]. По специально разработанной программе MinCor21 получено уравнение линейной множественной регрессии:

$$v = 13,0 - 0,00608 mi + 0,0212 si - 0,000048 di,$$

где  $v$  – средняя техническая скорость, м/с;

$mi$  – максимальный подъем в грузовом направлении, ‰;

$si$  – среднее арифметическое значение продольных уклонов, ‰;

$di$  – дисперсия уклонов продольного профиля,

$$di = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2,$$

где  $n$  – число пикетов на расчетном продольном профиле;

$s_i$  – продольный уклон на каждом пикете.

Коэффициент множественной корреляции ( $R$ ) составил 0,760. Коэффициенты частной корреляции:  $R_1 = 0,145$  (для максимального продольного уклона);  $R_2 = 0,162$  для среднего арифметического);  $R_3 = 0,517$  (для дисперсии продольных уклонов). Обусловленность нормальной системы при определении множественной линейной корреляции COND = 7052. Зависимость средней скорости от дисперсии продольных уклонов можно описать формулой

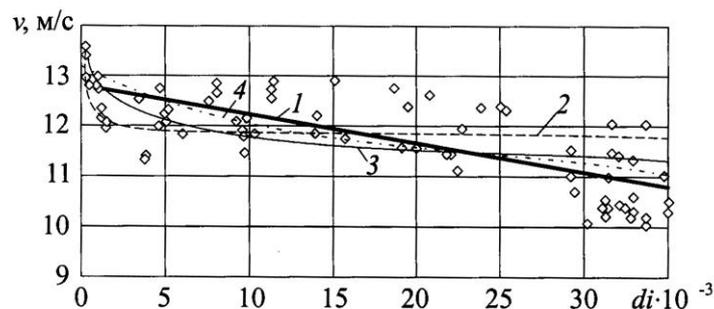
$$v = 12,7 - 0,0000565 di$$

и представить в виде графика (кривая 1 на рисунке).

Анализ полученных данных позволил установить связь средней технической скорости движения с максимальным подъемом в грузовом направлении, средним арифметическим уклоном и дисперсией продольных уклонов. С этой целью разработана программа MinCog22, где в качестве четвертого параметра принята обратная характеристика дисперсии уклонов ( $1/di$ ). После обработки фактических данных получено уравнение

$$v = 13,0 - 0,00986 mi + 0,00944 si - 0,0000467 di + 167 / di.$$

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,780$ . Коэффициенты частной корреляции:  $R_1 = 0,227$  (для максимального продольного уклона);  $R_2 = 0,0718$  (для среднего арифметического);  $R_3 = 0,512$  (для дисперсии



Графики зависимости скорости движения от дисперсии уклонов продольного профиля: 1 – для  $di$ ; 2 – для  $1/di$ ;

3 –  $\ln(di)$ ; 4 – для  $\sqrt{di}$

продольных уклонов);  $R_4 = 0,268$  (для обратной характеристики дисперсии продольных уклонов). Обусловленность нормальной системы при определении множественной линейной корреляции  $COND=161700$ . Среднюю скорость в зависимости от дисперсии продольных уклонов можно определить по формуле

$$v = 11,7 + 375,3/di$$

и представить в виде кривой 2 на рисунке.

Использование обратной характеристики дисперсии уклонов ( $1/di$ ) недостаточно полно характеризует опытные данные. Поэтому было принято решение в качестве четвертого параметра использовать простейшие математические характеристики:  $\ln(di)$  и  $\sqrt{di}$ . Для этой цели разработаны программы MinCor23 (для  $\ln(di)$ ) и MinCor24 (для  $\sqrt{di}$ ). Обработка данных позволила получить следующие результаты.

Для  $\ln(di)$  уравнение имеет вид

$$v = 13,5 - 0,00688 mi + 0,0185 si - 0,0000436 di - 0,0566 \ln(di).$$

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,761$ . Коэффициенты частной корреляции:  $R_1 = 0,157$  (для максимального продольного уклона);  $R_2 = 0,136$  (для среднего арифметического);  $R_3 = 0,389$  (для дисперсии продольных уклонов);  $R_4 = 0,0657$  (для логарифмической функции от дисперсии продольных уклонов). Обусловленность нормальной системы при определении множественной линейной корреляции  $COND=3169$ . С учетом этого средняя скорость в зависимости от дисперсии продольных уклонов может быть определена по формуле

$$v = 15,6 - 0,41 \ln(di)$$

и представлена в виде кривой 3 на рисунке.

Для  $\sqrt{di}$  уравнение имеет вид

$$v = 12,8 - 0,00515 mi + 0,0244 si - 0,0000675 di + 0,00466 \sqrt{di}.$$

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,763$ . Коэффициенты частной корреляции:  $R_1 = 0,120$  (для максимального продольного уклона);  $R_2 = 0,180$  (для среднего арифметического);  $R_3 = 0,280$  (для дисперсии продольных уклонов);  $R_4 = 0,0895$  (для квадратного корня от дисперсии продольных уклонов). Обусловленность нормальной системы при определении множественной линейной корреляции  $COND=6420$ . С учетом этого средняя скорость в зависимости от дисперсии продольных уклонов может быть определена по формуле

$$v = 13,17 - 0,012 \sqrt{di}$$

и представлена кривой 4 на рисунке.

Как видим, использование метода множественной нелинейной корреляции не позволяет получить результаты, максимально соответствующие фактическим. Наиболее точно опытные данные характеризует уравнение

прямой, полученное с помощью метода множественной линейной регрессии. Поэтому в расчетах требовалось определять зависимость предложенными методами и только после этого делать выводы.

Кроме того, результаты исследований позволили сделать основной вывод, что для определения средней технической скорости движения автопоездов должна быть использована дисперсия уклонов продольного профиля дороги (коэффициент частной корреляции для дисперсии продольных уклонов наибольший во всех четырех случаях). Максимальный уклон и значения средних арифметических уклонов оказывают незначительное влияние на скорость движения.

Разработанные программы Sp1101, Ukl21, Maz\_5337, MinCor21, MinCor22, MinCor23, MinCor24 находятся на кафедре промышленного транспорта АГТУ (г. Архангельск) и могут быть использованы заинтересованными лицами и проектными организациями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единые нормы выработки и расценки на лесозаготовительные работы [Текст]. – М.: Экономика, 1989. – 84 с.
2. *Езекиэл, М.* Методы анализа корреляций и регрессий [Текст] / М. Езекиэл, К.А. Фокс. – М.: Статистика, 1966. – 558 с.
3. Общесоюзные нормы технологического проектирования лесозаготовительных предприятий. Ч. 1. Нормы [Текст]. – Л.: Лесн. пром-сть, 1980. – 192 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 30.06.03

*E.V. Platonova*

#### **Use of Multiple Regression Methods for Average Speed Determination of Timber-carrying Transport Movement**

Dependence of average-technical speed on parameters of longitudinal profile is investigated. The equations of elementary mathematical functions are obtained by using the method of nonlinear multiple correlation.





## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.093.26

*А.Н. Чубинский, В.М. Щербаков*

Чубинский Анатолий Николаевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии деревообрабатывающих производств Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Имеет около 200 научных трудов в области технологии склеивания древесины.



### ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУДНОГОРЮЧИХ СТОЛЯРНЫХ ПЛИТ

На основе полученных экспериментальных данных разработаны рациональные конструкция и режим прессования трудногорючих столярных плит.

*Ключевые слова:* трудногорючие столярные плиты, конструкция пакета, технология, режим прессования.

Возрастающее с каждым годом число пожаров, приводящих к человеческим жертвам и причиняющих значительный материальный ущерб, вынуждает ужесточать требования к пожарной безопасности материалов, используемых в строительстве, вагоно- и судостроении. Известно, что к этим материалам предъявляют жесткие требования по огнестойкости и горючести. Эти требования ограничивают применение древесины и древесных материалов при строительстве вагонов и судов. В этой связи исследования по созданию трудногорючих древесных материалов являются актуальными как в России, так и за рубежом.

В настоящее время в строительстве, вагоно- и судостроении широко применяют трудногорючие фанерные плиты, изготовленные из шпона, пропитанного антипиренами. Вследствие пропитки плотность древесины увеличивается, так как в ее внутренние полости вводятся дополнительные вещества, которые способствуют увеличению массы плит. Плотность трудногорючих фанерных плит может достигать 850 ... 900 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, проблема создания трудногорючего древесного материала, обладающего меньшей, чем трудногорючая фанера, плотностью, без значительного снижения прочностных и огнезащитных характеристик, является актуальной.

Один из путей решения данной проблемы – создание трудногорючей столярной плиты. По сравнению с фанерой она обладает меньшей плотностью при допустимом снижении прочностных показателей. Это особенно важно при использовании плит в качестве конструкционного материала в таких отраслях промышленности, как вагоно- и судостроение.

Площадь пласти столярной плиты значительно превышает площадь ее кромок и торцов, поэтому плась подвергается наибольшему воздействию огня. Следовательно, огнестойкость получаемого материала гораздо больше зависит от степени и качества пропитки наружных слоев, чем от пропитки внутреннего слоя. Кроме того, высокое содержание антипирена в делянках внутреннего слоя вызовет неоправданное увеличение трудозатрат, стоимости и плотности столярных плит.

Делянки среднего слоя столярной плиты изготавливали из древесины осины, так как ее плотность меньше, чем березовой [1]; она пропитывается лучше и качественней, чем еловая; существуют большие запасы невосребованной осиновой древесины.

Известно, что при статическом изгибе максимальные нормальные напряжения приходятся на наружные слои плиты. Поэтому для наружных слоев используют березовый шпон.

При разработке трудногорючей столярной плиты необходимо определить следующее:

- рациональную структуру трудногорючей столярной плиты с позиции огнестойких и прочностных свойств;
- необходимую степень пропитки делянок среднего слоя;
- рациональный режим прессования плит.

Для разработки рациональной структуры плиты и степени пропитки делянок были определены: зависимость огнестойких свойств от числа листов шпона в наружных слоях плит [3]; влияние направления волокон древесины в шпоне и делянках среднего слоя относительно друг друга на прочность плиты при статическом изгибе [2]; зависимость полной и остаточной деформации, прочности при статическом изгибе и скалывании по клеевому слою между шпоном и средним слоем, плотности, огнестойких свойств от количества антипирена в делянках среднего слоя и давления прессования; кинетика нагрева клеевых слоев плит.

Структура столярной плиты характеризуется двумя параметрами: числом листов шпона в наружных слоях и направлением их волокон относительно друг друга и делянок.

Исследования, проведенные в работах [2, 3], позволили установить, что для изготовления трудногорючей столярной плиты целесообразно использовать пятислойную структуру, у которой направление волокон древесины в наружных листах шпона перпендикулярно волокнам во внутренних листах и в делянках. Данная схема сборки пакета пятислойной плиты позволяет получить достаточно высокую прочность при статическом изгибе как вдоль, так и поперек делянок. Кроме того, такая конструкция пакета, при условии достаточно точного изготовления делянок, позволяет исключить

операцию калибрования среднего щита перед склеиванием в столярную плиту. Свесы, возникающие из-за неточности изготовления делянок, будут компенсироваться внутренним слоем шпона, у которого направление волокон древесины совпадает с направлением волокон делянок.

Рациональное содержание антипирена в делянках среднего слоя определяли на основе однофакторных экспериментов (табл. 1).

Из результатов экспериментов видно, что прочность столярных плит при скалывании по клеевому слою между делянками среднего слоя и шпоном после кипячения в воде в течение 1 ч (в пределах варьирования переменных факторов) превышает требуемое значение по ТУ на трудногорючие фанерные плиты (1,0 МПа). Влияние содержания антипирена на прочность столярных плит при скалывании по клеевому слою слабо выражено. Оно проявляется только при давлении прессования 1,9 МПа. При использовании осины в качестве материала для среднего слоя столярных плит антипирен оказывает положительное влияние на качество склеивания. Он не дает связующему проникнуть глубоко в древесину делянок и нарушить монолитность клеевого слоя. Это позволяет предположить возможность склеивания трудногорючих столярных плит при пониженном расходе клея.

Испытания образцов на огнестойкость (потеря массы и прирост температуры дымовых газов) показали, что при содержании антипирена в делянках среднего слоя свыше 4 % столярные плиты относятся к трудногорючим материалам по ГОСТ 12.1.044.

Таблица 1

**Результаты однофакторных экспериментов при давлении прессования 1,2 МПа (числитель) и 1,9 МПа (знаменатель)**

Показатель	Значение показателя при содержании антипирена в рейках среднего слоя, %				
	0	4*	8	12	16
Прочность образцов при скалывании по клеевому слою между шпоном и делянками среднего слоя, МПа	1,56/1,85	1,93/2,50	1,98/2,42	1,96/2,38	1,92/2,18
Потеря массы образцов после испытания на горючесть, %	**	14,21/14,98	14,54/14,11	13,78/13,82	12,72/12,42
Прирост температуры дымовых газов при испытании образцов на горючесть, °С	**	39,00/41,00	21,50/24,00	16,25/11,83	0/0

\* Прирост температуры дымовых газов у части образцов превысил 60 °С.

\*\* Образцы сгорели.

Таблица 2

## Матрица планирования многофакторного эксперимента

Фактор	Уровни фактора			Интервал варьирования
	Нижний	Основной	Верхний	
Давление прессования $X_1$ , МПа	1,4	1,7	2,0	0,35
Температура плит пресса $X_2$ , °С	110	120	130	10
Продолжительность выдержки под давлением $X_3$ , мин	8	10	12	2
Содержание антипирена в делянках среднего слоя $X_4$ , %	8	12	16	4
Расход клея $X_5$ , г/м <sup>2</sup>	125	145	165	20

У части образцов с содержанием антипирена 4 % прирост температуры дымовых газов превысил 60 °С. Поэтому столярные плиты следует относить к группе трудногорючих материалов по ГОСТ 12.1.044 при содержании антипирена в делянках среднего слоя не менее 8 %. Это значительно меньше, чем у пропитанного шпона, который применяют для производства трудногорючих фанерных плит (около 20 %).

Для определения рационального режима склеивания пакета трудногорючей столярной плиты был проведен многофакторный эксперимент (табл. 2). Переменные факторы и уровни их варьирования взяты на основе априорных сведений и результатов однофакторных экспериментов.

В качестве выходных параметров эксперимента взяты:  $Y_1$  – прочность при скалывании по клеевому слою между делянками среднего слоя и шпоном;  $Y_2$  – плотность столярной плиты. В результате реализации матрицы планирования получены следующие уравнения регрессии.

Для прочности при скалывании по клеевому слою, МПа:

а) в кодированном виде

$$Y_1 = 2,4284 + 0,1803 X_1 + 0,2404 X_2 + 0,4039 X_3 + 0,0982 X_4 + 0,2379 X_5 - 0,0275 X_1 X_2 - 0,089 X_1 X_3 + 0,0975 X_1 X_4 - 0,0205 X_1 X_5 - 0,2803 X_2 X_3 + 0,0229 X_2 X_4 - 0,1582 X_2 X_5 - 0,0589 X_3 X_5 + 0,0335 X_4 X_5;$$

б) в натуральном виде

$$Y_1 = -40,256 + 2,7049 X_1 + 0,2876 X_2 + 2,3495 X_3 - 0,2430 X_4 + 0,1223 X_5 - 9,1667 \cdot 10^{-3} X_1 X_2 - 0,1482 X_1 X_3 + 8,125 \cdot 10^{-2} X_1 X_4 - 3,4167 \cdot 10^{-3} X_1 X_5 - 1,4015 \cdot 10^{-2} X_2 X_3 + 5,725 \cdot 10^{-4} X_2 X_4 - 7,91 \cdot 10^{-4} X_2 X_5 - 1,4725 \cdot 10^{-3} X_3 X_5 + 4,1875 \cdot 10^{-4} X_4 X_5.$$

Для плотности, кг/м<sup>3</sup>:

а) в кодированном виде

$$Y_2 = 577,838 + 10,7407 X_1 + 7,8012 X_2 + 1,2833 X_3 + 10,3042 X_4 + \\ + 8,0076 X_5 + 3,3778 X_1 X_2 + 1,9307 X_1 X_3 - 1,3727 X_1 X_4 - \\ - 2,1188 X_2 X_3 - 0,9534 X_2 X_5 + 1,0879 X_3 X_4 + 1,4932 X_3 X_5;$$

б) в натуральном виде

$$Y_2 = 449,4063 - 117,762 X_1 + 0,6166 X_2 + 0,8394 X_3 + 3,1608 X_4 + \\ + 0,5991 X_5 + 1,1259 X_1 X_2 + 3,2178 X_1 X_3 - 1,1439 X_1 X_4 - \\ - 0,1059 X_2 X_3 - 4,7680 \cdot 10^{-3} X_2 X_5 + 0,1360 X_3 X_4 + 3,7330 \cdot 10^{-2} X_3 X_5.$$

В ходе эксперимента прочность плиты при скалывании в зависимости от уровней переменных факторов и эффектов их взаимодействия изменялась от 0,671 до 3,128 МПа, плотность – от 541,59 до 620,08 кг/м<sup>3</sup>.

Для выбора рационального режима склеивания трудногорючих столярных плит необходимо учитывать следующее: у плит прочность при скалывании по клеевому слою между делянками среднего слоя и шпоном после выдержки в воде в течение 1 ч при температуре 100 °С должна быть не меньше, чем у трудногорючей фанерной плиты. В соответствии с ТУ на плиты фанерные атмосферостойкие трудногорючие прочность при скалывании по клеевому слою должна быть не менее 1,0 МПа и быть минимально возможной.

На основании данных ограничений и полученных уравнений с помощью программы Microsoft Excel был выбран рациональный режим склеивания трудногорючих столярных плит толщиной 22 мм с использованием клея на основе смолы марки СФЖ-3014.

Ниже приведены параметры оптимального режима склеивания:

Давление прессования..... 1,4 МПа

Температура плит пресса..... 110 °С

Продолжительность выдержки под давлением..... 12 мин

Доля антипирена в делянках среднего слоя..... 8 %

Расход клея..... 125 г/м<sup>2</sup>

Проведенные исследования позволили установить рациональную конструкцию пакета трудногорючих столярных плит с учетом прочностных и огнестойких свойств, а также рациональный режим склеивания плит.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боровиков, А.М.* Справочник по древесине [Текст] / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев; под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
2. *Щербаков, В.М.* Дверной блок повышенной огнестойкости [Текст] / В.М. Щербаков // Леспроект. – 2004. – № 1. – С. 33 – 34.

---

3. *Щербаков, В.М.* Трудногорючие столярные плиты [Текст] / В.М. Щербаков // Ежегодная научн. конф. С.-Петербургской ЛТА: сб. докл. молодых ученых. – СПб., 2003. – Вып. 7. – С. 55–59.

С.-Петербургская лесотехническая академия

Поступила 14.04.05

*A.N. Chubinsky, V.M. Shcherbakov*

**Substantiation of Design and Manufacturing Technique  
for Hard-combustible Composite Boards**

The rational design and pressing mode of hard-combustible composite boards are developed based on the experimental data received.

---

УДК 674.038.6

**Д.В. Иванов**

Иванов Давид Васильевич родился в 1937 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет свыше 60 научных трудов в области комплексного использования древесины, создания и совершенствования технологического и грузоподъемного оборудования для лесопильных предприятий.



## ПАКЕТОСПОСОБНОСТЬ ПАРТИИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены вопросы определения размеров поперечного сечения пакетов пиломатериалов в связи с размерами международных контейнеров; приведен метод расчета минимального объема пакетоспособной партии.

*Ключевые слова:* пиломатериалы, пакет, контейнер, модуль, пакетоспособность, остатки, коэффициент полноты укладки, коносомент.

На пакетоспособность партии пиломатериалов влияют ее объем, размеры сечения транспортных пакетов, дробность сортировки по длинам, распределение пиломатериалов по длинам или группам длин и ряд других факторов.

Размеры поперечного сечения пакетов, определенные нормативными документами [1], установлены исходя из габаритных размеров железнодорожного и автомобильного транспорта. В связи с развитием в

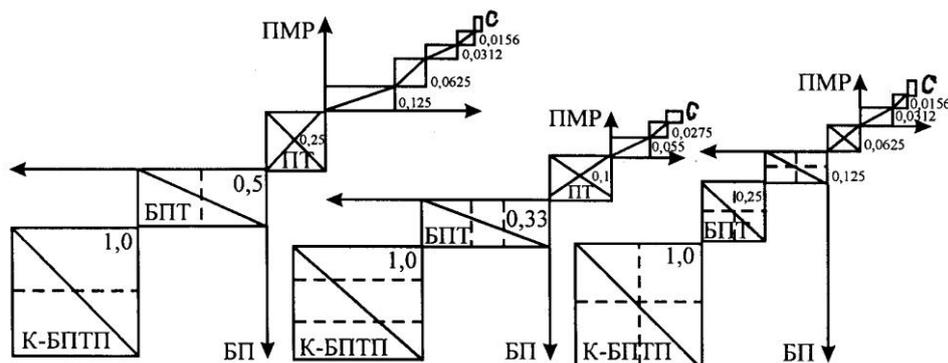


Рис. 1. Квадратурные ряды пакетов

последнее время международных и внутренних контейнерных перевозок в работе [3] предложено размеры поперечного сечения пакетов, увязывать с размерами контейнеров (1А, 1С, УК-30, УК-60). На рис. 1 приведен квадратурный ряд пакетов, составленный по отношению площадей пакета  $F_n$  и контейнера  $F_k$  – по модулю кратности сечения  $M_c$ :

$$M_c = F_n / F_k = M_{ш} M_h, \quad (1)$$

где  $M_{ш}$  и  $M_h$  – модули кратности по ширине и высоте пакета.

Параметры модулей имеют следующие значения: 1,0; 0,5; 0,33; 0,25; 0,125; 0,110; 0,0625; 0,0550; 0,0312; 0,0275; 0,0156.

В структурной схеме (рис. 1, табл. 1, 2) выделены четыре основных типа пакетов:

БПТП – блок-пакет транспортно-погрузочный, соответствующий размерам контейнера; предназначен для обращения между станциями, портами и крупными лесными базами;

БПТ – блок-пакет транспортный; применим на участках поставщиков, связанных с формированием БПТП;

ПТ – пакет транспортный (базового сечения); предназначен для обращения в сферах производства и потребления пиломатериалов;

ПМР – пакет мелкой расфасовки; применим для пакетирования остатков партий; для ПМР за модуль расфасовки  $M_p$  принято отношение содержания пиломатериалов в ПМР к содержанию их в базовом транспортном пакете; введена дополнительная градация – стопа, представляющая интерес для розничной продажи пиломатериалов на торговых базах и рынках.

Сетки сечений блок-пакетов, транспортных пакетов и пакетов мелкой расфасовки приведены в табл. 1, 2.

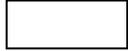
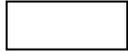
Наибольшие размеры сечений транспортных пакетов определяют с учетом следующих параметров:  
по ширине

$$B_{п.т} = (B_d Z_{ш} - C_{ш.п.т}) < (B_{бп} + \Delta B - C_{ш.бп}) M_{ш} M_p; \quad (2)$$

Таблица 1

Сетка сечений транспортных серий БПТ и ПТ

5\*

Блок-пакет транспортный (БПТ)	Схема	Пакет транспортный (ПТ)	Схема
Крупный БПТ-0,5	 $M_c = 0,5$	Крупный ПТ-0,25	 $M_c = 0,25$
Средний БПТ-0,33	 $M_c = 0,33$	Средний ПТ-0,11	 $M_c = 0,11$
Малый БПТ-0,25	 $M_c = 0,25$	Малый ПТ-0,06	 $M_c = 0,0625$
Мини БПТ-0,12	 $M_c = 0,125$	Мини ПТМ*	 $M_c = 0,055$

\* Применим для мелких партий пиломатериалов, которые не могут быть уложены в пакеты сечений ПТ-0,11 и ПТ-0,06.

Таблица 2

Сетка сечений транспортных пакетов серий ПМР

Пакет мелкой расфасовки (ПМР)	Схема		
	ПТ-25	ПТ-0,11	ПТ-0,06
ПМР-50	 $M_c = 0,125$ $M_p = 0,5$	 $M_c = 0,055$ $M_p = 0,5$	 $M_c = 0,0625$ $M_p = 0,5$
ПМР-25	 $M_c = 0,0625$ $M_p = 0,25$	 $M_c = 0,0275$ $M_p = 0,25$	 $M_c = 0,0156$ $M_p = 0,25$
ПМР-12	 $M_c = 0,0312$ $M_p = 0,125$	– –	– –
ПМР-6	 $M_c = 0,0156$ $M_p = 0,0625$	–	–
ПМР-С	Стопа	Стопа	Стопа

по высоте

$$H_{п.т} = (H_d Z_h + i h_{пр} - C_{п.т}) < (H_{бп} + \hat{H} - C_{бп}) M_h M_{ph}, \quad (3)$$

где

$B_d$  и  $H_d$  – ширина и толщина досок;

$Z_{ш}$  и  $Z_h$  – количество досок по ширине ряда и рядов в пакете;

$i$  и  $h_{пр}$  – количество и толщина связных прокладок;

$C_{ш.п.т}$ ,  $C_{п.т}$  и  $C_{ш.бп}$ ,  $C_{бп}$  – расход на упаковку по ширине и высоте соответственно транспортного и блок-пакета;

$M_{ш}$ ,  $M_h$ ,  $M_{р.ш}$ ,  $M_{ph}$  – модули кратности пакетов.

Для оценки пакетоспособности партии возможно применение метода расчета минимального объема партии [4], при котором пиломатериалы каждой длины или группы длин, входящие в состав партии, должны укладываться в один пакет с заданными параметрами поперечного сечения.

Расчетные зависимости для определения минимальных размеров партии имеют следующий вид:

в штуках

$$M_{\min} = 100 (Z_n / P_{\min}); \quad (4)$$

по объему

$$Q_{\min} = 100 F_n (L/P), \quad (5)$$

где  $F_n$  – площадь поперечного сечения транспортного пакета, м<sup>2</sup>;

$Z_n$  – количество пиломатериалов в пакете, шт.;

$L$  – длина пиломатериалов, м;

$P$  – удельное содержание пиломатериалов определенной длины в партии (принимают по данным учета или опытных работ за последние годы), %.

Для ускорения расчетов и проверки пакетоспособности партий пиломатериалов составлены номограммы (рис. 2). При этом из-за некратности количества досок отдельных длин в партии количеству досок в пакетах часть пакетов могут формироваться неполными.

Пакетоспособность каждой партии продукции оценивают (в процентах) коэффициентом полноты пакетирования  $K_n$ , который отражает долю полных пакетов ( $N$  – число пакетов) в формируемой партии. По рекомендации ISO пакетоспособной считается партия продукции, из которой формируют 80 ... 85 % полных пакетов. Расчет коэффициентов полноты пакетирования для партий, состоящих из разного числа подаваемых пакетов

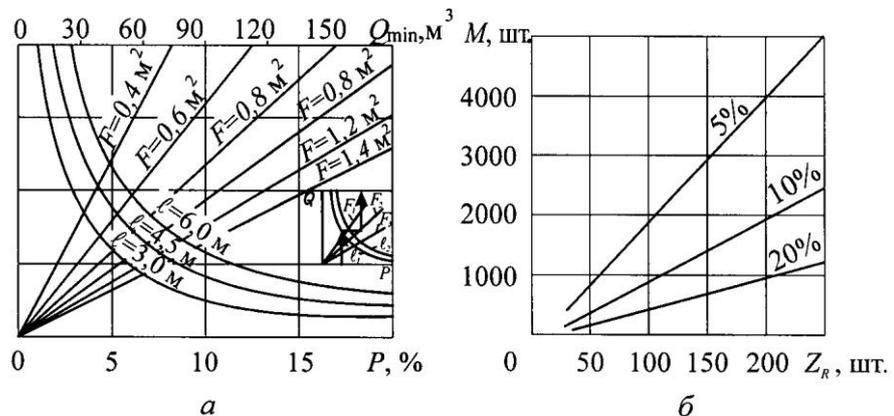
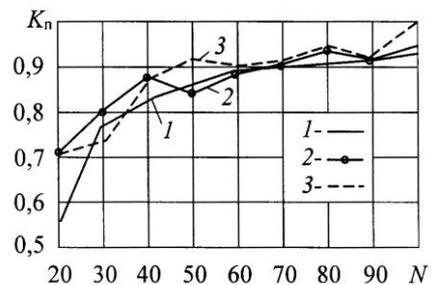


Рис. 2. Номограммы (а, б) для проверки пакетоспособности партий

Рис. 3. Коэффициент полноты пакетирования: 1 – центральные доски, 2 – первые боковые доски, 3 – крайние боковые доски



(равных по объему формируемым), и среднего по АО «Северолесоэкспорт» соотношения по длинам для центральных и боковых досок приведены на рис. 3.

Из графиков следует, что для обеспечения  $K_n = 0,85$  необходимо подавать на сортировку по длинам на менее 60 пакетов центральных и 40 пакетов боковых досок. Из этого следует, что объем пропускаемой партии для центральных досок, укладываемых в пакеты сечением  $1,1 \times 1,1$  м при средней длине 5 м, составит  $360 \text{ м}^3$ , для боковых досок при средней длине 4 м –  $190 \text{ м}^3$ . Около 15 ... 20 % досок, а при малых партиях до 30 ... 40 %, остаются в неполных пакетах в виде остатков.

Улучшить пакетоспособность партии продукции возможно следующими способами: увеличение объема пакетируемой партии; сокращение количества длин формируемых пакетов; укладка в один пакет двух-трех соседних длин; уменьшение размеров поперечного сечения пакетов.

Анализ коносаментов показал, что преобладающими являются партии пиломатериалов объемом 300 ... 500 м<sup>3</sup> (60 %) и лишь 15 % партий имеют больший объем.

По результатам исследований, выполненных А.В. Грачевым и В.И. Барашиковым [2], предложено использовать сокращенные ряды длин пакетов пиломатериалов: R21 и R22 с градацией 0,6 м; R31, R32 и R33 с градацией 0,9 м. Расчетами установлено, что при объемах пакетирования от 50 до 60 пакетов коэффициент полноты пакетирования может увеличиваться до 0,9652 для ряда R21 и до 0,9737 для ряда R22. Коэффициент 0,8500 может быть достигнут в партиях от 20 до 30 пакетов при градации 0,6 м и от 15 до 20 пакетов при градации 0,9 м. Однако при этом выход пиломатериалов для ряда R21 снижается на 3,46 %, для ряда R22 – на 2,63 %.

Для пакетирования остатков пиломатериалов могут быть использованы пакеты уменьшенных размеров. Например, при сортировке 60 пакетов остается первичный остаток – 13,3 % ( $K_{\text{п}} = 0,8670$ ). Пакетируя остатки половинными пакетами ( $M_{\text{пл}} = 0,5$ ) получим малые пакеты (6,67 %) и вторичный остаток 6,63 %, при этом коэффициент полноты пакетирования достигнет 0,9330. Если первичный остаток в пакетах высотой 1/3 от основного ( $M_{\text{пл}} = 0,33$ ), то получим 10 малых пакетов, вторичный остаток составит 3,3 %, при этом коэффициент полноты пакетирования достигнет 0,9670. При укладке первичного остатка в пакеты двух-трех соседних длин последовательными слоями можно получить 11,6 % полных пакетов и 1,7 % вторичного остатка, коэффициент полноты пакетирования достигнет 0,9670.

Установленная величина минимального объема партии  $Q_{\text{min}}$  позволит определить необходимые объемы пиломатериалов: для подачи на сортировку по длинам и пакетирование, на окончательную торцовку (ТМУ); для выпилки в лесопильном цехе; для подачи в лесопильный цех и на сухопутную сортировку.

Объем  $V$  пакетов пиломатериалов, подлежащих обработке на ТМУ (БСП) и выпилке в лесопильном цехе для получения на СД пакетоспособной партии, можно определить по формуле

$$V_{\text{ТМУ}}^{\text{п.сп}} = \frac{Q_{\text{min}} \cdot 100}{O_{\text{is}}} K_{\text{зап}}; \quad (6)$$

объем сырья, необходимого для подачи в лесопильный цех, для получения на СД пакетоспособной партии

$$Q_{\text{с.л.ц}}^{\text{п.сп}} = \frac{Q_{\text{min}} \cdot 100 \cdot 100}{O_{\text{is}} O_n} K_{\text{зап}}; \quad (7)$$

объем сырья, необходимого для подачи на сортировку, для получения на СД пакетоспособной партии

$$Q_{c.c}^{п.сп} = \frac{Q_{min} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{O_{is} O_n D_{id}} K_{зап}, \quad (8)$$

где  $O_{is}$  – норматив посортного состава пиломатериалов  $i$ -го сорта, %;

$O_n$  – норматив выхода пиломатериалов из сырья, %;

$D_{id}$  – доля сырья  $i$ -го диаметра в общем объеме сырья, %;

$K_{зап}$  – коэффициент запаса, принимается  $K_{зап} = 1,1 \dots 1,3$ .

При этом объемы подаваемых на обработку на линиях и сортировку по длинам пиломатериалов должны быть согласованы с производительностью и режимом работы данной линии. При превышении производительности установки СД минимального объема партии комплектуются запасы пиломатериалов одного сорторазмера. Расчет производительности линий и необходимых запасов для их работы при различном количестве пропускаемых сечений рассмотрен в работах [5, 6].

Таким образом, прогнозирование или установление распределения пиломатериалов по длинам позволит составить план размещения пакетов пиломатериалов в специальных складах готовой продукции, железнодорожных вагонах, на морских и речных судах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 16369–80. Лесоматериалы. Размеры транспортных пакетов [Текст].
2. Грачев, А.В. Влияние величины градации длин пиломатериалов на выход продукции лесопиления [Текст] / А.В. Грачев, В.И. Барашиков // Технология и оборудование деревообработ. пр-в: межвуз. сб. науч. тр. – ЛТА, 1987, – С. 10–13.
3. Иванов, В.Д. Методологические основы определения типажа и параметров транспортных пакетов [Текст] / В.Д. Иванов, Д.В. Иванов // Науч. тр. ЦНИИМОД. – 1973. – Вып. 29.
4. Иванов, В.Д. Пакетоспособность партии пиломатериалов [Текст] / В.Д. Иванов, Д.В. Иванов // Науч. тр. ЦНИИМОД. – 1973. – Вып. 29.
5. Калитеевский, Р.Е. Технология лесопиления [Текст] / Р.Е. Калитеевский. – М.: Лесн. пром-сть, 1986.
6. Турушев, В.Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов [Текст] / В.Г. Турушев. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 208 с.

Поступила 14.12.04

Архангельский государственный  
технический университет

*D.V. Ivanov*

#### **Sawn Timber Bundle Ability**

The questions of determining the cross-sectional dimension of sawn timber bundles are considered in relation to the international container dimension. A method of calculating minimal volume of sawn timber bundle for shipping is provided.

УДК 533.6.011.6

*М.Н. Гамрекели*

Гамрекели Михаил Николаевич родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Уральский государственный лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры охраны труда Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 100 научных работ в области исследования тепломассообмена в дисперсных средах, энергосбережения в процессах и аппаратах химической технологии, переработки промышленных отходов.



### СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ И ВРЕМЯ ИХ ПРЕБЫВАНИЯ В ГАЗОДИСПЕРСНОЙ КРУГЛОЙ СТРУЕ

В ходе анализа экспериментальных данных о скорости движения осевых капель газодисперсного факела, образуемого при истечении круглой струи, получены сведения о характере движения фаз, а также формулы для расчета их скоростей и времени пребывания в факеле.

*Ключевые слова:* газодисперсная струя, капли, газовая фаза, скорость движения, время пребывания.

Скоростное истечение газодисперсной струи, характер ее развития в рабочей камере, относительные скорости фаз и уровень турбулентности являются факторами интенсификации тепломассообмена в технологических аппаратах. Эти вопросы явились предметом нашего исследования, результаты которого представлены в настоящей статье.

Эксперименты проводили в цилиндрической камере при распыливании воды пневматической форсункой внутреннего смешения. Скорость капель в факеле определяли с помощью двух фотодатчиков, расположенных на разных расстояниях от форсунки, по смещению точек минимумов кривых фототока на осциллограммах (рис.1) при пульсирующей подаче жидкости плунжерным насосом-дозатором. Объектом исследования были капли, перемещающиеся по оси газодисперсного факела, поскольку они обладают наибольшей скоростью, максимально удалены от источника внешнего теплоподвода к факелу в промышленном теплообменном аппарате, что определяет дальнобойность факела и, соответственно, размеры аппарата. Минимумы фототока соответствовали прохождению мимо датчика пиковой порции при подаче жидкости, которая снижала



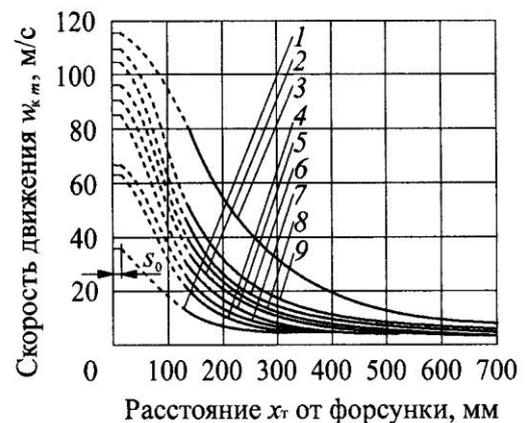
Рис. 1. Циклограммы истечения жидкости из сопла (1) и движения группы капель (2)

светопрозрачность факела, создавая своеобразную метку в виде повышенной концентрации капель в газе. При каждом режиме распыливания, используя механизм отсечки для предотвращения слияния капель, проводили их отбор на предметные стекла, покрытые слоем прозрачной иммерсионной среды. Предметные стекла с каплями фотографировали в проходящем свете с масштабом увеличения 35,3. Для каждого режима рассчитывали средний объемно-поверхностный диаметр капель, который использовали в дальнейшем для анализа аэродинамики газодисперсного факела и теплообмена.

На рис. 2 приведены графики изменения скорости  $w_{km}$  осевых капель в зависимости от текущего расстояния от среза сопла форсунки до оси струи  $x_T$ . На графиках пунктиром нанесены также участки кривых изменения скорости, полученные в результате экстраполяции расчетных скоростей газодисперсной смеси от значений на срезе сопла  $w_{см0}$  на начальном участке постоянной скорости  $s_0$  по оси струи до значений, измеренных экспериментально.

Принято допущение о том, что обмен количеством движения порции жидкости при повышенной концентрации капель в факеле с соответствующим объемом газа происходит непосредственно на срезе сопла. Применяя скорость адиабатического истечения  $w_{ад}$ , рассчитанную по методике [3], оп-

Рис. 2. Скорость движения групп капель по оси факела — данные измерений; - - - экстраполированные значения): 1 – 3 –  $m_k = 10$  кг/ч; 4 – 6 – 15; 7 – 9 – 20 кг/ч; 1, 4, 7 –  $m_{г.р}/m'_k = 0,5$ ; 2, 5, 8 – 0,8; 3, 6, 9 – 1,0



ределяли скорость смеси с учетом подтвержденных расчетами энергетических потерь в камере смешивания форсунки и при истечении струи:

$$w_{см0} = \frac{0,9m_{г.р} w_{ад}}{m_{г.р} + m_{ж}}. \quad (1)$$

Экспериментальные данные по скоростям движения осевых капель обобщены зависимостью

$$w_{km} = 0,014 w_{см0} \frac{m_{г.р}}{m_{ж}} \left( 10^3 \frac{d_0}{x_T} \right)^{1,33}. \quad (2)$$

Здесь  $m_{г.р}$ ,  $m_{ж}$  – массовый расход распыливающего газа и жидкости;

$d_0$  – диаметр отверстия истечения форсунки.

При пульсирующей подаче жидкости в формулах (1), (2) использовали значение  $m_{ж} = m_{ж \max}$ , соответствующее пику пульсации расхода.

Зависимость (2) может быть применима для следующих интервалов исследованных параметров:  $w_{см0} = 35,4 \dots 110,0$  м/с; удельный расход распыливающего газа  $g' = m_{г,р}/m_{ж} = 0,21 \dots 0,66$  кг/кг; отношение  $x_r/d_0 = 48 \dots 245$ .

В газодисперсном факеле наблюдается скольжение фаз. Авторы работы [6] с помощью кино съемки исследовали скорость движения капель по длине газодисперсного факела в цилиндрической камере. По характеру движения капель разного размера было установлено, что их скорость не совпадает со скоростью газовой фазы. Относительное движение капель в газе было подтверждено в [5] смещением капель от их потенциальных траекторий при распыливании жидкости в горячей камере.

При достаточно большой концентрации жидкости, что характерно для пневматического распыливания, процесс торможения капель должен оказывать определенное влияние на характер замедления расширяющейся газовой струи и уровень турбулентности. Для оценки уровня турбулентности применяют коэффициент пропорциональности  $a_c$ , характеризующий структуру струи.

В работе [1] теоретически рассмотрена струя, содержащая примеси, как свободная газовая струя, поскольку при обычном соотношении массовых расходов объем распыливающего воздуха превосходит объем примеси в  $10^2 - 10^3$  раз. Кроме того, по мере удаления от форсунки это отношение увеличивается многократно за счет присоединения к струе воздуха из окружающего пространства. Принято допущение, что по всей длине факела в результате обмена количеством движения скорости частичек примеси и газа равны, т.е. нет скольжения фаз, а коэффициент структуры  $a_c$  остается таким же, как у свободной газовой струи. Поэтому автор [1] считая, что движение мелких взвешенных частиц в струе подчиняется движению газа, т.е. их скорость совпадает со скоростью газа в струе, предложил выражение для описания закономерности расширения свободной осесимметричной струи, содержащей взвесь (принято  $a_c = 0,066$ , как для чисто газовой струи):

$$\frac{a_c x_r}{r_0} = 0,96 \frac{w_0}{w_m} \sqrt{\frac{1 + g'_{уд}}{1 + 0,56 g'_{уд} \frac{w_m}{w_0}}}. \quad (3)$$

Здесь  $a_c$  – коэффициент структуры струи;

$r_0$  – начальный радиус струи;

$w_0$  – начальная скорость газа;

$g'_{уд}$  – концентрация примеси жидкости в виде капель в распыливаемом газе.

Позднее автор [2] признал, что допущения об отсутствии скольжения фаз и постоянстве коэффициента структуры газодисперсной струи не-

корректны. Однако теоретическое выражение, использованное в этой работе [2], показало, что одновременное истечение из сопла газа и жидкости своеобразно отражается на законе затухания свободной газодисперсной струи. В этом случае импульс струи увеличивается за счет импульса примеси, и затухание скорости газовой фазы происходит медленнее, чем чисто газовой струи. Формула (3) удобна при оценке скольжения фаз, интенсивности торможения капель и косвенно может быть применена для оценки уровня турбулентности газовой струи по экспериментально определенным значениям скоростей осевых капель.

В данной статье проанализированы результаты, полученные нами. Экспериментальные данные вводили в правую часть выражения (3). В соответствии с полученными результатами рассчитывали коэффициент структуры струи  $a_c$  из левой части выражения. Так как скорость осевых капель определяли по меткам пиковых расходов, то при расчетах принимали  $g'_{уд} = m_{ж\ max}/m_{г.р.}$ , а начальную скорость струи рассчитывали как скорость смеси по уравнению (1) при  $m_{ж\ max}$ . Параметр  $g'_{уд} = 1/g'$ .

В наших опытах концентрация примесей в струе  $g'_{уд} = 1,5 \dots 4,8$  кг/кг. На (рис. 3) показано изменение относительных скоростей осевых капель  $w_{км}$  по длине факела. Нанесена также классическая кривая изменения скорости чисто газовой струи [1]. Зависимость связывает осевую

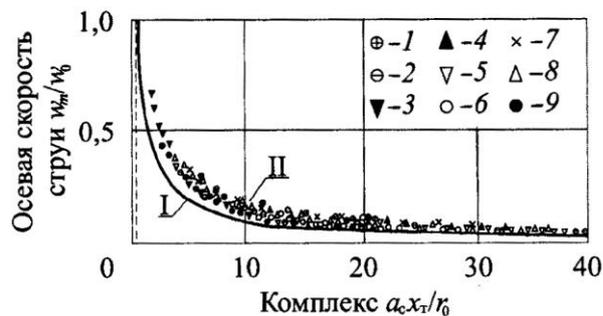


Рис. 3. Изменение осевой скорости круглых струй: I — газовая струя; II — область экспериментальных данных для газодисперсной струи (см. обозначения 1–9 в подписи к рис. 2)

скорость  $w_{мт}$  в текущем сечении со скоростью истечения первичной струи  $w_0$  на срезе сопла:

$$w_{мт} = w_0 \frac{0,96}{\frac{a_c x_T}{r_0}}. \quad (4)$$

Из рис. 3 следует, что относительное снижение скорости примеси (капель) происходит менее интенсивно, чем чисто газовой струи при той же начальной скорости истечения.

Полученные из выражения (3) значения коэффициента  $a_c$  характеризуют (рис. 4) отклонение движения распыленной струи от свободной турбулентной газовой струи, для которой  $a_c = 0,066$ . Установлено, что коэффициент  $a_c$  не остается постоянным по длине струи и зависит от концентрации примеси жидкости в газе и расстояния до среза сопла. Расположение опытных точек (рис. 3, 4) показывает, что в начале основного участка струи



( $a_c < 0,066$ ) капли несколько опережают газовую струю. Затем их относительная скорость увеличивается. Создаются условия вторичного дробления капель за пределами сопла форсунки. В дальнейшем при общей тенденции замедления фаз происходит сближение скоростей газа и капель. Увеличение коэффициента  $a_c$  по длине струи характеризует интенсивное снижение скорости капель в результате торможения. Характер расположения опытных точек показывает, что относительные скорости капель в газе зависят от приобретенного каплями при распыливании количества движения. Капли, обладающие более высоким начальным импульсом (кривые 2, 4, 7, 8), интенсивно тормозятся, что подтверждается ростом  $a_c$ . Происходит переход энергии движения капель в энергию турбулентных вихрей газа. Затем, по мере уменьшения разности скоростей фаз при развитии факела, интенсивность торможения уменьшается. Капли с меньшим начальным импульсом тормозятся менее интенсивно.

По мере удаления от среза сопла происходит дальнейшее приближение значений коэффициента структуры струи к значению  $a_c = 0,066$ , что является результатом снижения относительной скорости фаз и приближения характера развития газодисперсного факела к закономерностям свободной газовой струи.

Данные многочисленных измерений в широких пределах изменения параметров ( $ax_T/r_0 = 4,3 \dots 63,8$ ;  $w_{km}/w_{cm0} = 0,031 \dots 0,670$ ;  $g' = 0,21 \dots 0,66$  кг/кг), аппроксимируются функцией равнобочной гиперболы  $xy = b^2/2$  (где  $x = a_c x_T/r_0$ ;  $y = w_{km}/w_{cm}$ ), со среднеквадратическим отклонением  $\pm 7,5$  %.

Получена формула для расчета коэффициента структуры газодисперсной струи:

$$a_c = 1,61 \frac{r_0}{x_{km}} \frac{w_{cm0}}{w_{km}}. \quad (5)$$

Для многих тепломассообменных аппаратов с газовыми струями целесообразно знать среднее время пребывания среды в факеле, которое, как показали наши расчеты, может быть учтено коэффициентом усреднения скорости в сечении  $k_v = 0,28$  в формуле (4).

Представим среднюю скорость в текущем сечении газового факела  $\bar{w}_{ф.т}$  как отношение пути перемещения элементарной газовой ячейки за элементарный промежуток времени и выполним интегрирование. В результате получим формулу для расчета времени пребывания элементарной ячейки газовой фазы при перемещении до текущего сечения в факеле:

$$\tau_T = \frac{a_c (x_T + x_0)}{0,56 r_0 w_0}. \quad (6)$$

Время пребывания фазы за один ход  $\tau_n = \tau_T$  соответствует  $x_T = x_B$  (где  $x_B$  – расстояние до поперечного сечения встречи границ конуса факела со стенками камеры).

Для круглой осесимметричной струи время пребывания в зоне факела может быть определено по зависимости  $\tau_n = 34,8 / w_0$ . Это соответствует условиям наших экспериментов: диаметр камеры  $D_a = 0,3$  м;  $r_0 = 1,5 \cdot 10^{-3}$  м;  $x_B = 0,666$  м;  $a_c = 0,066$ .

Выполнен анализ экспериментальных данных, полученных при распыливании воды в аппарат с высокотемпературными стенками ( $t_{ст} = 400 \dots 900$  °С). Для испаряющегося газодисперсного факела наиболее точное расчетное время пребывания может быть получено при координате  $x_T$ , соответствующей границе полного испарения.

Теория турбулентных струй применялась ранее для оценки времени пребывания в факеле. В работе [4] экспериментально исследован газодисперсный факел, образуемый пневматической форсункой при очень больших удельных расходах распыливаемого газа  $g' = 5 \dots 10$  кг/кг. На основе зависимости (4), как и в [1], получена формула для расчета скорости осевых капель с учетом того, что при высокой дисперсности они имеют равную с газом скорость:

$$\tau = \frac{x_B - x_n}{0,96 w_n} \left[ \frac{a_c (x_B - x_n)}{d_0} - 0,15 \right], \quad (7)$$

где  $x_n$  – расстояние до переходного сечения струи;

$w_n \approx w_{01}$  – скорость в переходном сечении струи;

0,15 – поправочное экспериментальное число.

Применение этой формулы ограничено, поскольку многие промышленные струйные аппараты работают при значительно меньших удельных

расходах газа и грубодисперсном распыливании. В этих случаях пренебрежение относительным движением фаз приводит к недопустимым погрешностям.

Скольжение капель в газе может быть учтено, если при расчете скорости и времени пребывания газовой ячейки в газодисперсном факеле по формулам (4), (6) применено предварительно рассчитанное по (5) значение коэффициента структуры струи.

Расчетное выражение для определения текущей скорости капель получено при интегрировании выражения (2) по  $dt$  от 0 до значения времени перемещения капли  $\tau_{km}$  на участке  $dx$  в пределах изменения расстояния от среза сопла форсунки от  $x_{\tau 1}$  до  $x_{\tau 2}$ :

$$\tau_{\tau} = \frac{m_{ж} \left( x_{\tau 2}^{2,33} - x_{\tau 1}^{2,33} \right)}{318,7 m_{сm0} m_{г.р} \left( v_0 \right)^{2,33}}. \quad (8)$$

Область применения формулы (8) определяется пределами изменения параметров в выражении (2). Таким образом, представленные в статье формулы позволяют достаточно точно рассчитывать:

а) относительную скорость осевых капель в газодисперсном факеле, в зависимости от которой может быть определена интенсивность межфазного теплообмена;

б) необходимое время пребывания для испарения наиболее дальнобойных осевых капель, определяющих длину факельной зоны аппарата.

Результаты исследования движения фаз в газодисперсном факеле могут быть использованы при расчетах конструктивных размеров промышленных сушилок для производства кормовых дрожжей и лигносульфонатов, а также форсуночных камер для сжигания сгущенных щелоков и волоконсодержащих шламов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович, Г.Н.* Теория турбулентных струй [Текст] / Г.Н. Абрамович. – М.: Физматгиз, 1960. – 360 с.
2. *Абрамович, Г.Н.* Теория турбулентных струй [Текст] / Г.Н. Абрамович [и др.]. – М.: Наука, 1984. – 716 с.
3. *Бахмачевский, Б.И.* Теплотехника [Текст] / Б.И. Бахмачевский [и др.]. – М.: Металлургиздат, 1963. – 608 с.
4. *Давитулиани, В.В.* Исследование эффективности прямоточной распылительной сушилки [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В.В. Давитулиани. – Воронеж, 1969. – 23 с.
5. *Тыныбеков, Э.К.* Автореф. дисс. ... канд. техн. наук [Текст] / Э.К. Тыныбеков. – М., 1967. – 27 с.
6. *Manning, W.P.* [Text] / W.P. Manning, W.H. Gauvin // A.I.Ch.E. Journal. – 1960. – N 6, vol. 2.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 15.04.05

*M.N. Gamrekely*

**Velocity of Liquid Drops Motion of and Duration of their Stay  
in Gas-dispersed Round Stream**

Data on phase motion nature for axial drops of gas-dispersed flame formed under the round stream outflow as well as formulas for calculation of their velocities and duration of their stay in the flame have been received in the course of analysis of velocity experimental data.



УДК 624.011.14

**Ю.А. Варфоломеев, А.В. Лукичев**

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.



Лукичев Артем Валерьевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры инженерных конструкций и архитектуры АГТУ. Имеет 3 печатные работы в области обработки пиломатериалов.



### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕНЫХ БАЛОК С РАЗЛИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СЛОЕВ**

Проанализированы результаты испытаний на изгиб клееных деревянных элементов с различным расположением слоев по сечению. Отмечено повышение прочности вертикально-слойных балок по отношению к прочности горизонтально-слойных балок-аналогов по мере увеличения числа слоев.

*Ключевые слова:* деревянные клееные конструкции, вертикально-слойные элементы, прочность при изгибе.

В настоящей работе исследована прочность при изгибе прямолинейных клееных деревянных элементов с различным расположением слоев по сечению: горизонтальным и вертикальным.

Для оценки влияния положения слоев на прочность клееных балок проводили испытания шести серий образцов [1]. Первая серия состояла из двадцати вертикально-слойных балок, вторая – из контрольных балок-аналогов с горизонтально расположенными слоями.

Образцы обеих серий изготавливали из еловых досок IV сорта по ГОСТ 8486–86 длиной 4 ... 6 м. Доски раскраивали по длине по двум схемам: две заготовки длиной 2 м и четыре заготовки длиной 1 м. Одна из каждой двух заготовок шла на изготовление вертикально-слойных, а другая – горизонтально-слойных образцов. Слои образцов обеих серий были из одной доски.

Короткие горизонтальные заготовки сращивали попарно на зубчатые шипы В-32×8×1 в одну длинную так, чтобы направление годичных колец в слоях оказывалось противоположным. Длинные заготовки строгали

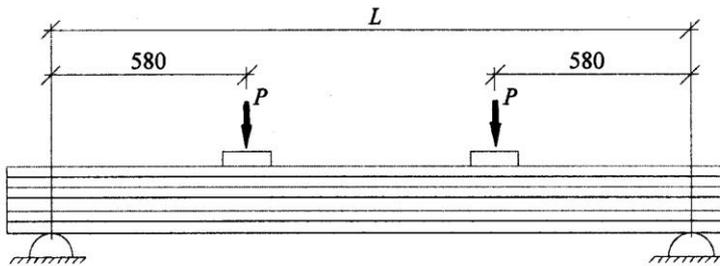


Рис. 1. Схема испытаний балок на изгиб

до толщины 30 мм и склеивали пластинами, получая четырехслойные балки, в которых нечетные слои (1-й и 3-й) имели зубчатые соединения, а четные слои (2-й и 4-й) были цельными. Для склеивания применяли клей ФРФ-50 (ТУ 6-05-1880–79).

В результате были получены аналогичные вертикально- и горизонтально-слойные балки сечением 120×120 мм и длиной 1960 мм. Их испытывали до разрушения при ступенчатом нагружении с использованием гидродомкратов в двух точках, расположенных на расстоянии 580 мм от опор (рис. 1). Одна ступень составляла 20 % от расчетной нагрузки. Среднее значение прочности вертикально-слойных образцов – 44,18 МПа (коэффициент вариации  $V = 15,0 \%$ ), горизонтально-слойных – 31,95 МПа ( $V = 11,2 \%$ ). У горизонтально-слойных образцов зубчатые соединения находились в растянутой зоне.

Аналогично были изготовлены и испытаны еще четыре (с третьей по шестую) серии балок (рис. 2).

Балки третьей серии имели поперечные размеры 134×192 мм. Они состояли из шести слоев толщиной 32 мм и высотой 134 мм, расположенных вертикально. Поперечные размеры балок четвертой серии с горизонтальными слоями – 192×134 мм. Для их изготовления использовали сосновые доски III сорта по ГОСТ 8486–86, которые раскраивали на заготовки длиной 2 м. Как и в двух первых сериях, заготовки из одной доски использовали для склеивания вертикально- и горизонтально-слойных балок. При изготовлении горизонтально-слойных балок обращали внимание на то, чтобы слои в середине пролета не имели сортообразующих пороков. Полученные таким образом балки (и балки-аналоги) были испытаны до разрушения. Среднее значение прочности балок третьей серии составило 49,7 МПа ( $V = 11,3 \%$ ), четвертой серии – 37,7 МПа ( $V = 10,0 \%$ ).

Балки пятой серии имели поперечное сечение 120×160 мм, шестой – 160×120 мм. Каждое сечение состояло из десяти слоев размером 16×120 мм. Слои расположены вертикально у образцов пятой серии, горизонтально – у шестой серии. Длина всех образцов – 2 м. Для этих балок использовали сосновые доски IV сорта по ГОСТ 8486–86. Балки изготавливали по такой же методике, как и балки предыдущих серий. Один

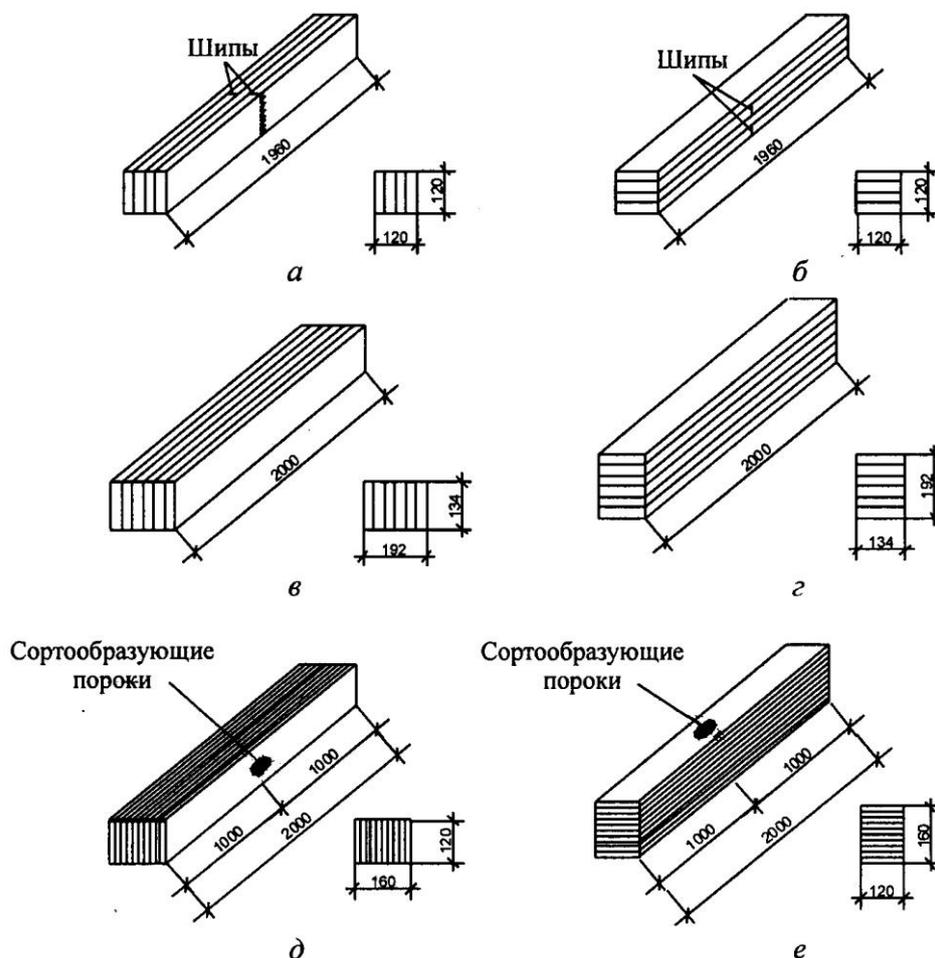


Рис. 2. Образцы для испытаний на изгиб: *a – e* – серии с первой по шестую; *a, в, д* – вертикально-слойные, *б, г, е* – горизонтально-слойные балки

крайний слой балки обязательно имел в середине пролета сучок диаметром 35 ... 40 мм, расположенный в центре по ширине слоя. Полученные балки были испытаны до разрушения. В горизонтально-слойных образцах слой с сучком располагали в сжатой зоне. Среднее значение прочности образцов пятой серии составило 46,0 МПа ( $V = 14,0 \%$ ), шестой серии – 34,1 МПа ( $V = 12,1\%$ ).

Таким образом, во всех парных сериях клееные балки, изготовленные при одинаковых условиях из одинаковых досок, обладали различной прочностью в зависимости от положения слоев: прочность вертикально-слойных балок была выше горизонтально-слойных. Это можно объяснить следующим образом. При вертикальном расположении слоев в изгибаемых элементах наиболее напряженные поверхности растянутой и сжатой зон об-

разованы кромками нескольких слоев. Благодаря этому естественные пороки и зубчатые клеевые соединения в ответственных зонах распределены значительно равномернее, чем в элементах с горизонтальным расположением слоев. В результате слои с зубчатыми соединениями и дефектными участками не ослабляют вертикально-слойные элементы в той мере, в какой они ослабляют горизонтально-слойные. Различие образцов по прочности можно характеризовать коэффициентом расположения слоев  $K_{p.c.}$ . Его рассчитывают как отношение прочности вертикально-слойной балки к прочности горизонтально-слойной.

Результаты эксперимента позволяют проверить гипотезу о повышении коэффициента  $K_{p.c.}$  при увеличении числа слоев. Однако непосредственное сопоставление полученных экспериментальных данных невозможно, поскольку в парных сериях действовал другой фактор – наличие в слоях зубчатых соединений и крупных сучков в середине пролета. Причем влияние этого фактора в случаях с вертикально- и горизонтально-слойными образцами было неодинаково.

Для исключения влияния постороннего фактора и приведения данных к единому набору условий (пиломатериалы III и IV сортов без зубчатых соединений и сучков в середине пролета) в расчеты введен коэффициент поправки на расположение пороков и зубчатых соединений  $K_{расп.}$ . Его рассчитывали следующим образом: из работы [2] были взяты данные о прочности пиломатериалов без зубчатых соединений и пиломатериалов с зубчатыми соединениями В-32×8×1 в середине пролета. Она составила соответственно 32,79 и 27,68 МПа (закон распределения Пирсона, обеспеченность 0,99). В балках первой серии зубчатыми соединениями были ослаблены два слоя из четырех, тогда как в балках второй серии слой с зубчатым соединением, помещенный в растянутую зону, определял прочность всей балки (как будто все четыре слоя имели зубчатые соединения). Для балок первой серии  $K_{расп.} = 1 + ((32,79/27,68) - 1)2/4 = 1,09$ , для второй –  $K_{расп.} = 1 + ((32,79/27,68) - 1)4/4 = 1,18$ . Для балок третьей и четвертой серий, не имеющих пороков и зубчатых соединений в середине пролета,  $K_{расп.} = 1$ . Различие между прочностью пиломатериалов III и IV сортов незначительно.

В балках пятой серии сучком был ослаблен один слой из десяти. Влияние на прочность сучка диаметром 40 мм в середине пролета можно учесть по формуле [3]

$$\sigma_{отн} = 1 - (a/b),$$

где  $\sigma_{отн}$  – прочность древесины, ослабленной сучком, по отношению к прочности чистой древесины;

$a$  – диаметр сучка, мм;

$b$  – ширина доски, мм.

Следовательно, для балок пятой серии  $K_{расп.} = 1/(1 - (a/b)) = 1/(1 - (40/120)) = 1,03$ . В балках шестой серии сучок в сжатом слое совершенно не оказал влияния на прочность, т. е. для этой серии  $K_{расп.} = 1$ .

Таблица 1

## Расчет приведенных сопротивлений изгибу

Номер серии	Сечение, мм		Число слоев	Сорт древесины по ГОСТ 8486–86	Пролет, м	Тип и местоположение порока	Среднее сопротивление $\sigma_{вр}$ , МПа	Коэффициент вариации, $V$ , %	Нормативное сопротивление $\sigma_n$ , МПа	Коэффициент поправки на расположение пороков и соединений, $K_{расп}$	Приведенное сопротивление $\sigma_n$ , МПа	Коэффициент повышения прочности $K_{р,с}$
	$b$	$h$										
1	120	120	4	IV	1,96	Зубчатые шипы в середине пролета в 1-м и 3-м слоях	44,2	15,0	33,3	1,09	36,4	1,18
2	120	120	4	IV	1,96	« в 1-м (растянутом) и 3-м слоях	32,0	11,2	26,1	1,18	30,9	
3	192	134	6	III	2,00	–	49,7	11,3	40,5	1,00	40,5	1,28
4	134	192	6	III	2,00	–	37,7	10,0	31,6	1,00	31,6	
5	160	120	10	IV	2,00	Сучок в середине пролета в крайнем слое	46,0	14,0	35,3	1,02	36,0	1,30
6	120	160	10	IV	2,00	Сучок в середине пролета в крайнем (сжатом) слое	34,1	12,1	28,0	1,00	28,0	

Примечания. 1. В сериях 1 и 2 образцы изготовлены из древесины ели, 3 – 6 – сосны. 2. Четные номера серий – горизонтально-слойные образцы; нечетные – вертикально-слойные.



6\*

Для каждого типа образцов было рассчитано приведенное сопротивление изгибу как произведение нормативного сопротивления на поправочный коэффициент:

$$\sigma_{п} = \sigma_{н} K_{расп.}$$

Полученные приведенные сопротивления, в свою очередь, позволили рассчитать значения коэффициента повышения прочности  $K_{р.с}$  для каждой из трех парных серий образцов. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что с увеличением числа слоев клееных элементов значение  $K_{р.с}$  повышается, достигая максимальных значений  $K_{р.с} = 1,3$  у десятислойных балок.

Таким образом, превосходство в прочности вертикально-слойных балок над аналогичными горизонтально-слойными возрастает по мере увеличения числа слоев.

Закономерности, полученные нами при испытаниях на изгиб балок изготовленных из наиболее распространенных пород древесины, произрастающих в северных районах нашей страны, свидетельствуют о необходимости учитывать положение слоев в отечественных нормативных документах по расчету деревянных клееных конструкций. Следует отметить, что национальные стандарты некоторых стран подобные закономерности уже отражают в рекомендациях по проектированию клееных деревянных конструкций. Так, согласно руководящим материалам СР 112 (Великобритания), расчетные сопротивления вертикально-слойной древесины при изгибе и скалывании вдоль волокон следует получать умножением расчетных сопротивлений горизонтально-слойной древесины соответствующего конструкционного сорта на повышающий коэффициент  $K_{11}$ , величина которого зависит от числа вертикально склеенных слоев (табл. 2) [3, 4].

Таблица 2

**Поправочный коэффициент  $K_{11}$  для вертикально-слойных балок (изгиб и скалывание вдоль волокон) согласно СР 112**

Число слоев	4	5	6	7	8	9
Поправочный коэффициент	1,19	1,21	1,23	1,24	1,25	1,26

По данным табл. 1 и 2 построена диаграмма зависимости коэффициентов  $K_{р.с}$  и  $K_{11}$  от числа слоев  $n$  (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что значения коэффициента  $K_{11}$ , полученные нами по результатам проведенных испытаний, оказа-

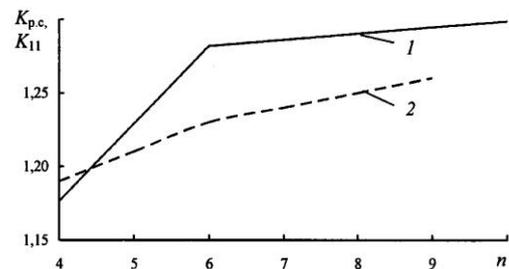


Рис. 3. Диаграммы зависимости коэффициента повышения прочности  $K_{р.с}$  ( $K_{11}$ ) от числа слоев  $n$  клееных элементов: 1 – эксперимент; 2 – данные норм Великобритании

лись выше значений, установленных СР 112. Это можно объ-

яснить тем, что нормы Великобритании не учитывают тот факт, что разница в прочности между вертикально- и горизонтально-слойными балками тем выше, чем ниже сорт используемых пиломатериалов (и, соответственно, выше насыщенность пороками), поскольку при вертикальном расположении слоев влияние пороков и зубчатых соединений снижается. Между тем образцы всех шести серий были изготовлены именно из низкосортных (III и IV сорта) пиломатериалов.

#### *Выводы*

1. Прочность на изгиб вертикально-слойных балок при количестве слоев 4 и более превышает прочность горизонтально-слойных балок аналогичного сечения с тем же количеством слоев, изготовленных из пиломатериалов того же сорта. Причем этот разрыв в прочности возрастает с увеличением числа слоев клееных элементов.

2. В отечественные нормы необходимо ввести поправочные коэффициенты, учитывающие более высокую прочность на изгиб вертикально-слойных конструктивных элементов. Это будет способствовать их более широкому применению в строительстве, что, в свою очередь, приведет к снижению материалоемкости конструкций, а также создаст условия для использования низкосортной древесины в производстве клееных конструкций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варфоломеев, Ю.А.* Обеспечение долговечности изделий из древесины [Текст] / Ю.А. Варфоломеев. – М.: Ассоль, 1992. – 288 с.

2. *Ковальчук, Л.М.* Нормативная прочность пиломатериалов с зубчатыми клеевыми соединениями при изгибе и растяжении [Текст] / Л.М. Ковальчук, Ю.А. Варфоломеев, Е.Б. Рюмина // Лесн. журн. – 1988. – № 3. – С. 69 – 72. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. CP 112. British standard Code of Practice. The structural use of timber. Metric units [Text] // The Council for Codes of Practice, British Standards Institution. Part 2. – London, 1971.

4. *Ozelton, E.C.* Timber designers' manual [Text] / E.C. Ozelton, J.A. Baird. – London: Crosby Lockwood Staples, 1976. – 518 p.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 12.12.05

*Yu.A. Varfolomeev, A.V. Lukichev*

### **Experimental Research of Laminated Wood Beams Strength with Different Layer Arrangement**

The bending test results for laminated wood elements with different layer arrangement in the section are analyzed. Vertically-laminated beams are characterized by higher strength in comparison with analogous horizontally-laminated beams with increase of the layers' number.

УДК 674.093

**Л.В. Алексеева, Р.Г. Чернега**

Алексеева Людмила Васильевна родилась в 1960 г., окончила в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет около 30 научных трудов в области лесопиления.



Чернега Роман Геннадьевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Архангельский государственный технический университет. Аспирант кафедры автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет 2 опубликованные работы.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ НАКОПИТЕЛЕЙ СОРТИМЕНТОВ**

Выполнено формализованное описание параметров накопителей круглых лесоматериалов перед линиями распиловки с учетом отклонений размеров сортиментов от правильной геометрической формы; представлены графики изменения длин полезной емкости буферного накопителя в зависимости от диаметров перерабатываемых сортиментов при различных значениях сбежистости и кривизны.

*Ключевые слова:* накопитель, геометрические параметры, сортименты.

Размеры круглых лесоматериалов, среди множества других факторов, влияют на вместимость буферных накопителей.

Полезная расчетная ширина накопителя  $L_m$  на  $m$ -м потоке равна сумме максимальной длины распиливаемых сортиментов  $l_{\max}$  с учетом их припуска  $\Delta l$ :

$$L_m = l_{\max} + \Delta l. \quad (1)$$

При расчете полезной длины накопителя  $L_{em}$  целесообразно исходить из граничного диаметра сортиментов, распиливаемых на  $m$ -м потоке. С учетом размерных характеристик круглых лесоматериалов можно выделить четыре варианта, приведенных на рис. 1. При нормальном сбеге круглых лесоматериалов (рис. 1, а) длину накопителя  $L_{em}$  находят как произведение количества бревен  $E_m$  в накопителе на диаметр комлевого торца (граничный диаметр между  $m$ -м потоком и  $(m + 1)$ -м потоком)  $d_r$  с учетом конструктивных допущений:

$$L_{em} = E_m(d_r + l_{\max \Gamma} c_r) + \Delta l_e, \quad (2)$$

где  $l_{\max \Gamma}$  – максимальная длина бревен граничного диаметра;

$c_r$  – нормальный сбеги, характерный для бревен граничного диаметра;  
 $\Delta l_e$  – конструктивные допущения.

При увеличении сбежистости бревен (рис. 1, б) длину накопителя определяют аналогично, но при этом учитывают сбеги для интервала диаметров круглых лесоматериалов, следующих за граничным:

$$L_{em} = E_m(d_r + l_{\max} c_{r+1}) + \Delta l_e, \quad (3)$$

где  $c_{r+1}$  – нормальный сбеги, характерный для интервала диаметров сортиментов, следующего за граничным диаметром, см/м.

С учетом (2) и (3) длина накопителя увеличивается на  $\Delta l_{em}$ :

$$\Delta l_{em} = E_m l_{\max r} (c_{r+1} - c_r). \quad (4)$$

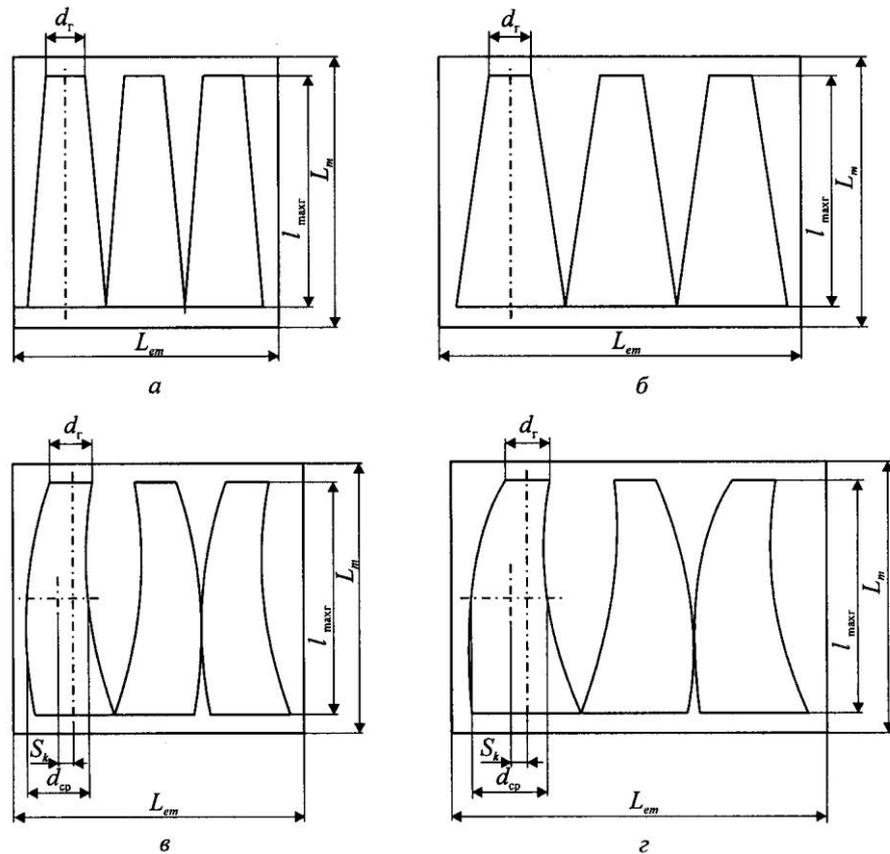


Рис. 1. Расчетная схема для определения параметров накопителей круглых лесоматериалов с учетом геометрических размеров сортиментов: а, в – при нормальной; сбежистости сортиментов б, г – при увеличенной сбежистости; а, б – без учета кривизны сортиментов; в, г – с учетом кривизны

Длину накопителя при нормальном сбеге бревен с учетом их кривизны (рис. 1, *з*) определяют следующим образом:

$$L_{em} = E_m(d_{cp} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma}) + \Delta l_e; \quad \frac{d_{cp}}{2} + S_k \leq \frac{d_{\Gamma} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma}}{2};$$

$$L_{em} = E_m \left( \frac{d_{cp}}{2} + S_k + \frac{d_{\Gamma} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma}}{2} \right) + \Delta l_e; \quad \frac{d_{cp}}{2} + S_k > \frac{d_{\Gamma} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma}}{2}, \quad (5)$$

где  $d_{cp} = \frac{2d_{\Gamma} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma}}{2}$  – диаметр сортимента на его середине, м;

$$S_k = \frac{l_{max\Gamma} K_p}{100 \%} \text{ – кривизна, м;}$$

$K_p$  – кривизна, %.

Аналогично рассчитывают длину накопителя по варианту, приведенному на рис. 1, *в*:

$$L_{em} = E_m(d_{cp} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma}) + \Delta l_e; \quad \frac{d_{cp}}{2} + S_k \leq \frac{d_{\Gamma} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma+1}}{2};$$

$$L_{em} = E_m \left( \frac{d_{cp}}{2} + S_k + \frac{d_{\Gamma} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma+1}}{2} \right) + \Delta l_e; \quad \frac{d_{cp}}{2} + S_k > \frac{d_{\Gamma} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma+1}}{2}, \quad (6)$$

где  $d_{cp} = \frac{2d_{\Gamma} + l_{max\Gamma} c_{\Gamma+1}}{2}$  – диаметр сортимента на середине длины, м.

Изменение полезной длины накопителя (единичная вместимость –  $E = 1$  шт., наибольшая длина бревна  $l_{max\Gamma} = 6,6$  м, кривизна 2 %) с учетом (2)–(6) приведено на рис. 2 для диапазона диаметров круглых лесоматериалов 14 ... 60 см. Наименьшая длина накопителя при этом изменяется от 0,1928 м (для круглых лесоматериалов диаметром 14 см при нормальном сбеге без кривизны) до 0,8211 м (для сортиментов диаметром 60 см при увеличенной сбежистости и кривизне 2 %).

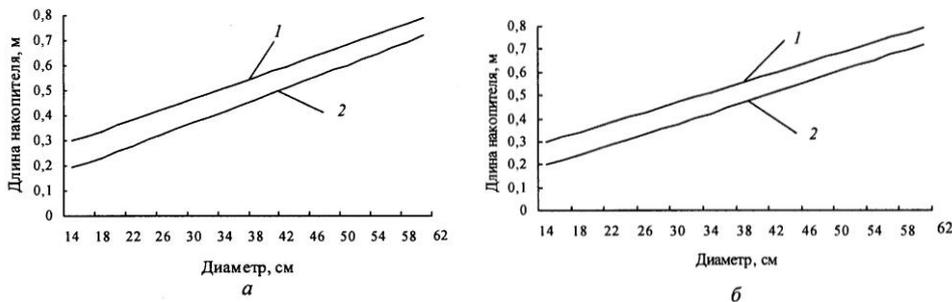


Рис. 2. Изменение длины накопителя при нормальной (*а*) и увеличенной (*б*) сбежистости сортиментов: 1 – с учетом кривизны; 2 – без учета кривизны

Полученные результаты свидетельствуют о том, что геометрические параметры круглых лесоматериалов оказывают значительное влияние на размеры накопителей и должны учитываться при расчетах их вместимости. Зависимости (2) – (6) могут быть использованы при определении вместимости накопителей с учетом распределения геометрических параметров круглых лесоматериалов и организационно-технологических основ производства. При этом методика определения количественной вместимости накопителей должна быть дополнена полученными формулами, содержащими вместимость  $E_m$ .

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 6.05.04

*L.V. Alekseeva, R.G. Chernega*

### **Determination of Storage Device Dimensions for Assortments**

Formalized description of parameters for roundwood storage devices in front of sawing lines taking into account deviations of assortment dimensions from regular geometry. Diagrams of net capacity length change for buffer storage are provided depending on diameters of processed assortments under different decrease and bending values.



УДК 674.093

***А.Е. Алексеев, В.М. Волков, С.В. Петухов***

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры технологии конструкционных материалов и машиностроения Архангельского государственного технического университета. Имеет свыше 150 научных трудов в области лесопиления.



Волков Владимир Михайлович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий Архангельского государственного технического университета, академик Академии проблем качества РФ. Имеет более 100 научных работ в области электроэнергетики.



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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УЗЛА РЕЗАНИЯ ОДНОПИЛЬНОГО ТОРЦОВОЧНОГО СТАНКА**

Приведен метод определения технологических параметров линейного привода механизма перемещения узла резания однопильного круглопильного торцовочного станка с подвижным суппортом, совершающим прямолинейное возвратно-поступательное движение по направляющим.

*Ключевые слова:* круглопильный торцовочный станок, подвижный суппорт, механизм прямолинейного перемещения, линейный привод.

Повышение надежности узла торцевания пиломатериалов линейного привода механизма перемещения пильного суппорта исключением промежуточных звеньев между механизмами подачи и главного движения требует необходимость разработки методики расчета его силовых электромеханических характеристик.

Применение линейного привода в торцовочных устройствах позволяет значительно упростить конструкцию станка, снизить металлоемкость устройства и обеспечивает возможность повышения эффективности процесса торцевания пиломатериалов.

При согласовании электромеханических характеристик цилиндрического линейного асинхронного двигателя (ЦЛАД) электропривода с характеристиками исполнительного механизма в процессе торцевания пиломатериалов учету подлежат как силовые, так и технологические параметры движения механизма перемещения узла резания.

Ранее нами [1] были определены технологические параметры движения механизма перемещения узла резания при пилении пиломатериалов на однопильном круглопильном станке, а также привода механизма перемещения узла резания. Для согласования механических характеристик двигателя линейного электропривода с характеристиками исполнительного механизма при торцевании пиломатериалов предложены зависимости углов входа и выхода зубьев пилы из зоны пропила древесины и изменения угла резания от величины перемещения вторичного элемента. Полученные зависимости позволяют определять технологические параметры привода механизма перемещения узла резания с линейным двигателем.

Цель данной статьи – обосновать технологические параметры механизма перемещения узла резания с линейным приводом круглопильного станка с подвижным суппортом.

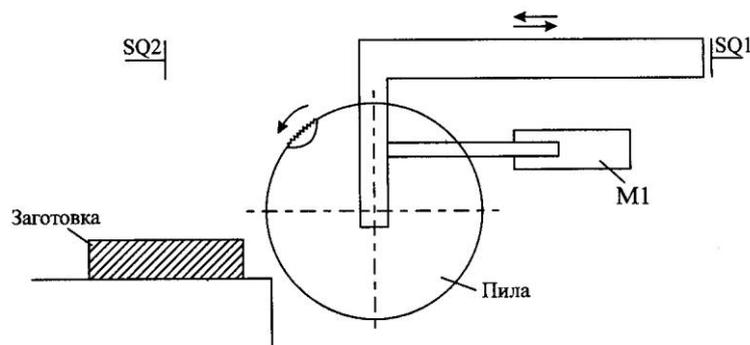


Рис. 1. Структурно-технологическая схема привода пилы торцовочного станка

Структурно-технологическая схема компоновки прямолинейного линейного привода узла резания однопильного круглопильного торцовочного станка приведена на рис. 1. При нажатии кнопки «ПУСК» включается цилиндрический линейный асинхронный двигатель М1 привода пилы торцовочного станка, который перемещает ее на заготовку. При этом освобождается конечный выключатель SQ1. После распиливания доски привод пилы нажимает на конечный выключатель SQ2. Затем линейный асинхронный двигатель реверсируется и пила начинает перемещаться в обратную сторону

(холостой ход). Заняв исходное положение, пила воздействует на конечный выключатель SQ1. При этом линейный асинхронный двигатель выключается и пила останавливается.

Решение численным методом дифференциального уравнения движения вторичного элемента [1] линейного асинхронного двигателя при наличии переменной нагрузки, зависящей от перемещения  $x$ , сводится к следующему.

Согласно [2], дифференциальное уравнение движения вторичного элемента линейного электропривода механизма перемещения узла резания однопильного круглопильного торцовочного станка имеет следующий вид:

$$\left(\frac{S(x)}{m} + x''\right)(A(x')^2 - Bx' + c) - D(V - x') = 0, \quad (1)$$

где

$$S(x) = F_c(x)(\phi(x) - \phi(x - x_3)); \quad (2)$$

$A, B, C, D$  – коэффициенты, определяемые в зависимости от конструкции двигателя [2].

Необходимо учесть, что после того, как пила закончит пилить доску, нагрузка на пилу пропадает и начинается холостой ход.

При этом принимаем

$$\begin{aligned} x'' &= \frac{x'_k - x'_{k-1}}{T} = \frac{\frac{x_k - x_{k-1}}{T} - \frac{x_{k-1} - x_{k-2}}{T}}{T} = \\ &= \frac{x_k - x_{k-1} - x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2} = \frac{x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$x' = \frac{x_{k-1} - x_{k-2}}{T}, \quad (4)$$

где  $T$  – период дискретности.

Тогда

$$\begin{aligned} \left(\frac{S(x_{k-2})}{m} + \frac{x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2}\right) \left(A\left(\frac{x_k - x_{k-2}}{T}\right)^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c\right) - \\ - D\left(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T}\right) = 0; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{S(x_{k-2})}{m} + \frac{x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2}\right) \left(A\left(\frac{x_k - x_{k-2}}{T}\right)^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c\right) = \\ = D\left(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T}\right); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\frac{S(x_{k-2})}{m} + \frac{x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2} = \frac{D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T})}{A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c}; \quad (7)$$

$$\frac{x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2} = \frac{D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T})}{A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c} - \frac{S(x_{k-2})}{m}; \quad (8)$$

$$x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2} = T^2 \left( \frac{D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T})}{A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c} - \frac{S(x_{k-2})}{m} \right). \quad (9)$$

Таким образом, запишем формулу для перемещения:

$$x_k = T^2 \left( \frac{D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T})}{A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c} - \frac{S(x_{k-2})}{m} \right) + 2x_{k-1} - x_{k-2}. \quad (10)$$

Определим скорость перемещения вторичного элемента линейного электропривода механизма перемещения узла резания однопилыного круглопильного торцовочного станка по следующей формуле:

$$y_k = \frac{x_k - x_{k-1}}{T}. \quad (11)$$

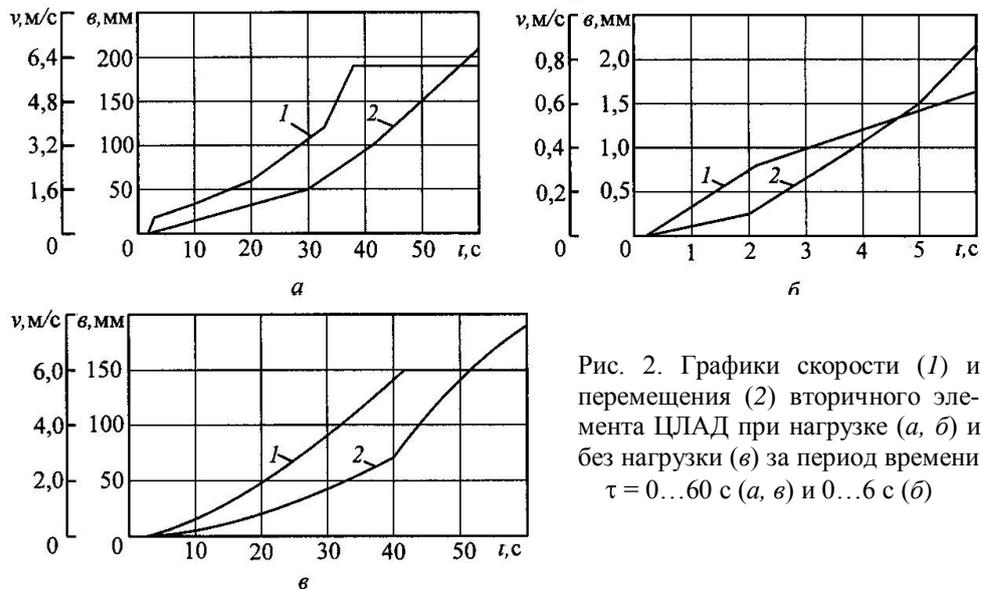


Рис. 2. Графики скорости (1) и перемещения (2) вторичного элемента ЦЛАД при нагрузке (а, б) и без нагрузки (в) за период времени  $\tau = 0 \dots 60$  с (а, в) и  $0 \dots 6$  с (б)

На рис. 2 представлены графики скоростей  $v$  и перемещений  $s$  вторичного элемента ЦЛАД при нагрузке и без нее (холостой ход).

Решение дифференциального уравнения движения вторичного элемента линейного асинхронного двигателя численным методом при отсутствии нагрузки, т.е. при холостом ходе, сводится к следующему.

Запишем дифференциальное уравнение движения:

$$x''(A(x')^2 - Bx' + c) - D(V - x') = 0. \quad (12)$$

Тогда

$$\frac{x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2} (A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c) - D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T}) = 0; \quad (13)$$

$$\frac{x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2} (A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c) = D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T}); \quad (14)$$

$$\frac{x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}}{T^2} = \frac{D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T})}{A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c}; \quad (15)$$

$$x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2} = T^2 \left( \frac{D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T})}{A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c} \right). \quad (16)$$

Формула для определения перемещения:

$$x_k = T^2 \left( \frac{D(V - \frac{x_k - x_{k-2}}{T})}{A(\frac{x_k - x_{k-2}}{T})^2 - B\frac{x_k - x_{k-2}}{T} + c} \right) + 2x_{k-1} - x_{k-2}. \quad (17)$$

Формула для определения скорости:

$$y_k = \frac{x_k - x_{k-1}}{T}. \quad (18)$$

На основании решения численным методом дифференциальных уравнений движения вторичного элемента ЦЛАД при наличии и отсутствии переменной нагрузки могут быть обоснованы механические параметры привода механизма перемещения узла резания однопильного круглопильного торцовочного станка, что позволяет согласовать механические характеристики двигателя линейного электропривода с характеристиками исполнительного механизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, А.Е.* Позиционное торцевание пиломатериалов в шаговом режиме с торможением на механизированных и автоматизированных установках [Текст] / А.Е. Алексеев и [и др.]. – Северодвинск: ФГУП ПО «Севмаш», 2003. – 243 с.
2. *Соколов, М.М.* Электропривод с линейными асинхронными двигателями [Текст] / М.М. Соколов, Л.К. Сорокин. – М.: Энергия, 1974. – 134 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 4.04.05

*A.E. Alekseev, V.M. Volkov, S.V. Petukhov*

### **Investigation of Travelling Gear Drive of Cutting Unit for One-saw Circular Butting Machine**

A method of process parameter determination of linear travelling gear for cutting unit of one-saw circular butting machine with mobile slide realizing rectilinear reciprocal motion along the guide ways is provided.





## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 65.011.56

***В.Т. Харитоненко***

Харитоненко Владимир Терентьевич родился в 1950 г., окончил в 1974 г. Московский инженерно-физический институт, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского сектора Севмашвуза – филиала СПбГМТУ. Имеет 8 научных работ в области автоматизации и управления.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ  
РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Сформулированы технические требования к системе технической подготовки ремонтно-механического производства целлюлозно-бумажной промышленности, предложена методика разработки интегрированной системы технической подготовки производства.

*Ключевые слова:* техническая подготовка производства, САПР, интеграция.

Повышение эффективности работы ремонтно-механического производства (РМП) целлюлозно-бумажной комбинатов (ЦБК) – одно из важных направлений роста их конкурентоспособности, хотя традиционно основное внимание уделяется основному производству. РМП ряда крупных ЦБК работают как отдельные предприятия в составе холдинговых структур. Номенклатура изготавливаемого и ремонтируемого на крупных РМП оборудования насчитывает несколько десятков тысяч видов деталей и изделий. Управление такими РМП представляет непростую задачу, которая осложняется все более усиливающейся тенденцией (особенно на предприятиях с иностранным капиталом) исключения из технической подготовки производства ее технологической составляющей, в рамках которой на российских машиностроительных предприятиях традиционно решают основные производственные задачи. Эта тенденция имеет и еще один негативный аспект – отток из отрасли квалифицированных инженерно-технических работников (ИТР) – машиностроителей.

К числу основных проблем, возникающих в управлении работой РМП ЦБК, можно отнести\*:

---

\* Булатов, А.Ф. Оптимизация в планировании и управлении предприятиями регионального лесопромышленного комплекса [Текст] / А.Ф. Булатов [и др.]. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 228 с.

оперативный учет и контроль за ресурсами РМП;  
оптимальное планирование работы РМП;  
организация ремонтных работ, включая оперативный контроль за этапностью выполнения заказов;  
оптимальная организация работы ИТР РМП в период подготовки производства.

Основы для решения этих проблем и должны создаваться в рамках системы технической подготовки производства (ТПП). Решение этой задачи возможно путем применения в РМП апробированных методов ТПП. В настоящее время при подготовке месячного плана работы РМП, как правило, предполагается проведение следующих основных работ:

1. Разработка рабочих чертежей (эскизов) на изготавливаемые (ремонтируемые) изделия или детали.

2. Составление и нормирование маршрутно-технологических карт.

Нормирование заказов на изготовление (ремонт) деталей и оборудования предусматривает расчет норм расхода, стоимости материалов и инструмента, затрат станочного времени, стоимости выполнения операций и т.п. Существующая практика неоднократного составления маршрутно-технологических карт на часто повторяемые виды изделий приводит к ошибкам в нормировании и увеличивает непродуктивно затрачиваемое время ИТР и нормировщика. Аналогичная проблема существует и при разработке чертежей и эскизов. Кроме того, ИТР и работники управления РМП производят много рутинных расчетов (и перерасчетов) при оформлении плановой и отчетной документации. У них практически не остается времени для анализа и перспективного планирования работы.

В условиях дефицита кадров ИТР машиностроительных специальностей реализовать систему ТПП РМП как основу системы управления производством можно только с применением компьютерных технологий и систем автоматизированного проектирования.

#### *Основные параметры системы ТПП РМП*

1. Потребность в изготовлении или ремонте деталей и изделий определяется потребностями основного производства (заказа). Эту потребность записывают в специальные ведомости норм расхода материально-технических ресурсов (МТР), включая детали, изделия, материалы отливки, поковки и т.п., в привязке к этапам изготовления заказа. Продолжительность каждого из этапов изготовления заказа, как правило, не более месяца. На сборку заказа составляют также ведомость трудоемкости с разбивкой по цехам (участкам).

2. На изготовление (ремонт) каждой детали или изделия, вошедших в ведомости на заказ, заранее разрабатывают единичные (т.е. на одну деталь, изделие) маршрутно-технологические карты (обезличенно от заказа) с расчетом трудоемкости и норм расхода МТР. При этом для сложных изделий (на практике встречаются изделия с 20 и более уровнями входимости) предусмотрена автоматизация расчетов применяемости.

3. Компьютерная обработка всех данных, заложенных в техническую документацию согласно 1 – 2, позволяет решать задачи планирования производства с учетом наличия МТР на складах, организовать компьютерный контроль и отчетность по прохождению заказов, оптимизировать загрузку ИТР. На сегодняшний день такая компьютерная система ТПП внедрена и успешно действует.

#### *Основные параметры компьютерной ТПП РМП*

1. Для внедрения компьютерной системы ТПП РМП ЦБК необходимо решить следующие задачи:

а) В связи с тем, что РМП ЦБК приходится изготавливать оборудование (в том числе ремонтировать импортное), на которое могут отсутствовать чертежи, то на предприятии необходимо предусмотреть локальную систему обозначений (по ГОСТ ЕСКД). Обозначения ремонтируемых деталей, изделий должны отличаться от обозначения этих же деталей и изделий при их изготовлении (например введение буквы «Р»). Наименование деталей, изделий должно, для облегчения их поиска в базе данных, с исчерпывающей полнотой отображать их конструктивные особенности.

б) Создать по всей применяемой номенклатуре материалов, деталей, изделий, отливок, поковок компьютерную базу данных, которая в дальнейшем будет ядром системы по МТР и позволит однозначно идентифицировать этот вид ресурсов в системе подготовки и управления производством.

в) Внедрить систему составления маршрутно-технологических карт на одну деталь (в том числе и с использованием методологии разработки типовых и групповых технологий) и изделие (в том числе и для изготовления (ремонта) сложных сборок). К такой маршрутно-технологической карте разрабатывают ведомость МТР, необходимых для выполнения работ. Для деталей и изделий собственного проектирования такая ведомость должна формироваться в составе системы автоматизированного проектирования работ (САПР).

2. Внедрить САПР, а также предусмотреть ведение компьютерного архива разработанных чертежей и эскизов в привязке к их графическому изображению и обозначению в компьютерной базе МТР (чтобы избежать ситуации, возникающей при отыскании в архиве документации на ранее спроектированное). САПР должна использовать для формирования спецификаций в качестве базы данных МТР и базу данных, сформированную в пункте 1, а, что даст возможность решить задачу формирования производственной электронной модели детали, изделия и связать эту модель с системой складского учета МТР. В случае отсутствия на предприятии квалифицированных кадров необходимо привлекать удаленные инженеринговые предприятия, обмен технической информацией с которыми возможен через электронную почту.

3. Создать электронный архив технологических документов (включая техпроцессы, технологические инструкции, маршрутные карты и т.п.) для обеспечения единой нормативной и технологической базы производст-

ва. В связи с вышеизложенным представляет практический интерес интеграция разработанной и успешно действующей компьютерной системы ТПП с САПР (например T-FLEX, Компас и др.), выполненная с учетом потребностей РМП.

4. Внедрить элементы электронного документооборота (например, с использованием сетевого имени пользователя – логина в качестве аналога электронной подписи) для приемки и обработки заявок, поступающих от подразделений, а также формирования заказов и спецификаций к ним. Обработка поступающих заявок должна вестись с использованием базы данных (см. пункты 2, 3).

#### *Выводы*

1. Реализация такого проекта может дать больший эффект, чем аналогичные разработки, выполняемые собственными силами предприятий.

2. Внедрение такого проекта собственными силами может потребовать привлечения сторонних организаций и определенных затрат. Кроме того, на период внедрения увеличится нагрузка на ИТР, которые будут некоторое время работать параллельно и по старой, и по новой схеме. Однако в долгосрочной перспективе внедрение такого проекта позволит получить эффект, который, как показывает практика, покрывает все издержки.

Севмашвтуз

Поступила 25.03.05

*V.T. Kharitonenko*

### **Improvement of Mechanical-repair Mill Preparation of Pulp-and-paper Industry**

Technical requirements for the system of technical preparation of mechanical-repair productions are formulated; the technique for development of the integrated system for technical preparation of production is proposed.

УДК 676. 1. 022. 1: 688. 743. 54

**А.В. Вураско, А.Я. Агеев**

Вураско Алеся Валерьевна родилась в 1965 г., окончила в 1988 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры химии древесины и технологии ЦБП Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 70 печатных трудов в области каталитического окисления органических соединений и каталитической варки древесины.



Агеев Аркадий Яковлевич родился в 1936 г., окончил в 1966 г. Уральский государственный лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии древесины и технологии целлюлозно-бумажных производств Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 260 печатных работы в области реологии волокнистых суспензий.



### **РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ ЩЕЛОК – ПАВ – АНТРАХИНОН**

Установлено, что использование ПАВ повышает устойчивость дисперсий антрахинона.

*Ключевые слова:* дисперсия, антрахинон, натронная варка, реология, поверхностно-активные вещества, седиментация.

Поверхность частиц антрахинона (АХ) гидрофобна и плохо смачивается водой и щелочным раствором [9, 11], поэтому в процессе приготовления дисперсии АХ возникают технологические сложности (слипание частиц, пылеобразование, забивание трубопроводов). Для получения устойчивой дисперсной системы необходимо учитывать размер частиц, способ получения, наличие примесей. Применение АХ в качестве катализатора делигнификации не требует высокой чистоты этого продукта, поэтому интерес представляют технические образцы АХ, которые не подвергаются дополнительной очистке (перекристаллизация, возгонка и т.д.).

В настоящее время на ОАО «Краситель» (г. Рубежный) АХ производят газофазным окислением антрацена кислородом воздуха, на Кемеровском анилинокрасочном заводе – путем конденсации фталевого ангидрида и бензола. Кроме того, в Восточном углехимическом институте – ВУХИН (г. Екатеринбург) получают АХ путем жидкофазного озонлиза фенантреновой фракции на полупромышленной озонаторной установке. Основные показатели промышленных образцов АХ представлены в таблице.

Цель работы – подбор условий для создания устойчивых к расслоению дисперсных систем путем оценки их реологических характеристик.

## Основные показатели промышленных образцов АХ

Образец АХ	Размер частиц $r \cdot 10^{-5}$ , м	Массовая доля АХ, %	Температура плавления, °С	Наличие железа, %
ОАО «Краситель», ТУ 6-36-1095–89				
АХ 2-го сорта	1...50	98,5	283,5	Следы
Отходы АХ	1...100	85,3	280,0	< 1*
Кемеровский анилинокрасочный завод, ТУ 6-36-1095–89				
Технический АХ	1...10	97,6	284,8	0,08
«	1...20	97,4	284,8	0,10
«	1...10	98,4	285,0	0,10
ВУХИН				
Опытный образец АХ	1...30	98,9	286,0	–

\* Наличие неорганики.

На сегодняшний день существуют разные способы создания устойчивых дисперсий. Их можно разделить на два основных: создание дисперсии с помощью подбора плотностей дисперсионной среды и диспергируемого вещества; создание дисперсии применением поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Например, в работе [10] используется 50 %-ая суспензия АХ. Раствор с удельным весом, равным удельному весу АХ, получается при смешивании определенных количеств АХ и раствора NaOH (50 %). В работе [7] АХ предварительно распределяют в смеси, состоящей соответственно из 10 ... 50 % (по объему) белого щелока и 90 ... 50 % черного щелока, после чего подготовленный раствор подают в варочный котел. Для повышения эффективности действия [2] частицы АХ с определенным гранулометрическим составом (размер  $(4 \dots 6) \cdot 10^{-5}$  м – 12 ... 20 %;  $(6 \dots 10) \cdot 10^{-5}$  м – 30 ... 38 %;  $(10 \dots 20) \times 10^{-5}$  м – остальное) в количестве 17 ... 51 % распределяют в объеме черного щелока, составляющем 49 ... 83 % от общего объема дисперсии. В предлагаемых способах требуется дополнительное разбавление, а также постоянное перемешивание или рециркуляция дисперсии АХ.

Авторы работы [5] для улучшения варки применяют дисперсии, содержащие 5 ... 70 % органических циклических соединений с кето- и(или) гидроксо-группами (размер частиц  $1 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-3}$  м), жидкие диспергаторы плотностью 1,2 ... 1,6 г/мл и загустители. Для приготовления вспомогательного средства щелочной варки [6] используют водную суспензию из органических циклических соединений с размерами частиц  $(1,5 \dots 4,0) \times 10^{-5}$  м, которую затем обезвоживают до 10 ... 20 %. Полученную суспензию окисляют воздухом, фильтруют, нейтрализуют, обезвоживают. Вспомогательное средство хорошо диспергируется в воде и щелоке без ПАВ, имеет хорошую текучесть, и не спекается при хранении. В Японии также запатентован способ получения водного высококонцентрированного раствора аген-

та для варки целлюлозы [4], содержащего менее 25 % высокорастворимой соли щелочных металлов (Na, K, Li) и 1,4-дигидроантрахинона с добавлением одного или нескольких видов ПАВ. На 100 частей антрахинонсодержащих продуктов добавляют 0,05 ... 5 частей ПАВ. Данный агент облегчает ввод АХ, повышает выход и увеличивает скорость варки.

Применение таких способов требует сложного аппаратного оформления, дорогостоящих химикатов и является достаточно трудоемким.

Авторами [8] предложена сыпучая, свободно текущая, равномерно диспергируемая в водных средах смесь АХ и ПАВ, получаемая путем смешивания друг с другом сыпучего АХ и жидкого неионизируемого ПАВ в количестве менее 5 % (по весу). Использовали промышленный АХ, на 90 % состоящий из частиц размером  $(1 \dots 200) \cdot 10^{-5}$ , в качестве жидкого ПАВ – замещенные полигликолевые эфиры алкилированных фенолов, нафтолов, двухядерных ароматических гидроксисоединений. Полученные смеси применяли после диспергирования в воде или непосредственно наносили на щепу, подаваемую ленточным транспортером в варочный котел. В данном случае трудно предотвратить попадание некоторого количества порошка в воздух, что может вызвать аллергическую реакцию у обслуживающего персонала и привести к взрыву.

Таким образом, модификация поверхности частиц АХ с помощью ПАВ является более перспективным способом получения однородной дисперсии АХ в воде, белом и черном щелоках, что облегчает использование АХ в качестве катализатора делигнификации древесины.

Для создания модельной дисперсной системы использовали опытный образец АХ, не содержащий примесей неорганического характера, с размером частиц  $(1 \dots 30) \cdot 10^{-5}$  м (в последствии размолот до размера частиц  $(2 \dots 7) \times 10^{-6}$  м). Размер частиц определяли кондуктометрическим методом [1]. В качестве ПАВ взято неионогенное вещество на основе сложных эфиров олигомеров оксида этилена, дисперсионная среда – вода и раствор едкого натра концентрацией 14 %. Расход ПАВ составлял 0,125 ... 0,500 % (по массе) от АХ.

В целях изучения скорости осаждения АХ с размером частиц  $(2 \dots 7) \cdot 10^{-6}$  м в щелочном растворе проведен седиментационный анализ. Характер седиментационной кривой *I* (рис. 1) свидетельствует о том, что осаждение частиц происходит в виде крупных агрегатов, образующихся в результате взаимодействия частиц АХ друг с другом. Изучение реологических свойств таких дисперсных систем практически невозможно из-за значительных скачков касательных напряжений. В дисперсной системе щелок–АХ–ПАВ наблюдается равномерное распределение частиц по всему объему дисперсионной среды, т. е. возникает определенная устойчивость системы к разделению фаз.

Исследование реологических свойств дисперсии проводили с использованием ротационного вискозиметра «RHEOTEST–2» и самопишущего потенциометра КСП-4.

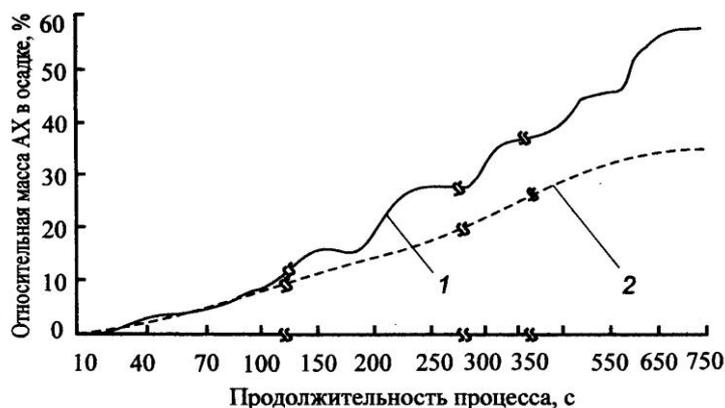


Рис. 1. Седиментационные кривые дисперсных систем (размер частиц –  $(2...7) \cdot 10^{-6}$ ; концентрация АХ – 10 %; расход ПАВ – 0,250 мас. %): 1 – АХ – шелок; 2 – АХ – ПАВ – шелок

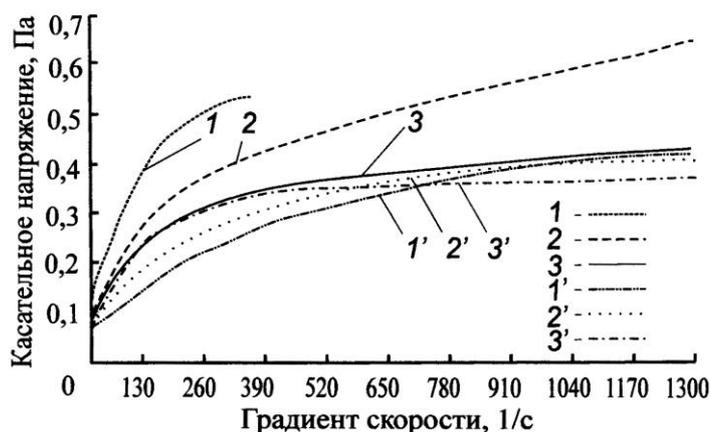


Рис. 2. Зависимость касательного напряжения от градиента скорости при разном размере частиц АХ и расходе ПАВ в водной среде (концентрация АХ – 10 %): 1 – 3 – размер частиц  $(1...30) \cdot 10^{-5}$  м; 1' – 3' –  $(2...7) \cdot 10^{-6}$  м; 1, 1' – расход ПАВ – 0,125 мас. %; 2, 2' – 0,250 мас. %; 3, 3' – 0,500 мас. %

Характер полученных кривых (рис. 2) соответствует течению неньютоновской нелинейной вязкопластичной жидкости [3].

В ходе исследования изучено влияние на реологические свойства дисперсных систем следующих факторов: размер частиц, расход ПАВ, дисперсионная среда, концентрация АХ.

Как свидетельствует рис. 2, при уменьшении размера частиц появляется возможность снизить касательные напряжения в зазоре коаксиальных цилиндров при одном и том же градиенте скорости.

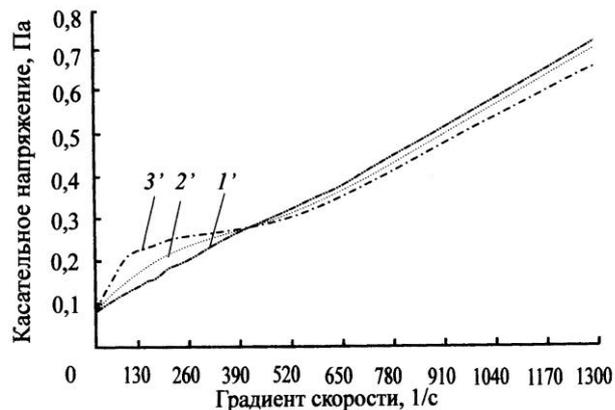


Рис. 3. Зависимость касательного напряжения от градиента скорости при разном расходе ПАВ в растворе едкого натра (концентрация NaOH – 14 %; размер частиц АХ –  $(2...7) \cdot 10^{-6}$  м; концентрация АХ – 10 %) (см. обознач. на рис. 2)

Рассматривая зависимость касательного напряжения от расхода ПАВ при размере частиц АХ  $(1 \dots 30) \cdot 10^{-5}$  м (рис. 2, реограммы 1–3), можно отметить, что при увеличении расхода ПАВ касательные напряжения снижаются при неизменном градиенте скорости. При расходе ПАВ менее 0,125 и более 0,500 % наблюдается сильное пенообразование и коагуляция. Аналогичное явление отмечено для дисперсной системы с меньшим размером частиц  $(2 \dots 7) \cdot 10^{-6}$  м (реограммы 1'–3'). Наблюдается постепенное снижение вязкости с выходом на линейную зависимость касательного напряжения от градиента скорости. Чем выше расход ПАВ, тем меньше усилий необходимо приложить для достижения линейной зависимости.

При изменении дисперсионной среды изменяются и реологические свойства дисперсных систем, о чем свидетельствуют реограммы 1'–3' (рис. 3). Использование раствора едкого натра (концентрация 14 %) в качестве дисперсионной среды позволяет повысить устойчивость дисперсной системы к разделению фаз и дает возможность снизить расход ПАВ. Вероятно, это связано с изменением рН среды и увеличением вязкости самой дисперсионной среды. Из приведенных на рис. 3 графиков следует, что реологическую кривую можно разделить на две половины. Первая половина при малых показателях градиента скорости соответствует нелинейно-вязкопластичным жидкостям (3"), вторая – линейным вязкопластичным жидкостям.

Анализ реологических кривых, приведенных на рис. 4, свидетельствует, что для исследуемых дисперсных систем также важна концентрация АХ. Чем выше концентрация субстрата, тем выше значения касательных напряжений при одном и том же градиенте скорости.

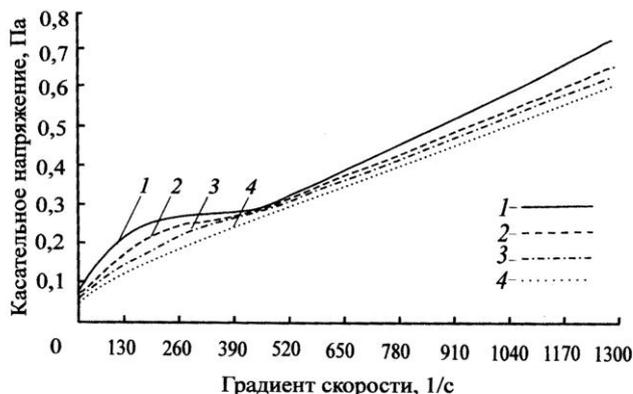


Рис. 4. Зависимость касательного напряжения от градиента скорости при разной концентрации АХ в растворе едкого натра (концентрация NaOH – 14 %; размер частиц АХ –  $(2...7) \cdot 10^{-6}$  м; расход ПАВ – 0,250 мас. %):  
1 – 10,00 %; 2 – 5,00; 3 – 2,50; 4 – 1,25 %

На основании полученных реологических характеристик дисперсных систем можно сделать вывод о целесообразности использования ПАВ для создания агрегативно-устойчивых дисперсных систем с АХ для более эффективного его использования на предприятиях ЦБП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 999421 СССР. Устройство для подсчета частиц [Текст] / Дрикер Б.Н., Костромитин А.Л., Ремпель С.И (СССР). – Оpubл. 1982, Бюл. № 29.
2. А. с. 1327943 СССР, МКИ В 01F 3/12. Суспензия для варки целлюлозы [Текст] / Сафонов Ю.К., Горохов В.В., Личутина Т.Ф. // (СССР). – Заявл. 19.11.85; опубл. 1987, Бюл. № 29.
3. *Бабурин, С.В.* Реологические основы процессов ЦБП [Текст] / С.В. Бабурин, А.И. Киприянов. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 192 с.
4. Заявка 61-97492 Япония. Водный высококонцентрированный раствор агента для варки целлюлозы [Текст] / Ааике Кадзуми, Накаяма Мицуко // Кавасаки касэй когё к.к. – № 59-219275; заявл. 18.10.84; опубл. 15.05.86.
5. Пат. 2816473 ФРГ. Dispersion zur Verwendung bei der Zellstoffgewinnung [Text] / Schnegg P., Blank H.U., Klag G. – Anm. 15.04.78; off 25.10.79.
6. Пат. 57-177080 Япония. Способ приготовления вспомогательного средства для варочного раствора [Текст] / Сакаи Кадзуаки, Сато Дзэбен, Тиба Кадзухино, Таки Тосио // Кавасаки касэй когё к.к. – Заявл. 24.04.81; опубл. 30.10.82.
7. Пат. 4574032 США. Process for delignification of lignocellulosic material in the presence of anthraquinone in solution with white and black liquors [Text] / Ringley M. – Anm. 18.03.82; off. 04.03.86.
8. Пат. DE 3905311 ФРГ. Anthraquinone. Tensid Gemische, ihre Herstellung und Verwendung [Text] / H. Blank. – Anm. 21.02.89; off 23.08.90.

9. *Ростов, Б.М.* О физико-механических свойствах антрахинона [Текст] / Б.М. Ростов, Ю.К. Сафонов, Н.Е. Свирепов. – Деп. ВНИИ целлюлоз. бум. пром-сти ВНПО ЦБП. – Л., 1985. – С. 144–152.

10. *Borchers.* Technische und wissenschaftliche Entwicklung des Einsatzes von Anthrachinon beim Sulfat – und beim Natron-zellstoffverfahren [Text] / Borchers // Zellst. Und Papier. – 1980. – 29, N 2. – S. 85–86.

11. *Storgard-Envall, C.* Dissolving reactions of anthraquinone at high temperature [Text] / C. Storgard-Envall, D.R. Dimmel // J. Wood Chim. and Technol. – 1986. – Vol. 6, N 3. – P. 367–388.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 1.06.04

*A.V. Vurasko, A.Ya Ageev*

**Rheological Characteristics of Dispersion System Alkali-Surface  
Active Agent-Anthraquinone**

It has been established that use of surface active agent increases the stability of anthraquinone dispersions.

---

УДК 634.0.161.4:634.0.164.5.

### *И.Я. Киселев*

Киселев Иван Яковлевич родился в 1934 г., окончил в 1963 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры неорганической и аналитической химии С.-Петербургской ЛТА. Имеет 3 изобретения и более 55 научных трудов в области физиологии древесных растений, экологии и безопасности жизнедеятельности, разработки технологических смазок для обработки металлов давлением, коррозии и защиты металлов, фосфатирования металлов, неорганической химии.



## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПИГМЕНТОВ ОСЕННЕЙ ОКРАСКИ ЛИСТЬЕВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Методами ультрафиолетовой, инфракрасной спектроскопии и рентгенофазового анализа в листьях дуба черешчатого обнаружен гидроксид оксожелеза (III), в листьях клена остролистного – пируват оксожелеза (III) и  $\beta$ -каротин, в листьях барбариса – пируват железа (III), цианидин и  $\beta$ -каротин.

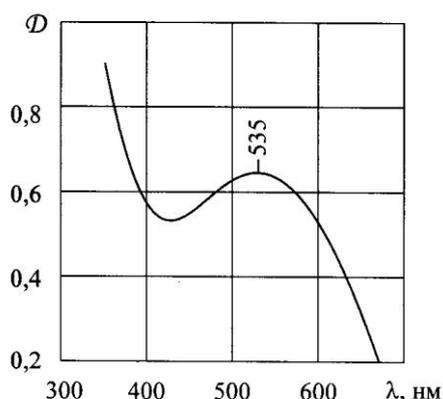
*Ключевые слова:* пигменты листьев, древесные растения, соединения железа, гидроксид и пируват оксожелеза (III), пируват железа (III),  $\beta$  – каротин, цианидин.

Цель данной работы – исследовать качественный состав и химическую природу пигментов осенней окраски листьев некоторых видов древесных растений. Для эксперимента в период осеннего листопада при ясной, сухой и прохладной погоде были собраны желто-коричневые листья дуба черешчатого, красно-коричневые листья клена остролистного и пурпурно-фиолетовые листья барбариса обыкновенного. Место произрастания деревьев – хорошо освещенное свободное пространство в экологически чистом районе Ленинградской области.

Для исследования качественного состава растительных пигментов навески массой 5 г готовили из мелконарезанных воздушно-сухих листьев. При экстракции пигментов из листьев в качестве растворителей были использованы гексан и вода (жидкостной модуль 7). Экстрагирование гексаном проводили в колбе, водой – в стеклянном стакане при комнатной температуре. Смесь перемешивали в течение 30 мин, затем экстрагирование продолжали при стоянии в течение 24 ч [1].

Были сняты ультрафиолетовые спектры поглощения водных и гексановых экстрактов листьев дуба, клена и барбариса.

Из представленного на рис. 1 ультрафиолетового спектра поглощения водного экстракта (рН 2,6) листьев барбариса видно, что в спектре имеется максимум поглощения при длине волны  $\lambda_{\max} = 535$  нм ( $\nu_{\max} = 18\,700$  см<sup>-1</sup>). Положение мак-



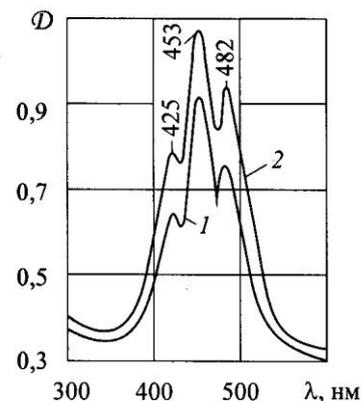
симума свидетельствует о присутствии в водном экстракте листьев барбариса пигмента цианидина [6]. Еще один максимум (на рис. 1 не представлен) отмечен при  $\lambda_{\text{max}} = 220$  нм ( $\nu_{\text{max}} = 45\,500$  см<sup>-1</sup>). Положение максимума в спектре поглощения свидетельствует о присутствии в водном экстракте листьев барбариса пировиноградной кислоты.

В водных экстрактах листьев дуба (рН 5,4) и клена (рН 4,8) пигмент цианидин не обнаружен.

На рис. 2 приведены ультрафиолетовые спектры поглощения гексановых экстрактов листьев клена и барбариса. На спектрах поглощения имеются три максимума поглощения при  $\lambda_{\text{max}} = 425, 453, 482$  нм ( $\nu_{\text{max}} = 23\,500, 22\,100, 20\,700$  см<sup>-1</sup>), что свидетельствует о присутствии в экстрактах пигмента  $\beta$ -каротина [6]. В гексановом экстракте листьев дуба этот пигмент не обнаружен.

Таким образом, в водном экстракте (рН 2,6) листьев барбариса содержатся пигменты цианидин и  $\beta$ -каротин, а листья клена – только  $\beta$ -каротин.

Рис. 2. Ультрафиолетовые спектры поглощения гексановых экстрактов: 1 – листья клена; 2 – барбариса



Исследовалась химическая природа соединений железа (III), содержащихся в листьях дуба, клена и барбариса. Для извлечения железа из навески воздушно-сухих листьев использовали кислотную экстракцию [5]. Затем проводили прямое определение суммарного содержания железа в экстракте методом атомной абсорбции по длине волны 248,3 нм [5]. В ходе эксперимента было установлено, что содержание железа в листьях составило 0,50 ... 0,55 % от массы воздушно-сухих листьев.

В стареющих листьях при распаде железосодержащих органических соединений (хлоропласты и дыхательные ферменты митохондрий – пероксидаза, каталаза, ферредоксин и цитохром-оксидаза) образуются ионы железа (III), которые принимают участие в образовании гидроксида железа (III) и солей железа (III). После оттока питательных веществ в осенних листьях соединения железа (III) адсорбируются на поверхности растительной

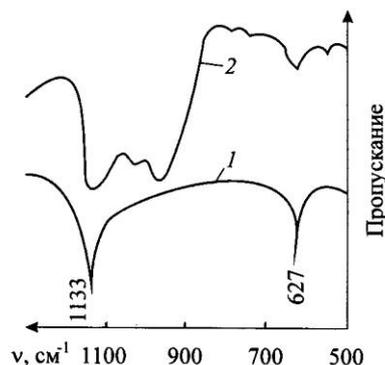
ткани. Опорная растительная ткань осенних листьев содержит примерно по 20 % целлюлозы и лигнина от сухой массы.

Методом качественного рентгенофазового анализа исследована химическая природа кристаллической фазы листьев. Сущность качественного рентгенофазового анализа сводится к сопоставлению экспериментально определенных значений межплоскостных расстояний ( $d$ ) с эталонными дифрактограммами. Дифрактограммы образцов листьев снимали на отражение на дифрактометре ДРОН-2. Использовали кобальтовое ( $\text{Co} - K_{\alpha}$ ) рентгеновское излучение, выделенное железным фильтром. Длина волны рентгеновского излучения  $\lambda = 1,79021 \text{ \AA}$ .

Только в образцах листьев дуба выявлено достаточное содержание кристаллической фазы. Дифракционная характеристика  $d$  листьев дуба имеет 7 максимумов  $\text{Å}$ : 4,18; 3,36; 2,69; 2,45; 2,25; 2,18; 1,80. Этого количества максимумов вполне достаточно, чтобы идентификацию кристаллической фазы считать надежной. Эти дифракционные максимумы принадлежат лепидокрокиту  $\gamma\text{-FeOOH}$ , т. е. гидроксиду оксожелеза (III), образующему слоистые орторомбические решетки, в которых слои удерживаются химическими связями.

Гидроксид оксожелеза (III)  $\text{FeOOH}$  имеет красно-коричневую окраску, со временем переходящую в желто-коричневую [2].

Рис. 3. Инфракрасные спектры поглощения образцов: 1 гидроксид оксожелеза (III) –  $\text{FeOOH}$ ; 2 – листья дуба



На спектрофотометре UR-20 изучено число, положение и интенсивность инфракрасных полос поглощения листьев дуба и гидроксида оксожелеза (III) в области  $1200 \dots 500 \text{ cm}^{-1}$ , которые относятся к деформационным колебаниям  $\text{OH-}$  и  $\text{Fe=O-}$  групп.

Образцы листьев дуба сушили при температуре  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 5 ч.

На рис. 3 представлены инфракрасные спектры поглощения гидроксида оксожелеза (III) и листьев дуба (препараты готовили в виде запрессовок в  $\text{KBr}$ ). Полоса поглощения при  $1133 \text{ cm}^{-1}$  на спектрах 1 и 2 соответствует частоте деформационных колебаний  $\text{OH-}$  группы гидроксида оксожелеза (III). Полоса поглощения при  $627 \text{ cm}^{-1}$  на спектрах 1 и 2 соответствует частоте деформационных колебаний  $\text{Fe=O-}$  группы гидроксида оксожелеза (III). Полосы поглощения в области  $1200 \dots 900 \text{ cm}^{-1}$  на спектре 2 обусловлены в основном валентными колебаниями  $\text{C-O}$ . Вследствие сильного взаимодей-

ствия элементов структуры целлюлозы, полосы поглощения которых попадают в данный спектральный интервал, практически невозможно отнести частоты в этой области к определенным группам или связям.

Полосы в интервале частот  $900 \dots 700 \text{ см}^{-1}$  могут быть обусловлены маятниковыми колебаниями связей С–Н и пиранозных звеньев. Размытое поглощение в области  $700 \dots 500 \text{ см}^{-1}$  можно объяснить деформационными колебаниями гидроксильных групп [3]. Следовательно, можно утверждать, что листья дуба содержат пигмент гидроксид оксожелеза (III).

Таким образом, дифракционная характеристика и инфракрасный спектр листьев дуба согласуются между собой.

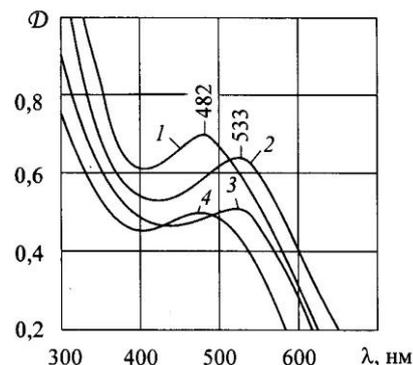
Важнейшим промежуточным продуктом, связывающим превращения углеводов, белков и липидов, является пировиноградная кислота. Вероятно, в стареющих листьях при пониженной каталитической активности ферментов происходит нарушение принципа стационарности в кинетике реакций биологического окисления углеводов. При этом накапливается пировиноградная кислота, которая может увеличивать общую кислотность жидкой фазы листьев до pH 2,0.

Повышенная химическая активность пировиноградной кислоты ( $K = 3,162 \cdot 10^{-3}$ ) обусловлена взаимным индуктивным влиянием карбоксильной и карбонильной групп. Она реагирует с содержащимися в листьях соединениями железа (III), например с FeOОН, с образованием пируватов железа (III).

В лабораторных условиях были синтезированы соединения железа (III) и пировиноградной кислоты и исследованы их спектральные характеристики.

При комнатной температуре и естественном освещении водный раствор (pH 3,0) синтезированного пирувата оксожелеза (III) –  $\text{FeOCH}_2\text{COCO}$  имеет оранжево-коричневый цвет. Раствор избирательно поглощает при длине волны  $480 \dots 490 \text{ нм}$ . При добавлении пировиноградной кислоты к полученному раствору до pH 2,4 легко осуществляется протонирование атома кислорода в Fe=O-группе. Затем к атому железа присоединяются еще два пируват-иона  $\text{CH}_3\text{COCO}$ . При этом образуется железо-пируватный комплекс  $[\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COCO})_3]$  – трипируват железа (III) или просто пируват железа (III). При комнатной температуре и естественном освещении водный раствор (pH 2,4) пирувата железа (III) имеет дополнительный пурпурно-фиолетовый цвет. Раствор избирательно поглощает лучи с длинами волн от 500 до 580 нм.

Методом ультрафиолетовой спектроскопии исследовали спектральные характеристики водных растворов пирувата оксожелеза (III), пирувата железа (III) и водных экстрактов листьев клена (pH 4,8) и барбариса (pH 2,6). На рис. 4 представлены их ультрафиолетовые спектры поглощения (в воде).



Спектры поглощения пируватов железа (III) дают однозначную информацию о присутствующем в молекуле хромофоре. Спектр поглощения 1 с максимумом  $\lambda_{\max} = 482$  нм ( $\nu_{\max} = 20800$  см<sup>-1</sup>) соответствует пирувату оксожелеза (III), спектр поглощения 2 с максимумом  $\lambda_{\max} = 533$  нм ( $\nu_{\max} = 18800$  см<sup>-1</sup>) – пирувату железа (III). Максимум поглощения смещается в длинноволновую область на 51 нм – происходит батохромный сдвиг. Хромофорная система пирувата оксожелеза (III) представляет собой атом железа, связанный с пируват-ионом и атомом кислорода, хромофорная система пирувата железа (III) – атом железа, связанный с тремя пируват-ионами. Следовательно, на спектр поглощения оказывает значительное влияние внутримолекулярное окружение атома железа.

Спектр поглощения 3 с максимумом  $\lambda_{\max} = 533$  нм ( $\nu_{\max} = 18800$  см<sup>-1</sup>) соответствует водному экстракту листьев барбариса, его сопоставление со спектром поглощения 2 пирувата железа (III) показывает их полное совпадение.

Спектр поглощения 4 с максимумом  $\lambda_{\max} = 482$  нм ( $\nu_{\max} = 20800$  см<sup>-1</sup>) соответствует водному экстракту листьев клена, его сопоставление со спектром поглощения 1 пирувата оксожелеза (III) также дает полное совпадение.

Таким образом, можно утверждать, что в листьях клена присутствует пигмент пируват оксожелеза (III), а в листьях барбариса – пигмент пируват железа (III).

Была проведена идентификация пигментов осенней окраски листьев дуба, клена и барбариса на образцах из фильтровальной бумаги, которые обрабатывали суспензией свежеприготовленного гидроксида железа (III) – Fe(OH)<sub>3</sub>. При этом протекает процесс химической адсорбции Fe(OH)<sub>3</sub> на поверхности образцов фильтровальной бумаги. Затем образцы с адсорбированным гидроксидом железа (III) сушили на воздухе при комнатной температуре. Во время сушки оранжево-желтый гидроксид железа (III) при обезвоживании переходит в желто-коричневый гидроксид оксожелеза (III) по схеме Fe(OH)<sub>3</sub> → FeOOH + H<sub>2</sub>O, а образцы из фильтровальной бумаги приобретают желто-коричневую окраску, как у листьев дуба. Переход окраски обусловлен изменением состава и строения гидроксида железа (III) и появлением двойной химической связи в гидроксиде оксожелеза (III). В молекуле гидроксида оксожелеза (III) происходит изменение распределения электронной плотности двойной связи в сторону атома кислорода. При этом проявляется своеобразный эффект электронов двойной связи, что влияет на окраску гидроксида оксожелеза (III).

Затем желто-коричневые образцы фильтровальной бумаги обрабатывали разбавленным водным раствором, содержащим  $3,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л пирувиноградной кислоты (рН 3). При этом происходит превращение гидро-

Рис. 4. Ультрафиолетовые спектры поглощения (в воде): 1 – пируват оксожелеза (III) – FeOCH<sub>3</sub>COCOO; 2 – пируват железа (III) – Fe(CH<sub>3</sub>COCOO)<sub>3</sub>; 3 – водный экстракт (рН 2,6) пурпурно-фиолетовых листьев барбариса обыкновенного; 4 – водный экстракт (рН 4,8) красно-коричневых листьев клена остролистного

ксида оксожелеза (III) в пируват оксожелеза (III), образцы приобретают красно-коричневую окраску, как у листьев клена.

При обработке красно-коричневых образцов фильтровальной бумаги разбавленным водным раствором, содержащим  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л пировиноградной кислоты (рН 2,4), пирувата оксожелеза (III) превращается в пируват железа (III), образцы приобретают пурпурно-фиолетовую окраску, как у листьев барбариса.

Соединения железа (III) адсорбируются и прочно удерживаются на поверхности целлюлозы за счет возникновения ковалентной химической связи между кислородом гидроксильной группы звена целлюлозы и атомом железа соединения железа (III).

Таким образом, желто-коричневую, как у листьев дуба, окраску фильтровальной бумаги вызывает пигмент гидроксид оксожелеза (III), красно-коричневую, как у листьев клена, – пируват оксожелеза (III), пурпурно-фиолетовую, как у листьев барбариса, – пируват железа (III).

Следовательно, основными пигментами, вызывающими осеннюю окраску листьев дуба, клена и барбариса, являются соединения железа (III): гидроксид оксожелеза (III), пируват оксожелеза (III), пируват железа (III).

Окраска и интенсивность окраски листьев зависят от содержания гидроксида оксожелеза (III) и пировиноградной кислоты, а также от глубины превращения гидроксида оксожелеза (III) в пируваты железа (III). При этом листья могут приобретать различные оттенки желтого, оранжевого, красного и пурпурного цветов.

Необходимо отметить, что в слабокислой среде гидроксид оксожелеза (III) в присутствии хлорид-ионов СГ может превращаться в хлорид оксожелеза (III) –  $\text{FeOCl}$ , который придает образцам фильтровальной бумаги желтую окраску, как у листьев березы и липы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воскресенский, П.И.* Технология лабораторных работ [Текст] / П.И. Воскресенский. – 10-е изд., стер. – М.: Химия, 1973. – 717 с.
2. *Горшков, В.С.* Методы физико-химического анализа вяжущих веществ [Текст]: учеб. пособие / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высш. шк., 1981. – 335 с.
3. *Жбанков, Р.Г.* Инфракрасные спектры и структура углеводов [Текст] / Р.Г. Жбанков. – Минск: Наука и техника, 1972. – 456 с.
4. *Крамер, П.Д.* Физиология древесных растений [Текст] / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский; пер. с англ. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 464 с.
5. *Прайс, В.* Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия [Текст] / В. Прайс; пер. с англ. В.И. Мосичева; под ред. Б.В. Львова. – М., 1976. – 355 с.
6. *Штерн, Э.* Электронная абсорбционная спектроскопия в органической химии [Текст] / Э. Штерн, К. Тиммонс; пер. с англ.; под ред. Ю.А. Пентина. – М.: Мир, 1974. – 295 с.

Поступила 27.01.04

Санкт-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

*I.Ya. Kiselev*

**Study of Qualitative Composition of Pigments in Leaves' Autumn  
Color of Some Woody Plants**

Based on the methods of ultraviolet, infrared spectroscopy and roentgen-phase analysis; oksoiron hydrate (III) oksoiron pyruvate (III) and  $\beta$ - carotene are found in the leaves of English oak and Norway maple correspondingly, whereas iron pyruvate (III), tsiamedin and  $\beta$ -carotene are found in leaves of common barberry.

---

УДК 630\*861

**О.С. Беушева, Н.П. Мусько, М.М. Чемерис**

Беушева Ольга Сергеевна родилась в 1980 г., окончила в 2002 г. Алтайский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии переработки пластмасс и эластомеров Алтайского государственного технического университета. Имеет 3 публикации в области химии древесины и ее основных компонентов.



Мусько Нина Павловна родилась в 1956 г., окончила в 1979 г. Алтайский государственный университет, старший научный сотрудник НИИ древесных термопластиков при Алтайском государственном университете. Имеет около 30 научных трудов в области химии древесины и ее основных компонентов.



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

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО АВТОГИДРОЛИЗА ДРЕ-  
ВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ**

Изучен процесс взрывного автогидролиза древесины лиственницы методом полного факторного эксперимента, получена математическая модель процесса.

*Ключевые слова:* взрывной автогидролиз, целлюлоза, лигнин, легкогидролизуемые полисахариды, полный факторный эксперимент.

Лиственница является наиболее распространенной древесной породой в Сибири. В Иркутском институте химии СО РАН разработаны и внедрены промышленные методы получения из нее биологически активных веществ, широко применяемых в медицине (арабиногалактан и дигидрокверцетин). При этом оставшаяся древесина может быть направлена на переработку [1].

Как правило, химическую переработку древесины либо проводят в жестких условиях, обеспечивающих структурные изменения, либо применяют ее предварительную активацию. В качестве перспективного метода

активации предлагается использовать взрывной автогидролиз [3–5], при котором в древесине происходят структурные и химические превращения, сопровождающиеся деструкцией основных компонентов, в первую очередь, гемицеллюлоз как легкогидролизуемых полисахаридов (ЛГП). При протекании глубоких гидролитических процессов гемицеллюлозы гидролизуются до низкомолекулярных продуктов, растворимых в воде. Степень гидролитической деструкции гемицеллюлоз определяется условиями гидротермической обработки древесины, а это значит, что с помощью взрывного автогидролиза (ВАГ) можно получать продукт, свободный от гемицеллюлоз [2].

Цель данной работы – математическое моделирование поведения легкогидролизуемых полисахаридов древесины лиственницы в процессе взрывного автогидролиза.

В качестве объекта исследования использовали щепу древесины лиственницы с размером частиц  $20 \times 5 \times 5$  мм, предварительно обессмоленную этилацетатом и проэкстрагированную горячей ( $100^\circ\text{C}$ ) водой. Щепа содержала 46,6 % целлюлозы, 27,1 % лигнина, 22,9 % легкогидролизуемых полисахаридов.

Для осуществления быстрой декомпрессии ВАГ проводили в специальном автоклаве вместимостью 2 л.

Лигноуглеводный остаток после ВАГ экстрагировали водой, получая при этом жидкую и твердую фазы. Твердый остаток анализировали на содержание ЛГП, водный экстракт – редуцирующих веществ (РВ). Для анализа компонентов использовали общепринятые методики [7].

В качестве факторов воздействия ВАГ на процесс разделения были выбраны следующие: температура гидролиза, продолжительность обработки древесины в реакторе под давлением, гидромодуль при предварительной обработке.

Осуществление взрывного автогидролиза может происходить в широком диапазоне температур, причем продолжительность выдержки обрабатываемого материала при заданной температуре различна. Разделение и глубина преобразований компонентов древесины зависят от соотношения продолжительности и температуры обработки паром. При высокой температуре продолжительность пропаривания материала сокращается до нескольких минут. Поэтому для установления оптимальных условий удаления ЛГП был применен метод полного трехфакторного двухуровневого эксперимента (ПФЭ  $2^3$ ).

Условия проведения эксперимента представлены в табл. 1.

Натуральные значения факторов  $Z$  были закодированы в безразмерные величины  $X_i$  ( $X(0)$  – основной уровень). Выходными параметрами (откликами) служили: 1 – содержание целлюлозы ЛГП в твердом остатке  $Y_1$ ; 2 – содержание РВ в водном экстракте  $Y_2$ .

Матрица планирования полного трехфакторного двухуровневого эксперимента и результаты ее реализации приведены в табл. 2, уравнения регрессии процесса ВАГ и их статистические характеристики – в табл. 3.

Таблица 1

Натуральные факторы	Температура гидротермической обработки $Z_1$ , °C	Продолжительность гидротермической обработки $Z_2$ , мин	Гидро модуль $Z_3$
Основной уровень	205	16	1,5
Шаг варьирования	15	14	0,5
Верхний уровень	220	30	2,0
Нижний уровень	190	2	1,0

Таблица 2

Номер опыта	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$
1	190	2	1,0	–	–	–	12,5	7,7
2	220	2	1,0	+	–	–	4,5	11,7
3	190	30	1,0	–	+	–	4,1	12,4
4	220	30	1,0	+	+	–	2,9	15,3
5	190	2	2,0	–	–	+	10,8	10,6
6	220	2	2,0	+	–	+	3,6	14,5
7	190	30	2,0	–	+	+	3,1	13,7
8	220	30	2,0	+	+	+	1,6	14,4
9	205	16	1,5	0	0	0	4,8	12,3
10	205	16	1,5	0	0	0	4,9	12,5

Таблица 3

Отклик	Уравнение, описывающее процесс ВАГ	Критерий Фишера		Критерий Кохрена	
		по уравнению регрессии	табличное значение	по уравнению регрессии	табличное значение
1	$Y_1 = 5,4 - 2,2X_1 - 2,5X_2 - 0,6X_3 + 1,6X_1X_2$	12,9	215,7	0,0110	0,7544
2	$Y_2 = 12,5 - 1,4X_1 + 1,4X_2 - 0,7X_2X_3$	58,7	215,7	0,0150	0,7544

Из табл. 3 следует, что полученные уравнения могут быть использованы в качестве математических моделей исследуемого процесса.

В целом результаты исследования хорошо согласуются с литературными данными по гидролизу ЛЦМ других пород [6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин, В.А. Продукты глубокой химической переработки биомассы лиственницы. Технология получения и перспективы использования [Текст] / В.А. Бабкин, Л.А. Остроухова, С.З. Иванова // Рос. хим. журн. – 2004. – Т. XLVIII, № 3.
2. Дудкин, М.С. Гемиллюлозы [Текст] / М.С. Дудкин [и др.]. – Рига: Зинатне, 1991. – 488 с.

3. *Гравитис, Я.А.* Теоретические и прикладные аспекты метода взрывного автогидролиза растительной биомассы [Текст] / Я.А. Гравитис // *Химия древесины*. – 1987. – № 5.

4. *Ефремов, А.А.* Состав растительных полимеров древесного происхождения, получаемых в условиях взрывного автогидролиза [Текст] / А.А. Ефремов, И.В. Кротова // *Химия растительного сырья*. – 2003.

5. *Калейне, Д.А.* Высокотемпературный автогидролиз древесины. Автогидролиз березовой древесины [Текст] / Д.А. Калейне, А.Г. Веверис, А.Г. Полманис // *Химия древесины*. – 1990. – № 3. – С. 101–107.

6. *Калейне, Д.А.* Высокотемпературный автогидролиз древесины. Сопоставление поведения древесины основных пород ЛатвССР [Текст] / Д.А. Калейне, А.Г. Веверис, А.Г. Полманис // *Химия древесины*. – 1990. – № 3. – С. 89–95.

7. *Оболенская, А.В.* Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы [Текст] / А.В. Оболенская, З.П. Ельницкая, А.А. Леонович. – М.: Экология, 1991. – 320 с.

Алтайский государственный  
технический университет

Поступила 15.09.05

*O.S. Beusheva, N.P. Musko, M.M. Chemeris*

### **Mathematical Model for Process of Larch Explosive Autohydrolysis**

The process of larch explosive autohydrolysis is investigated by method of complete factorial experiment, mathematical model of the process is produced.





УДК 630\*652: 630\*627.3

**А.А. Зубко**

Зубко Андрей Александрович родился в 1976 г., окончил в 1998 г. Сочинский государственный университет курортного дела и туризма, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник НИИгорлесэкол, г. Сочи. Имеет 6 печатных работ в области экономики лесного хозяйства, экономической оценки природопользования, эколого-экономической оценки территорий.



### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В ГОРОДСКИХ ЛЕСАХ**

Предложены новая экономическая организация, структура управления и финансирования парк-лесхозов, механизм их усовершенствования.

*Ключевые слова:* городские леса, экономическая организация парк-лесхоза, реформирование структуры исполнительной власти.

Человечество в своем развитии постепенно переходит от ресурсного к комплексному использованию рыночных и нерыночных полезностей леса, в том числе его рекреационной функции. Жители крупных городов подсознательно стремятся в привычную для человечества природную среду, поэтому очевидна необходимость использования городских лесов, в первую очередь для рекреационных, санитарно-гигиенических и средозащитных целей.

Посредством бюджетного финансирования деятельности парк-лесхозов государство обеспечивает реализацию конституционного права граждан на благоприятную окружающую среду. На первый план выходит деятельность парк-лесхозов по управлению, содержанию и охране лесов рекреационного значения. При этом в современной лесоэкономической литературе практически не затрагиваются вопросы, касающиеся экономической организации их деятельности.

Существующие парк-лесхозы используют типовую форму экономической организации предприятий лесного хозяйства, однако у них различны цели, задачи, функции, структура управления. На наш взгляд, для парк-лесхозов более близка экономическая организация заповедников и национальных парков.

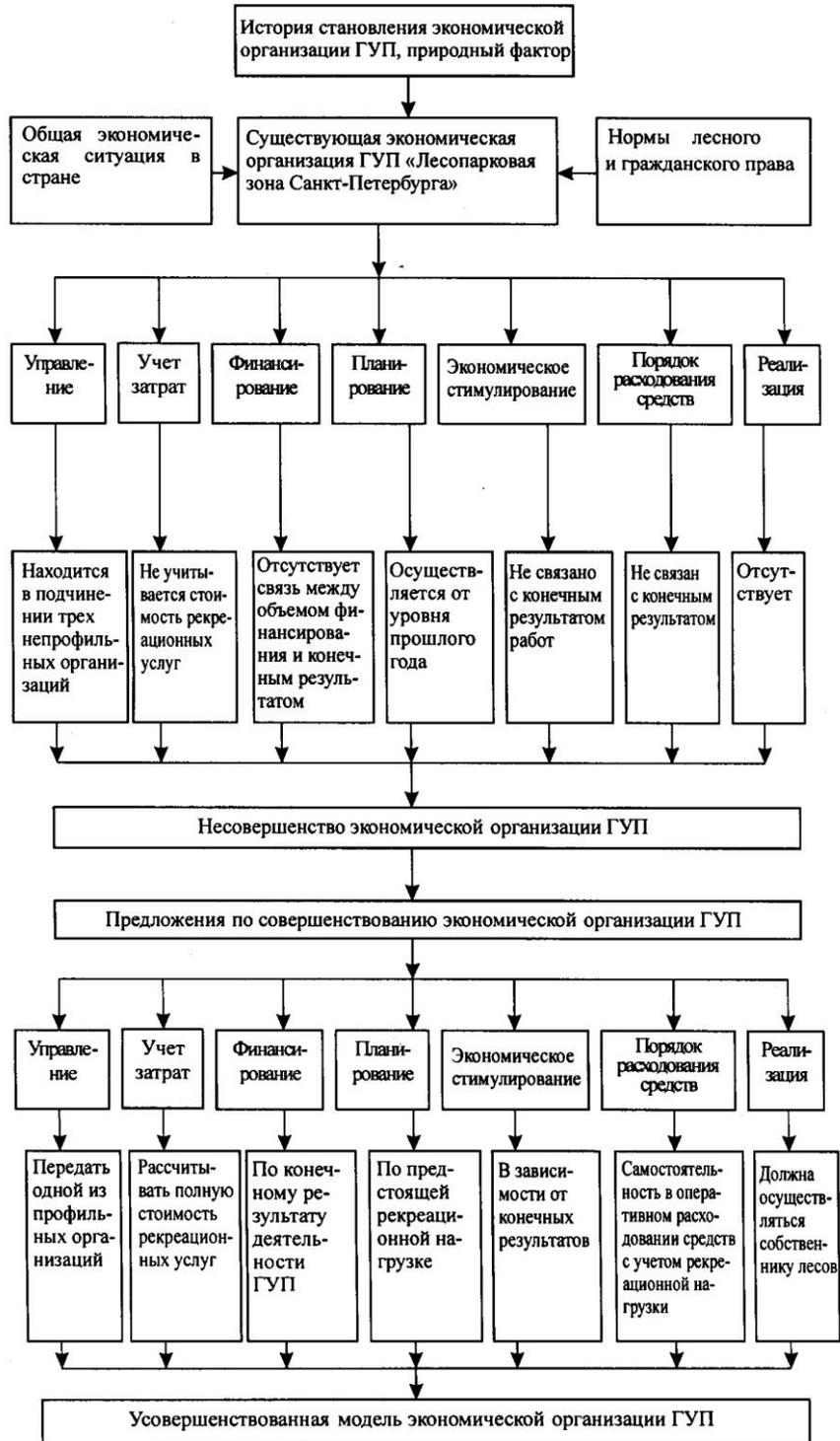


Рис. 1. Алгоритм решения задач по совершенствованию экономической организации ГУП

Отличия парк-лесхозов от лесхозов и национальных парков, уникальность рекреационной услуги и выделение ее в самостоятельную экономическую категорию, а также наличие доказанного платежеспособного спроса на нее определяют необходимость изменения экономической организации деятельности парк-лесхозов. Это подтверждается также несоответствием между нормами гражданского, хозяйственного, налогового права и сложившимися экономическими отношениями как при формировании рекреационной услуги (учет ее себестоимости, реализации), так и при взаимодействии с внешними субъектами рынка.

На рис. 1 приведены критерии современной экономической организации ведения лесного хозяйства в городских лесах Санкт-Петербурга, на рис. 2 – существующая организационная структура управления парк-лесхозами.

Пути усовершенствования каждого критерия следующие. Управление Государственным унитарным предприятием «Лесопарковая зона Санкт-Петербурга» (далее ГУП) предлагается передать одной профильной организации, при учете затрат рассчитывать полную себестоимость рекреационных услуг, финансирование производить по конечному результату деятельности, планирование – по предстоящей рекреационной нагрузке, экономическое стимулирование – в зависимости от конечного результата, расходование средств предоставить парк-лесхозу с учетом приоритетности рекреационных услуг, реализацию осуществлять собственнику лесов, т.е. государству.

Рассмотрим данные предложения подробнее. Основным фактором, оказывающим негативное влияние на работу ГУПа, является несовершенство существующего законодательства и управления, которое в ближайшее время будет претерпевать изменения. В связи с Указом Президента РФ от 9 марта 2004 г. № 314 «О системе и структуре федеральных органов исполнительной власти» были внесены изменения в их структуру. Следующий этап – аналогичные изменения структур управления органов исполнительной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления.

По отношению к лесному хозяйству на высшем уровне остается Министерство природных ресурсов РФ, которое будет координировать и контролировать деятельность находящихся в его ведении Федеральной службы по надзору в сфере экологии и природопользования и Федерального агентства лесного хозяйства, т. е. осуществлять правоустанавливающие функции.

На втором уровне образуется Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, которая будет осуществлять контроль и надзор за соблюдением лесного законодательства, т. е. правоприменительные функции.

Третий уровень – Федеральное агентство лесного хозяйства, выполняющее функции оказания государственных услуг по управлению государственным имуществом – лесным фондом.

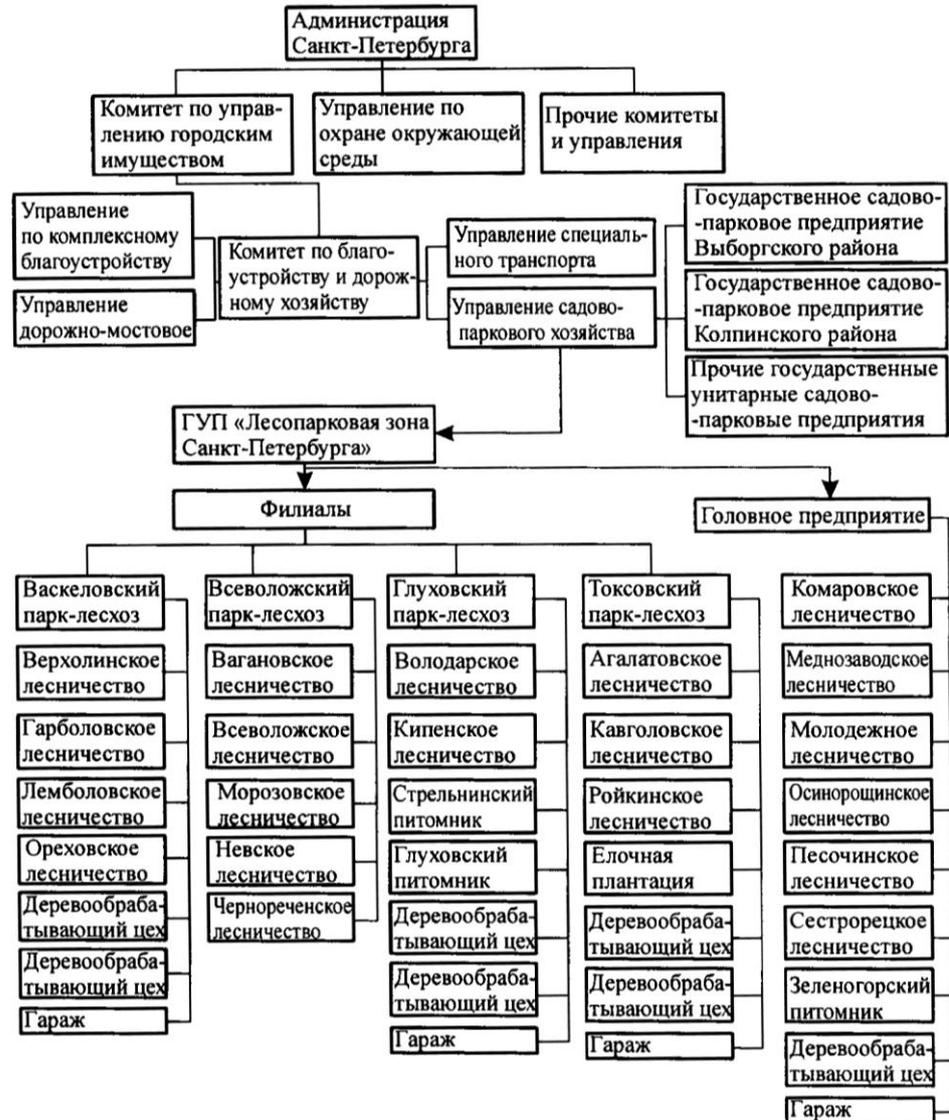


Рис. 2. Организационная структура управления парк-лесхозами С.-Петербурга

По аналогии с федеральной предполагается создать структуру управления на региональном уровне. ГУП «Лесопарковая зона Санкт-Петербурга» будет находиться непосредственно в ведении Городского агентства по зеленому хозяйству. Это агентство должно выполнять функции по оказанию услуг по управлению городскими лесами, заключать договора подряда с фирмами или юридическими лицами, осуществлять финансирование ГУПа, оплачивать услуги сторонних организаций. В нашей схеме Городское агентство находится на третьем уровне предлагаемой структуры управления ГУП «Лесопарковая зона Санкт-Петербурга».

На первом уровне во вновь созданной структуре управления на территории Санкт-Петербурга предполагается создать Комитет по благоустройству и зеленому хозяйству, в ведении которого будут находиться службы по надзору зеленого хозяйства и городское агентство по зеленому хозяйству. Функции комитета – координация и контроль подведомственных ему организаций. На втором уровне должна быть создана служба по надзору зеленого хозяйства, ее функции – надзор и контроль в городских лесах.

Прежде чем переходить к разработке предложений по совершенствованию существующей структуры управления ГУП «Лесопарковая зона Санкт-Петербурга», необходимо в законодательном порядке установить площади и границы лесопарковой зоны и отнести их к ведению либо г. Санкт-Петербурга, либо Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Еще в марте 2003 г. между правительствами Санкт-Петербурга и Ленинградской области достигнуто соглашение об уточнении границ между городом и областью, а 16 декабря 2003 г. его проект одобрен Законодательным собранием Санкт-Петербурга и утвержден Законодательным собранием Ленинградской области. Городу отходят 23 земельных участка общей площадью 324 га, области – 74 га. Соглашение коснулось части пригородных земель, окружающих город, на которых предполагается создать ГУП «Лесопарковая зона» с подчинением правительству Ленинградской области.

В подчинение ГУПа следует отдать территорию лесов, включающих полосу зеленых насаждений на границе города, на которых область обязуется не вести строительство, чтобы обеспечить горожан чистым воздухом. Все



Рис. 3. Схема финансирования деятельности парк-лесхоза: ← существующие; ← — отсутствующие связи

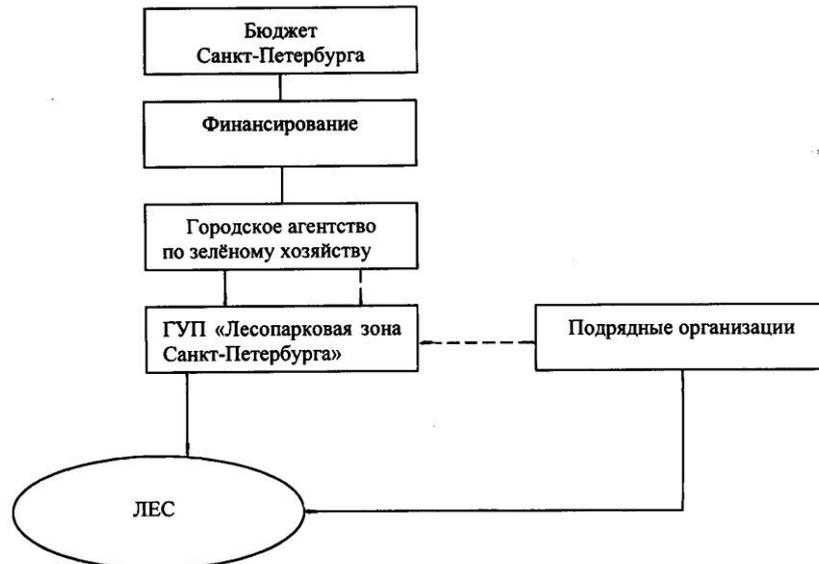


Рис. 4. Предлагаемая схема финансирования лесохозяйственной деятельности в лесах, находящихся в ведении С.-Петербурга: ← финансирование ГУП; ← — финансирование подрядных организаций

расходы по содержанию насаждений правительство Санкт-Петербурга берет на себя. На сегодняшний день общая площадь лесов ГУПа составляет 141,9 тыс. га. Предприятие состоит из четырех филиалов, расположенных в Ленинградской области.

Распределим площадь ГУП «Лесопарковая зона Санкт-Петербурга», часть которой относится к г. Санкт-Петербургу, а часть к Ленинградской области. Площадь головного предприятия составляет 36,6 тыс. га, филиалов (парк-лесхозов) – 105,3 тыс. га.

Федеральная служба по надзору в сфере природопользования будет осуществлять только надзор и контроль за деятельностью ГУПов, а Федеральное агентство совместно с Городским агентством по зеленому хозяйству через ГУПы самостоятельно вести работы, оказывать услуги или заключать договора подряда со сторонними фирмами или юридическими лицами. Штат и кадры предприятия остаются неизменными.

Изменение в структуре управления ГУПа повлечет за собой изменение и в системе финансирования (рис. 3). Предлагаемая схема представлена на рис. 4. В позиции «Лес» отражены площади головного предприятия (36,6 тыс. га) и земельного участка города (324 га). Существенным ее элементом является появление подрядных организаций, которые могут выполнять определенный круг работ и мероприятий. Некоторые функции, выполняемые ранее предприятием, в частности контроль и охрана, переходят в службу по надзору и зеленому хозяйству.

---

В заключение отметим, что отсутствие идеологии развития лесного хозяйства, при нехватке кадров и устаревших основных фондах, остаточном бюджетном финансировании любое реформирование не только не даст быстрого положительного эффекта, но может привести к значительному ослаблению или гибели современных парк-лесхозов как хозяйствующих субъектов.

Поступила 27.12.04

НИИГорлесэкол, г. Сочи

*A.A. Zubko*

**Economic Organization of Forest Management in Municipal Forests**

A new economic organization, management structure and funding of park-forestry are suggested, as well as mechanism of their improvement.

---

УДК 630\*652

**М.Д. Некрасов**

Некрасов Михаил Дмитриевич родился в 1929 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник Института экономики Карельского НЦ РАН, заслуженный работник культуры Карельской АССР. Имеет более 160 научных публикаций, свыше 200 научно-популярных статей в газетах.



### **ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ\***

Предложено попенную плату рассчитывать с учетом фактических затрат на воспроизводство леса и дифференциальной ренты, полученной при лесозаготовках. Наиболее приемлемой формой экономических отношений между владельцами леса и лесопользователями является аренда леса.

*Ключевые слова:* лесные ресурсы, попенная плата, экономическая оценка, дифференциальная рента, аренда лесов.

Особенностью хозяйственной деятельности лесной промышленности как отрасли, добывающей (заготавливающей) природный ресурс, является обязанность вносить плату на него, т. е. за лес, стоящий на корню, в виде попенной платы, таксы. Лесные таксы по своей экономической природе являются отпускной ценой на лес на корню, служат одним из элементов, образующих себестоимость и цену древесины. Размер таксы зависит от лесотаксационной зоны, расстояния вывозки леса от мест рубки до транзитного транспорта или пункта потребления, древесной породы с выделением деловой и дровяной древесины, запаса на 1 га площади, диаметра делового леса. Цена древесины на корню зависит также от рыночных цен на круглый лес (лесоматериалы).

Лесные ресурсы не являются товаром в полном смысле, их высокие потребительские свойства создаются в основном природой. Поэтому денежная оценка лесных ресурсов является рентой (абсолютная и дифференциальная). Рента есть сверхдоход, выявляемый на рынке лесоматериалов. Ее количественное выражение определяется разницей между рыночной ценой лесопродукции и нормативными издержками на ее производство, включая предпринимательскую прибыль, достаточную для поддержания деловой активности.

В себестоимости лесопродукции при заготовке древесины в Карелии доля попенной платы обычно невелика – всего 12 ... 15 %. Между тем в западных странах доля ее в затратах составляет 40 ... 50 % и более. Так, в США стоимость леса на корню в федеральном секторе достигает более 50, в

\* В порядке обсуждения.

отдельные годы – 80 % общей стоимости древесины с доставкой ее на лесопильные заводы. В лесных таксах ряда зарубежных стран учитывается дифференциальный доход. Поэтому в Швеции и Финляндии попенная плата примерно в 3-4 раза больше фактических расходов на лесное хозяйство. В Финляндии она достигает 60...80 % от оптовой цены древесины [8]. При этом платежи сильно различаются по районам в зависимости от удаленности рынков сбыта и пунктов реализации лесоматериалов. В Канаде, где доминирует общественная форма собственности на леса (94 %), сдаваемые в аренду лесопромышленным компаниям, уровень попенной платы невысок. Он устанавливается правительствами провинций и пересматривается каждые 3 мес, что позволяет не только учитывать цены на конечную продукцию, общехозяйственную конъюнктуру, но и избежать резких колебаний этой платы. Относительно невысокая попенная плата за пиловочник и другие сортименты древесины в Канаде отражает экономическую политику основного владельца – государства, которое таким образом повышает конкурентоспособность продукции отечественных лесопромышленных компаний на зарубежных рынках. Ставки попенной платы в Канаде колеблются от 0,25 до 7,20 долл. за 1 м<sup>3</sup> [2, 7]. В этой связи полезно напомнить, что в дореволюционной России доля попенной платы (корневой цены) в цене круглого леса и пиломатериалов составляла от 21 до 57 % [1]. Сейчас же в нашей стране, по данным федеральной лесной службы, средняя цена 1 м<sup>3</sup> растущего леса всего лишь около 15 центов, или примерно в сто раз меньше, чем на Западе.

Высокая доля платежей за лес в себестоимости и цене заготовленной древесины в развитых странах связана с интенсификацией лесного хозяйства: с широким применением искусственного возобновления и разведения лесов, созданием большой сети промышленных плантаций по выращиванию быстрорастущих пород для нужд целлюлозно-бумажной промышленности, потребностей экологии. Это объясняется также и тем, что в составе и изменениях корневых цен наряду с дифференциальной рентой все большую роль играют реальные издержки производства и предпринимательская прибыль.

В Карелии доля попенной платы в цене древесины не превышает 10 ... 13 % (оптимальная ставка лесных податей с учетом рентной надбавки за 1 м<sup>3</sup> деловой древесины в среднем 30 ... 45 р. (в ценах 2002 г.), а в Швеции только таксовая цена достигает 100 ... 120, в Финляндии 140 ... 160 р. за 1 м<sup>3</sup>). Таким образом, отдельные высказывания ряда лесопромышленников о завышении корневых цен на лес весьма спорны [5, 6]. Учитывая мировой опыт, можно сказать, что цены на лес на корню и в перспективе неизбежно станут расти, поскольку лес является возобновляемым природным ресурсом, на восстановление которого постоянно требуются значительные инвестиции. Лесные таксы следует формировать исходя из принципов и требований рационального использования, сбережения и расширенного воспроизводства лесных ресурсов, нужд экологии. При этом они неизбежно выступают как средство, экономически принуждающее лесозаготовителей и потребителей лесопроductии рационально и рентабельно работать, как эко-

номический регулятор процессов развития и размещения отраслей лесного комплекса [1]. На наш взгляд, целесообразно разработать и ввести в действие новые методические рекомендации по определению ставок платежей за лесные ресурсы с учетом фактических затрат денежных средств на их воспроизводство и получаемой дифференциальной ренты.

В рыночных условиях цены на древесину на корню следует устанавливать по каждой лесосеке отдельно. При аукционной продаже лесфонда государственную цену необходимо принимать в качестве начальной (минимальной). Полученный от продажи леса на корню лесной доход явится источником финансирования лесного хозяйства, отчислений в местный бюджет и федеральному органу управления лесами. Мобилизация и аккумуляция лесного дохода происходят на нижнем уровне, в лесничествах лесхозов. Поэтому необходим правовой статус лесничего и других работников аппарата управлений лесами. Целесообразно, чтобы часть средств от попенной платы и дифференциальной ренты направлялась в доход предприятия, осуществляющего охрану и защиту лесов, и расходовалась на изучение, воспроизводство и охрану лесных ресурсов.

Попенная плата должна быть оптимальной. При очень низких корневых ценах создаются условия для бесхозяйственного, нерационального отношения к лесам, его обесценивания, сокращения поступлений средств в бюджет и, как следствие, на проведение мероприятий по воспроизводству лесов. При слишком высоких корневых ценах повышается себестоимость лесопроизводства, в результате возрастают цены на лесное сырье и товары перерабатывающей промышленности, а также на продукцию потребляющих древесину отраслей экономики. Между тем не бесспорна традиция включения платежей за лесные ресурсы в себестоимость лесопроизводства. Включение их в состав себестоимости и затем перечисление в бюджет не стимулируют проведение мер по экономии затрат [4].

Нормативы платы за право пользования лесными ресурсами (лесной налог) являются одной из форм финансовых отношений между собственниками лесных ресурсов и лесозаготовителями и выражают право собственника на присвоение части дополнительного дохода, образующегося у лесопользователей лесных ресурсов лучшего качества. Дополнительный доход может быть определен на основе нормативов платы за право пользования, представляющих процентную ставку от балансовой прибыли.

Плату за лесопользование пока вносит лишь лесозаготовительная (лесная) отрасль. Между тем для многих других пользователей, например для водного хозяйства, транспорта, рыбной промышленности, охотничьего хозяйства, туризма, в лесном фонде выделяются значительные площади, на которых вводится ограничительный режим лесозаготовок, а лесное хозяйство обязано проводить комплекс мероприятий специального назначения. В запретных полосах вдоль рек и водоемов, защитных полосах вдоль дорог, курортных лесах, охотничьих заказниках оно несет дополнительные расходы, связанные с особым режимом ведения хозяйства. Однако никакой компенсации со стороны таких пользователей лесное хозяйство и местная ад-

министрация практически не получают. Лесопользователи же, получая их бесплатно, не стремятся разумно подходить к определению площади лесов специального назначения, организации рационального использования древесных запасов и других лесных ресурсов. И, как правило, низкий уровень интенсивности производства в лесах I группы обусловлен во многом бесплатностью пользования лесами.

В настоящее время в соответствии с Лесным кодексом РФ 40 % попенной платы (лесного дохода) поступает в федеральный бюджет, 60 % – в местный и республиканский. Этот порядок не оправдан ни с экономической, ни с организационной стороны, поскольку полностью отчуждает результаты лесохозяйственного производства от производителей леса, ставит их в зависимость от решений чиновников.

Критерием экономической оценки лесов служит дифференциальный доход, выступающий в качестве прибавочного продукта, создаваемого лесным хозяйством. Объективной основой платежей за лесные ресурсы являются прежде всего рентные отношения и отношения самоокупаемости предприятий и отраслей лесного комплекса в целом, в их взаимосвязи и взаимообусловленности. Ряд лесных предприятий (леспромхозы – акционерные общества) вследствие использования наиболее благоприятных природно-географических условий труда получают дополнительно прибавочный продукт. Очевидно, что эта часть прибыли, образующая дифференциальную ренту, должна исключаться из балансовой прибыли предприятий. В связи с этим необходимо разработать критерий определения размеров дифференциальной ренты, усовершенствовать способы ее изъятия. Дифференциальная рента как разница стоимости продукции, получаемой при использовании оцениваемого природного ресурса, и нормативного уровня затрат на ее производство, в рыночных условиях определяется в результате конкурентной борьбы за долю совокупной прибавочной стоимости между собственниками и предпринимателем отдельно для каждого региона (и даже предприятия).

Отсутствие действенного механизма расчета и изъятия дифференциальной ренты, включения ее в цену лесопродукции затрудняет экономическую оценку данного вида ресурса, определение его общественной роли. Игнорирование ренты не стимулирует влияния платежей за лесные ресурсы на эффективность производства. В то же время лесная рента сама по себе имеет тенденцию непрерывного роста, что связано с повсеместной интенсивностью лесопользования.

Государство до сих пор недостаточно выполняет одну из главных функций собственника лесов – извлечение лесной ренты, которая при больших запасах лесных ресурсов должна играть важнейшую роль в укреплении национальной политики. Рентные платежи пока не стали основным источником лесного дохода, а значительная часть лесной ренты присваивается лесопользователями и криминальными структурами [3].

Важным элементом рыночной экономики в лесопользовании является развитие экономических отношений между владельцами леса и лесополь-

зователями. При государственной собственности на леса наиболее приемлемой формой экономических отношений здесь служит аренда лесов. В качестве арендодателя выступают государство или, по его представлению, территориальные органы исполнительной власти. Арендаторы – государственные, акционерные, кооперативные, совместные и другие предприятия и организации. Объектами аренды являются участки лесного фонда для осуществления различных видов пользования. На наш взгляд, при обосновании выбора решений по срокам и размерам аренды следует исходить из максимальной экономической заинтересованности лесозаготовителей в полном, эффективном использовании лесных ресурсов, получении от лесозаготовки наибольшей выгоды, а также в расширении границ хозяйственной самостоятельности арендаторов. Арендная плата по своему размеру должна быть такой, чтобы обеспечивать затраты на проведение всех лесохозяйственных работ (лесовосстановление, охрана и защита леса и др.), а также уплату налога за земли лесного фонда.

В случае, когда арендатор ведет многоцелевое лесопользование на принципах постоянства и неистощительности, сроки аренды должны быть длительными (до 100 лет) или возобновляемыми при полном (либо частичном) истечении первоначально установленного периода. Это обеспечит арендатору гарантию возврата средств, вложенных им в лесное хозяйство (в виде доходов, полученных от рубки выращенного леса и реализации лесоматериалов) и капиталовложений в развитие лесопромышленной инфраструктуры. Если лесопользование носит избирательный характер, то сроки могут быть ограничены 20 ... 25 годами или менее. В этих случаях арендные отношения следует дополнить системой лицензирования лесопользователей.

В целях заинтересованности частных владельцев лесов (арендаторов) в воспроизводстве лесов необходимо предусмотреть соответствующее финансовое стимулирование, включая компенсацию потерь доходов и налоговые меры. В Финляндии, например, подоходный налог взимается не с реальных доходов, а с потенциальной продуктивности лесов, что настраивает владельцев на ее повышение. Здесь стимулирующими мерами роста заинтересованности частных лесовладельцев в управлении лесами являются также дотации, снижение налогов на лесохозяйственную деятельность, выделение компенсаций за экологические и социальные услуги в пользу общества и т. д. [8].

Одним из самых положительных факторов для инвестиций в лесное хозяйство является то, что они практически не подлежат влиянию инфляции. Следует обратить внимание и на то, что чем больше объем дерева, тем выше его ценность, тем больше оно приносит дохода. Если цены изменяются в сторону повышения, то инфляцию вообще можно игнорировать. В реальном выражении мировые цены на древесину имеют тенденцию к устойчивому росту [9].

Значительная часть прибавочного продукта, получаемого обществом, связана с использованием защитных и оздоровительных свойств лесов.

Роль лесов как зон отдыха нельзя считать менее важной лишь потому, что ее пока довольно сложно оценить непосредственно в денежном выражении. Положительный результат влияния лесов проявляется в смежных отраслях экономики (транспорт, сельское, водное и рыбное хозяйство, здравоохранение и др.). Благодаря благотворному влиянию лесов на состояние окружающей среды, труд в этих отраслях более производительен. Меньше труда приходится затрачивать на регулирование водного стока, защиту почв от водной, ветровой эрозии, снегозадержание. Но этот эффект в смежных отраслях отдельно не выделяется, хотя, конечно, влияет на объем валового и чистого продукта. При экономической оценке лесов средозащитный эффект необходимо учитывать, что важно при обосновании целесообразности изъятия лесных земель для нужд промышленности, транспорта, сельского хозяйства и т. д.

Таким образом, для осуществления рационального использования и расширенного воспроизводства лесов, их защиты и охраны плату за лес на корню, использование санитарно-гигиенической и рекреационной роли лесов, продукты побочного пользования (грибы, ягоды, лекарственные растения), пользование лесной площадью и др. обязаны вносить все лесопользователи. Лесные платежи необходимо регулярно пересматривать с учетом экономической (рыночной) конъюнктуры.

Дифференциальную ренту целесообразно включать в состав таксовых цен на лес на корню, рассчитывать их в зависимости от района расположения лесного фонда, обеспеченности его лесными ресурсами и спроса на конкретные сортименты. Попенную плату нужно определять в таких размерах, чтобы доходы от отпуска леса компенсировали затраты средств на весь цикл лесохозяйственных работ. Критерием платежей за лесные ресурсы должна служить эффективность их использования и воспроизводства. Совершенствование системы платежей за лесные ресурсы позволит повысить отчисления в бюджеты всех уровней, что благоприятно скажется и на социальной сфере.

Решение задач в лесной политике напрямую связано с законодательством. Необходимы конкретные законодательные акты, закрепляющие лесную политику в статусе государственной. В законодательстве должны быть представлены основные рычаги воздействия (включая финансовую и налоговую политику) на всех партнеров, связанных в лесом, на взаимоотношения государственного управления с частной инициативой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев, П.В.* Экономика использования и воспроизводства лесных ресурсов [Текст] / П.В. Васильев. – М., 1963. – 484 с.
2. *Воробьев, Г.И.* Лесное хозяйство мира [Текст] / Г.И. Воробьев, К.Д. Мухамедшин, Л.М. Девяткин. – М., 1984. – 352 с.
3. *Исаев, А.С.* Актуальные проблемы лесной политики России [Текст] / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин // Лесн. хоз-во. – 2001. – № 3. – С. 9–12.

4. *Лазарев, А.С.* Новые лесные таксы [Текст] / А.С. Лазарев // Лесн. пром-сть. – 1990. – № 2. – С. 11–12.
5. *Лескова, Н.* Лес рубят, деньги летят [Текст] / Н. Лескова // Труд. – 1997. – 27 сент.
6. *Некрасов, М.Д.* Платежи за лесные ресурсы [Текст] / М.Д. Некрасов // Лесн. хоз-во. – 1999. – № 1. – С. 34–35.
7. *Селицкая, Е.Н.* Ценовая политика за лесные ресурсы в условиях рынка [Текст] / Е.Н. Селицкая, Е.В. Мещерякова // Лесн. пром-сть. – 1999. – № 3. – С. 29–32.
8. *Суряля, П.* Лесное законодательство Финляндии [Текст] / П. Суряля // Северный курьер. – 1994. – 5 авг.
9. *Уиллиамс, М.Р.В.* Рациональное использование лесных ресурсов [Текст] / М.Р.В. Уиллиамс. – М., 1991.

Институт экономики  
Карельского НЦ РАН

*M.D. Nekrasov*

### **On Economic Assessment of Forest Resources**

It is proposed to estimate stumpage fee by taking into account actual expenses on forest reproduction and differential rent, received at harvesting operations. Forest rent is the most suitable form of economic relations between forest owners and forest users.

**МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ**

УДК 630\*43(07.07)

***А.В. Волокитина, М.А. Софронов, Т.М. Софронова***

Волокитина Александра Витальевна родилась в 1949 г., окончила в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, профессор кафедры лесоводства Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 200 печатных работ в области экологии пожаров растительности, классификации и картографирования растительных горючих материалов, влияния пожаров на бюджет углерода.



Софронов Марк Адрианович родился в 1930 г., окончил в 1953 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, профессор кафедры лесоводства Сибирского государственного технологического университета. Имеет 220 печатных работ в области природы пожаров растительности (в том числе лесных), борьбы с ними, влияния пожаров на бюджет углерода.



Софронова Татьяна Марковна родилась в 1980 г., окончила в 2002 г. Красноярский государственный педагогический университет, старший преподаватель КГПУ, аспирант кафедры лесоводства Сибирского государственного технологического университета. Имеет 21 печатную работу в области экологии природных пожаров и оценки пожарной опасности.

**ОБУЧАЮЩАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОВЕДЕНИЯ НИЗОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

Рассмотрена обучающая программа по прогнозу поведения лесных низовых пожаров на основе использования карты растительных горючих материалов, метеорологической информации и простой эмпирической модели распространения горения.

*Ключевые слова:* обучающая программа, лесной пожар, карты растительных горючих материалов, прогноз поведения пожара.

Прогноз поведения обнаруженного лесного пожара позволяет рассчитать оптимальные силы и средства для тушения, предусмотреть опасные тенденции и ситуации в его распространении и развитии (вероятность угрозы населенным пунктам или ценным объектам и т. д.), составить оптимальный план управления этим пожаром. Сценарии распространения пожара и его последствий на определенной площади при различных погодных условиях необходимы для выбора оптимальных времени и технологии целевых выжиганий. Поэтому в США и Канаде, например, уже существуют и совершенствуются системы для прогноза поведения лесных пожаров [4]. В России разрабатывается подобная система, учитывающая природные условия и особенности информационной базы. Предлагаемая в статье обучающая программа включает прогноз поведения низового пожара на период от момента его обнаружения до начала тушения.

**Теоретическая основа.** Эффективное прогнозирование поведения и последствий пожаров возможно на основе крупномасштабных карт растительных горючих материалов и метеорологической информации [1, 3]. В Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН разработаны простой метод и недорогая технология составления крупномасштабных карт растительных горючих материалов (РГМ). Идея метода заключается в максимальном использовании имеющейся лесоустроительной информации для составления карт, в том числе компьютерным способом [1]. Картографирование РГМ базируется на их классификации в виде деления на группы и типы [1]. К крупномасштабной карте РГМ прилагают пирологическое описание участков-выделов, пронумерованных на карте, в котором указывают преобладающие древесные породы, возраст, сомкнутость (полноту) древостоя, направление и крутизну склона. Для каждого выдела в зависимости от типа основного проводника горения (ОПГ), сомкнутости полога древостоя и фенологического периода обязательно отмечают критический класс засухи (лесопожарный класс засухи, при котором данный участок растительности достигает состояния готовности к горению).

Для прогноза распространения низового пожара выбрана наша модель как наиболее простая [3]. Прогнозирование идет в несколько этапов. Вначале оценивают состояние готовности к горению участков растительности вокруг очага пожара в зависимости от уровня засухи; затем – скорость распространения и интенсивность горения на этих участках в соответствии с метеопрогнозом, в процессе моделирования распространения контура пожара, при прогнозе которого учитывают не только негоримые участки, но и линейные преграды. После этого устанавливают интенсивность пожара на каждой части кромки. При планировании тушения определяют оптимальное число рабочих и техники в зависимости от длины периметра пожара, скорости его распространения и интенсивности горения. В процессе прогнозирования используют простые формулы и комплект таблиц, специальные табличные формы записи.

**Сценарий обучения.** 1. Получить у преподавателя исходную информацию: постоянную и оперативную (ниже дан ее перечень). 2. Опре-

делить период «свободного» распространения пожара (от момента обнаружения до начала тушения) и считать его расчетным периодом. 3. Составить карту текущей природной пожарной опасности на основе карты РГМ, пирологического описания к ней и метеорологической информации. 4. Нанести контур пожара с абриса на карту текущей природной пожарной опасности с указанием направления ветра. Обозначить на карте направление фронта, флангов, тыла пожара. 5. Рассчитать распространение низового пожара (за расчетный период) и нанести на карту его контур на конец расчетного периода. 6. Определить объем работ по тушению (с учетом длины периметра, скорости нарастания и интенсивности (силы) пожара). 7. Составить план тушения (с указанием тактических приемов и способов тушения). 8. Рассчитать варианты тушения при разном количестве сил и средств, выбрать оптимальный вариант на основе продолжительности тушения и площади оставшегося пожарища.

Исходная информация: А. Постоянные источники информации (таблицы): 1) пирологическая характеристика основных проводников горения (ОПГ); 2) коэффициенты относительного влияния основных факторов на скорость распространения кромки низового пожара; 3) коэффициенты влияния полноты древостоя на скорость ветра под пологом леса; 4) продолжительность тушения лесных пожаров и конечная площадь пожара в зависимости от его скорости, численности рабочих и количества бульдозеров. Б. Оперативная информация: 1) абрис контура пожара с привязкой к квартальной сети и другим ориентирам с указанием точного времени его составления; 2) крупномасштабная карта РГМ для района действия пожара (с приложением пирологического описания выделов); 3) метеорологические условия в день составления абриса: лесопожарный показатель засухи (В.Г. Нестерова или ПВ-1 ЛенНИИЛХа), направление и скорость ветра, относительная влажность воздуха; 4) метеорологический прогноз на завтра (или ближайшие три дня), желательно с прогнозом величины показателя.

При прогнозе поведения пожара желательно придерживаться следующего порядка работы.

1. *Определение периода свободного распространения пожара, ч.* Уточняют реальное время доставки на пожар сил и средств (с учетом времени на сбор команды, вида транспорта, скорости его движения и расстояния до пожара), берут разность между этим временем и временем обнаружения пожара. Контур пожара рассчитывают обычно на конец этого периода (на заданный час определенного дня).

2. *Составление карты текущей природной пожарной опасности на основе карты РГМ [1].* Вначале определяют класс засухи сегодняшнего дня по величине (в единицах) лесопожарного показателя засухи (В.Г. Нестерова или ПВ-1): I – до 300; II – 301 ... 1000; III – 1001 ... 3000; IV – 3001 ... 10 000; V – 10 001 ... 30 000; VI – более 30 000 единиц. Затем имеющуюся карту РГМ превращают в карту текущей природной пожарной опасности, которая показывает состояние готовности к горению участков вокруг пожара. Для этого класс засухи сегодняшнего дня сравнивают с критическими

классами засухи, которые указаны по каждому выделу в пирологическом описании. Если класс засухи меньше критического класса, то участок еще не может гореть; если больше критического, то он готов к горению; при равенстве текущего класса засухи с критическим состояние переходное. Выделы на карте РГМ раскрашивают или штрихуют в соответствии с этими тремя градациями: 1) готовые к горению; 2) не готовые к горению; 3) имеющие неопределенное (переходное) состояние. В результате получается карта текущей природной пожарной опасности. Неопределенность в оценке состояния выделов устраняют экспертным путем, используя профессиональный опыт и дополнительную информацию (анализ характера уже пройденных огнем участков и др.).

3. *Перенос контура пожара с абриса* на карту текущей природной пожарной опасности с указанием направления ветра (стрелкой). Для этого нужен абрис пожара с привязкой к квартальной сети и другим ориентирам с указанием точного времени его составления.

4. *Обозначение четырех направлений* (из центра пожара), по которым прогнозируется его распространение: фронтальное, совпадающее с направлением ветра, тыловое – в противоположном направлении, право- и левофланговые направления, перпендикулярные направлению ветра.

5. *Вероятную скорость распространения низового пожара* ( $V_{sf}$ ) и период распространения по выделам рассчитывают по формуле

$$V_{sf} = V_0 K_w K_r K_\phi,$$

где  $V_0$  – базовая («штилевая») скорость, м/мин (см. таблицу);

$K_w, K_r, K_\phi$  – коэффициенты относительного влияния факторов ветра ( $W$ , м/с), относительной влажности воздуха ( $r$ , %) и уклона ( $\phi$ , град).

**Базовая скорость распространения горения ( $V_0$ , м/мин)  
и поверхностная теплота сгорания слоя ( $Q_{сл}$ , МДж/м<sup>2</sup>)**

Лесопожар- ный пока- затель	Тип основного проводника горения на почве											
	лишайни- ковый		сухомши- стый		влажно- мшистый		рыхло- опадный		плотно- опадный		травяно- ветошный	
	$V_0$	$Q_{сл}$	$V_0$	$Q_{сл}$	$V_0$	$Q_{сл}$	$V_0$	$Q_{сл}$	$V_0$	$Q_{сл}$	$V_0$	$Q_{сл}$ *
засухи (ПВ-1)												
100	0,20	4,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
300	0,32	6,5	–	–	–	–	–	–	–	–	0,30	9,0
500	0,46	8,5	0,14	3,5	–	–	–	–	–	–	0,33	10,0
700	0,54	9,0	0,16	5,3	–	–	0,10	4,0	–	–	0,35	10,0
1000	0,60	9,5	0,19	10,0	0,15	2,3	0,20	7,5	0,20	3,0	0,38	10,0
2000	0,64	10,0	0,25	16,0	0,22	8,8	0,30	10,0	0,23	9,0	0,40	10,0
3000	0,64	10,0	0,27	20,0	0,27	12,0	0,40	11,0	0,26	12,0	0,40	10,0
4000	0,64	10,0	0,29	22,0	0,30	13,2	0,44	11,5	0,29	13,5	0,40	11,0
5000	0,64	10,0	0,30	24,0	0,33	14,4	0,50	12,0	0,32	15,0	0,40	11,0

\* Расчетные данные.

Коэффициенты ( $K_w$ ) относительного влияния ветра ( $W$ ):

$W$ , м/с	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	5,0
$K_w$	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1	2,6	3,2	4,0	5,0	6,0	7,0	10,0
$K'_w$	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8

Примечание.  $W$  – скорость ветра на высоте 2 м над напочвенным покровом;  $K_w$  – для фронта;  $K'_w$  – для тыла и флангов.

Коэффициенты ( $K_r$ ) влияния относительной влажности воздуха ( $r$ ):

$r$ , %	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$K_r$	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3

Коэффициенты ( $K_\phi$ ) относительного влияния уклона ( $\phi$ ):

$\phi$ , град	-40	-30	-20	-10	0	10	15	20	25	30	35	40
$K_\phi$	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	4,0	6,0	12,0

Примечание. Вверх по склону – углы положительные; вниз – отрицательные; поперек – нулевые.

Скорость ветра над покровом ( $W$ ) рассчитывают по формуле

$$W = W_m K_d,$$

где  $W_m$  – скорость ветра на метеостанции;

$K_d$  – коэффициент, учитывающий относительную полноту древостоя  $P$  (по Э.В. Коневу [2]):

$P$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$K_d$	0,77	0,70	0,60	0,48	0,38	0,30	0,23	0,16	0,11	0,07	0,05

6. Расчет по каждой тактической части пожара (или направлению) ведут до тех пор, пока период распространения (нарастающим итогом) не превысит расчетный период. Тогда по последнему выделу делают перерасчет, определяя расстояние, которое пройдет кромка до окончания расчетного периода, и отмечают данную точку на карте.

7. Учет особенностей распространения пожара. На пути распространения пожара в каждом направлении могут встречаться преграды в виде негоримых на данный момент выделов и барьеры в виде дорог, ручьев и рек. Если преграда (негоримый выдел) шире поперечника пожара, то распространение пожара в данном направлении прекращается. Если пожар шире преграды, он обходит преграду с одной или двух сторон.

8. Определение длины периметра пожара ( $P$ ). Через точки на карте, которые пожар должен достигнуть в расчетное время по каждому направлению, проводят прогнозируемый контур пожара, измеряют длину этого контура (с учетом масштаба) и умножают на коэффициент извилистости, равный в среднем 1,5.

9. Определение скорости увеличения кромки пожара. Скорость увеличения периметра пожара ( $\Delta P$ ) не зависит от площади пожара и определяется только скоростью распространения пожара. Обычно ее оценивают по скорости фронтальной кромки ( $V_{fr}$ ):

$V_{fr}$ , м/мин	25	40	70	120	200
$\Delta P$ , м/ч	200	300	400	700	1000

Для оценки  $\Delta P$  следует взять из формы расчета скорость кромки на фронтальном направлении в последнем выделе, т. е. ближе к концу расчетного времени.

10. *Прогнозирование интенсивности кромки пожара* ( $I_{sf}$ , кВт/м) необходимо для оценки силы пожара и определения возможных последствий. Интенсивность кромки находят по формуле

$$I_{sf} = 17 Q_{сл} V_{sf},$$

где  $Q_{сл}$  – поверхностная теплота сгорания слоя, МДж/м<sup>2</sup>;

$V_{sf}$  – расчетная скорость распространения кромки пожара, м/мин.

Значения  $Q_{сл}$  для основного проводника горения в соответствии с его типом, полнотой древостоя и величиной ЛПЗ берут из таблицы.

Влагосодержание достаточно развитого яруса кустарничков из черники, брусники или голубики 90 ... 120 %, запас 0,1 ... 0,2 кг/м<sup>2</sup> (в абс. сухом состоянии). Сгорание этих кустарничков в пламени основного проводника приводит к увеличению  $Q_{сл}$  на 0,5 ... 1,0 МДж/м<sup>2</sup>. В пределах пламенной кромки пожара успевает сгорать до 0,5 кг/м<sup>2</sup> опавших сухих сучьев и мелкого валежника; в результате  $Q_{сл}$  может возрасти на 3,0 ... 3,5 МДж/м<sup>2</sup>.

11. *Силу низовых пожаров* оценивают по прогнозируемой интенсивности кромки ( $I_{sf}$ ) для ее фронтальной части: слабый пожар – до 60, средней силы – 60 ... 600; сильный – более 600 кВт/м.

Предложенная программа опробована на занятиях со студентами лесохозяйственного факультета Сибирского государственного технологического университета. В настоящее время разрабатывается ее компьютерный вариант.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волокитина, А.В. Классификация и картографирование растительных горючих материалов [Текст] / А.В. Волокитина, М.А. Софронов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 314 с.
2. Конев, Э.В. Анализ процесса распространения лесных пожаров и палов [Текст] / Э.В. Конев // Теплофизика лесных пожаров. – Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1984. – С. 99–125.
3. Софронов, М.А. Пирологическое районирование в таежной зоне [Текст] / М.А. Софронов, А.В. Волокитина. – Новосибирск: Наука, 1990. – 204 с.
4. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System [Text] // Forestry Canada. Fire Danger Group: Science and Sustainable Development Directorate. Inf. Rep. ST-X. – Ottawa, 1992. – 63 p.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН  
Сибирский государственный  
технологический университет

Поступила 12.04.04

A.V. Volokitina, M.A. Sofronov, T.M. Sofronova

#### Teaching Programme for Predicting Behavior of Creeping Forest Fires

Teaching programme for predicting behavior of forest creeping fires is considered based on the use of map of vegetation combustible materials, meteorological information and simple empirical model of burning spread.



## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 658.26

*Э.И. Гермер*

Гермер Эмиль Исаакович родился в 1937 г., окончил в 1962 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор химических наук, директор по новой технике, технологии и науке Северо-Западной лесопромышленной компании. Имеет свыше 160 научных трудов в области химии и технологии варки целлюлозы, в настоящее время занимается технологией, химией и катализом новых и традиционных способов делигнификации древесины.

**ВОДА И ЭНЕРГИЯ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ,  
ТРЕБУЮЩИЕ НОРМИРОВАНИЯ\***

Обсуждается проблема необходимости нормирования расхода воды и электроэнергии, а также удельных сбросов загрязнений в ЦБП.

*Ключевые слова:* экологические характеристики, нормирование, вода, энергия.

В стадии согласования и утверждения в федеральных природоохранных ведомствах находится очень важный для целлюлозно-бумажной промышленности (и промышленности вообще) проект «Разработка и реализация системы технологического нормирования на основе наилучших существующих технологий для предприятий ЦБП России в свете стратегии устойчивого развития», выполнявшийся последние два года рядом институтов и организаций отрасли, а также системы РАН. Координатором проекта является РАО «Бумпром», генеральным подрядчиком – ЗАО «Гипробум», а СПб ОО «Экология и бизнес», как инициатор данного проекта, была утверждена основным его исполнителем.

Проект посвящен в основном проблемам экологического нормирования технологических процессов ЦБП, а его концептуальным стержнем является гармонизация российского подхода к экологическому нормированию технологических процессов ЦБП с европейским и вообще с мировым. В проекте реализуется принятый в странах ЕС принцип отраслевого нормирования с заменой действующего у нас сегодня «концентрационного подхода» (когда значения нормируемых показателей даны в виде их концентраций в сточных водах или газовых выбросах) на нор-

---

\* В порядке обсуждения.

мируемые показатели в виде удельных величин (кг или м<sup>3</sup>/т продукции), характерных для данного производства (целлюлоза, механическая масса, бумага и т.п.) данной отрасли при его соответствии современному техническому уровню (т.е. при его функционировании на основе использования достаточно высокой доли наилучших существующих технологий (НСТ)).

Кроме того, действующее сегодня у нас нормирование по явно избыточному числу преимущественно индивидуальных веществ предлагается заменить на небольшой ряд (например для сточных вод это 5-6 против 23) интегральных показателей, нормирование по которым, как показала многолетняя европейская практика, позволяет обеспечить высокий уровень защиты природы и населения от экологического давления со стороны промышленных предприятий (параллельно также осуществляется мониторинг (но не нормирование) вредных соединений, наиболее характерных для данного производства, а также учитывается адаптационная емкость конкретного водоприемника в отношении каждого из этих веществ). Для случая интегрированного предприятия (например для ЦБК) новая для России система нормирования учитывает не его характер в целом, а характер и производительность всех входящих в его состав основных производств (наличие на ЦБК производств беленой сульфатной целлюлозы, бумаги и/или картона разного назначения, ТММ и т.п.), а также наличие побочных производств.

Согласно проекту, показателями, принятыми при нормировании сточных вод, являются ХПК, БПК<sub>5</sub>, АОХ, общее количество взвешенных веществ, N<sub>общ</sub>, P<sub>общ</sub>, а для газовых выбросов – суммарная газообразная сера, NO<sub>x</sub>, пыль. Эти показатели используются для нормирования в ЦБП в странах ЕС и ряде других промышленно развитых стран.

Однако СПб ООО «Экология и бизнес», как основной разработчик новых нормативов, пошла несколько дальше своих зарубежных коллег, занимающихся аналогичными проблемами, приняв во внимание некоторые реалии российской действительности в ЦБП и дополнительно сделав нормируемыми показателями расход сточных вод, коррелирующий с расходом свежей воды, и энергии. Это решение нашло поддержку у группы исполнителей данного проекта, имеющей в своем составе не только руководителей РАО «Бумпром», ЗАО «Гипробума», ВНИИБа, представителя крупнейшей российской компании отрасли «Илим Палп Энтерпрайз», но и руководителей ведущих НИИ и природоохранных организаций Северо-Запада РФ. Необходимо отметить, что эти показатели уже относительно давно рассматриваются не только с позиций ресурсо- и энергопотребления (или энергосбережения), но и с экологических позиций, являясь той точкой, где эти две важнейшие проблемы пересекаются.

Хотя за рубежом также придают большое значение проблеме снижения расхода свежей воды и энергии (Reference Document on Best Techniques in the Pulp and Paper Industry, изданный Intgration Pollution Prevention and Control), по видимому, благодаря более высокой производственной и экологической культуре, сформировавшейся там за последние десятилетия, в странах ЕС и других промышленно развитых странах обсуждаемые показатели не нормируют, полагаясь только на стремление руководства каждого предприятия минимизировать свои производственные затраты и на природоохранные обязательства предприятий. Однако в списке НСТ, предлагаемых в этом европейском сборнике для каждого основного производства, имеется большое количество технологий, преимущественно направленных на сокращение расхода свежей воды и энергии. Расширенный перечень таких технологий приведен и в сборнике НСТ упомянутого выше российского проекта,

являющегося его первой частью. Чистая вода с усилением техногенного воздействия человека на природу становится все более ценным природным ресурсом, нуждающимся в охране, бережном отношении и контроле потребления. О нарастающем дефиците питьевой воды в странах и регионах планеты, в том числе еще недавно вполне благополучных в этом отношении, теперь общеизвестно. Вот почему регулирование потребления воды стало актуальнейшей природоохранной задачей. Проблема свежей воды остро стоит и в ряде промышленных регионов России, где расположено большинство предприятий ЦБП. Эта отрасль является одним из основных как потребителей, так и загрязнителей воды – на нее приходится свыше 20 % загрязненных сточных вод всей российской промышленности.

Удельные расходы свежей воды на отечественных предприятиях ЦБП, а соответственно, и количество сточных вод существенно выше, чем на средних европейских предприятиях того же профиля. Завышенные объемы расхода свежей воды в значительной степени обусловлены у нас невысокой культурой производства, недостаточным использованием оборотных вод и, к сожалению, безответственным отношением к природным ресурсам. Этому также весьма способствует существующая система нормирования загрязнений в сточных водах по их концентрации, вследствие чего на некоторых предприятиях проблему завышенного содержания отдельных компонентов в стоках решают разбавлением последних свежей водой перед сбросом в водоприемник, что существенно повышает как расход свежей воды, так и объем сточных вод.

Проиллюстрируем проблему количественными показателями.

При производстве целлюлозы на российских ЦБК удельное потребление свежей воды, а следовательно, и объем сточных вод (который обычно на 10 ... 15 % ниже) мало зависят от вида производства (сульфатное или сульфитное) и от того есть стадия отбелки или нет, поскольку величины этих показателей, к сожалению, усредняются за счет многих субъективных факторов, которые на нормально работающих зарубежных предприятиях отсутствуют или незначительны. Для российских ЦБК можно только отметить, что лучшие из них работают с удельным расходом свежей воды примерно 100 ... 150 м<sup>3</sup>/т воздушно-сухой целлюлозы (далее в. с. ц.), а худшие – 200 ... 300 м<sup>3</sup>/т. В то же время, по данным ИРПС, среднегодовой удельный объем сточных вод после биологической очистки для средних и крупных европейских предприятий, производящих беленую сульфатную целлюлозу, еще в конце 90-х годов прошлого века находился в интервале 15 ... 70 м<sup>3</sup>/т в. с. ц., составляя в среднем 48 м<sup>3</sup>/т, и при среднем уровне использования НСТ не должен превышать 30 ... 50 м<sup>3</sup>/т в. с. ц. В обсуждаемом российском проекте в качестве норматива при производстве белой сульфатной целлюлозы принята величина 50 м<sup>3</sup>/т в. с. ц., которая соответствует верхней границе, допустимой для среднего по техническому уровню аналогичного европейского предприятия. С учетом упомянутого выше превышения расхода свежей воды над количеством сточных вод, его величину можно считать соответствующей нормативному сбросу стоков, если она составит около 55 ... 57 м<sup>3</sup>/т в. с. ц.

Аналогичный подход – ориентирование на верхнюю границу интервала, которому соответствуют средние по уровню европейские предприятия ЦБП, – осуществлялся при нормировании расхода свежей воды, энергии, а также других нормируемых экологических показателей сбросов и выбросов. Нормативные значения объема сточных вод при производстве других основных видов продукции ЦБП, принятые в проекте, выглядят следующим образом: для сульфитной небеленой и белой целлюлозы – соответственно 70 и 65 м<sup>3</sup>/т в. с. ц., для древесной массы и

ТММ – 20 м<sup>3</sup>/т в. с. в., ХТММ – 30 м<sup>3</sup>/т в. с. в., для макулатурной массы, механически очищенной и облагороженной (с удалением печатной краски), – соответственно 6 и 15 м<sup>3</sup>/т абс. сухой массы. Для производства бумаги и картона в нормах имеется достаточно детальное разделение по отдельным видам продукции с учетом ее весьма широкой номенклатуры. Несколько обобщенно и для самых основных видов данной продукции эти значения выглядят следующим образом: для газетной, писчебумажной, обойной бумаги – 12 ... 15 м<sup>3</sup>/т; для печатной легко мелованной, а также для санитарно-гигиенической бумаги – 20 м<sup>3</sup>/т; для мешочной бумаги, бумаги для гофрирования – 8 м<sup>3</sup>/т в. с. ц.; для картона – 6 ... 12 м<sup>3</sup>/т, где верхняя граница интервала относится к мелованному коробочному картону. Эти данные показывают, что российским предприятиям необходимо еще серьезно и много работать в плане сбережения такого ресурса, как вода. В частности, сегодня на производство большинства видов бумаги у нас расходуется примерно 25 ... 40 м<sup>3</sup>/т, а иногда и более.

В последние десятилетия потребление энергии, напрямую сопряженное с ее производством, также стало одной из важных экологических характеристик, поскольку выработка энергии приводит к выбросу в атмосферу миллионов тонн углекислого газа, диоксида серы, оксидов азота и других вредных соединений, если энергия производится из ископаемых топлив и продуктов их переработки или с рядом серьезнейших и практически пока неразрешимых проблем, как в случае использования для выработки электричества и тепла атомной энергии. Исключением, как известно, является лишь использование в качестве топлива древесины, поскольку в данном случае выделяемое при ее сжигании количество диоксида углерода соответствует его количеству, потребляемому из атмосферы при росте деревьев. Однако доля биоресурсов в общем производстве энергии для промышленности еще весьма и весьма невелика. Таким образом, необходимость сбережения энергии с экономической точки зрения, крайне обострившаяся в последние годы, полностью согласуется с требованиями экологии. Поэтому для усиления работы предприятий российской ЦБП в направлении энергосбережения, кроме экономического стимула, связанного с высокой стоимостью топлива, значительную роль должно сыграть нормирование расхода энергии. Тем более, что, несмотря на экономические стимулы, в этом вопросе в российской ЦБП далеко не все в порядке. В частности, по данным Шведского агентства по защите окружающей среды завод небеленой сульфатной целлюлозы мощностью 250 тыс. т/год при эффективной его работе на основе НСТ позволяет получать около 5,5 ГДж/т в. с. ц. тепловой и около 160 кВт · ч/т в. с. ц. электрической избыточной энергии, что составляет соответственно около 40 и 30 % энергии, расходуемой на основное производство; производство беленой сульфатной целлюлозы в состоянии полностью обеспечить себя электроэнергией (без избытка) и выработать около 4,7 ГДж/т в. с. ц. избыточной тепловой энергии. К сожалению, в России не существует ни одного сульфат-целлюлозного производства, которое пусть хотя бы без избытка, но полностью обеспечивало бы себя тепловой и электрической энергией.

На большинстве российских предприятий ЦБП удельные расходы энергии сегодня еще заметно выше, чем на аналогичных зарубежных. Как и при нормировании других показателей, в проекте при разработке нормативного значения расхода энергии за основу были приняты, главным образом, результаты работы средних европейских предприятий соответствующего профиля и рекомендации экологических международных организаций.

Ниже приведены удельные (на 1 т продукции) значения расхода тепловой и электрической энергии при производстве: сульфатной небеленой и беленой целлю-

лозы – соответственно 13,5 и 14,5 ГДж, 520 и 800 кВт · ч; сульфитной беленой и небеленой целлюлозы – соответственно 17,2 и 18,0 ГДж/т, 650 и 800 кВт · ч; механических масс – 5,8 ГДж (без учета рекуперированной энергии), соответственно 1500 кВт · ч – ДДМ и ДЦМД, 1800 и 2400 кВт · ч – для ТММ, ХТММ и БХТММ (большее значение относится к степени помола массы выше 40 °ШР); макулатурной массы – 1,0 ГДж, 250 и 500 кВт · ч – соответственно для механически очищенной и при удалении печатной краски. При производстве бумаги и картона удельный расход тепловой энергии колеблется в зависимости от вида продукции в интервале 6,5 ... 9,0 ГДж, где верхняя граница относится к производству крафт-лайнера и мелованного картона, а удельный расход электрической энергии – от 550 ... 650 до 800 ... 850 кВт · ч (большее значение для легко мелованной, а также мешочной бумаги).

С учетом реальной обстановки в отрасли предполагается, что предприятия будут снижать потребление свежей воды и энергии по мере внедрения соответствующих НСТ в течение ряда лет в зависимости от их производственных и экономических показателей и возможностей.

СПБ ОО «Экология и бизнес»  
Поступила 21.01.05

*E.I. Hermer*

### **Water and Energy as Ecological Characteristics of Production Processes Requiring Norm-setting**

The problem of need for rationing water flow and electric power consumption and rate of pollution discharge in pulp-and-paper industry is discussed.

---

УДК 624.011.1:620.17

*Б.В. Лабудин, Р.П. Матвеев, Р.С. Санжаровский***КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ СЖАТО-ИЗОГНУТЫХ СТЕРЖНЕЙ, УСИЛЕННЫХ ТИТАНОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ\***

На основании теоремы Лагранжа–Дирихле определено критическое состояние сжато-изогнутого стержня, усиленного титановыми элементами.

*Ключевые слова:* внецентренное сжатие, титановые элементы, прочность и устойчивость стержней, критерии устойчивости.

Цель статьи – разработать методику определения критического состояния композитного стрижня, усиленного титановым элементом в виде трубчатого элемента (оболочки), при полном исчерпании его несущей способности. При этом использованы следующие допущения: справедлива гипотеза Бернулли–Кирхгофа – приближенное выражение кривизны изогнутой оси описывают зависимостью типа  $y \neq f(x)$ ; применяют известную диаграмму материалов  $\sigma$ – $\varepsilon$ ; считают, что силы инерции при статическом нагружении пренебрежимо малы.

Деформирование материала композитного стрижня рассматривают с учетом как линейной, так и нелинейной ползучести [1].

В качестве критерия потери устойчивости введем общеизвестное условие равенства вариаций моментов внешних и внутренних сил:

$$\delta M = \delta M_{\text{вн}}; \quad \delta P_{\text{вн}} = 0, \quad (1)$$

где  $M$  – момент внешних сил относительно центра вращения;

$M_{\text{вн}}, P_{\text{вн}}$  – главные момент и вектор эпюры нормальных напряжений в наиболее нагруженном сечении стержня (из известных соотношений внутренних усилий [3]).

Можно показать, что условие (1) в соответствии с теоремой Лагранжа–Дирихле описывает как устойчивое, так и неустойчивое равновесие системы. При этом в устойчивом состоянии она имеет минимум потенциальной энергии:

$$\mathcal{E} = U + V = U - W, \quad (2)$$

где  $U$  – потенциальная энергия деформированного изогнутого стержня;

$V$  – изменение потенциала внешней нагрузки;

$W$  – работа внешних сил при искривлении стержня.

В соответствии с вышеуказанной теоремой для устойчивого состояния справедливо выражение

$$\delta \mathcal{E} = \delta U - \delta W > 0, \quad (3)$$

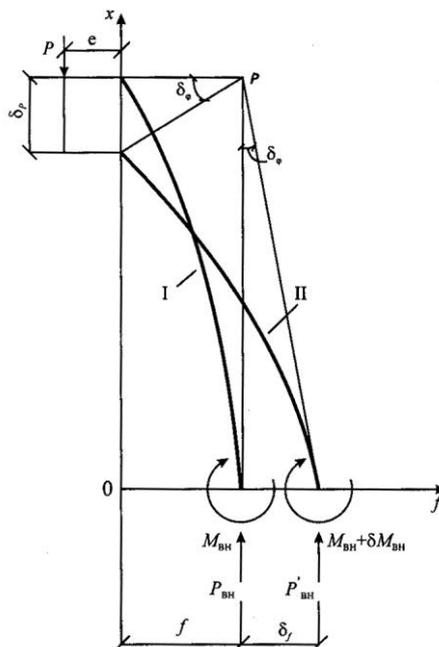
в неустойчивом состоянии равновесия

$$\delta \mathcal{E} = \delta U - \delta W < 0. \quad (4)$$

Тогда критерий потери устойчивости

$$\delta \mathcal{E} = 0; \quad \delta U = \delta W. \quad (5)$$

Принимая вышеприведенные гипотезы и допущения, заменяем систему с бесконечным числом степеней свободы системой с одной степенью свободы.



\* Продолжение работы [3].

Рассмотрим часть стержня, отделенного наиболее нагруженным сечением или расположенного в зоне «усиления». Стержень может находиться в двух положениях: невозмущенное – I, возмущенное – II (рис. 1).

Переход стержня из положения I в положение II рассматривают как поворот на угол  $\delta\varphi$  вокруг мгновенного центра вращения  $p$ . При этом перемещении работа внешних сил

Рис. 1. Схема перехода стержня из невозмущенного состояния (I) в возмущенное (II)

$$\delta W = M\delta\varphi = P(e + f)\delta\varphi, \quad (6)$$

где  $e$  – эксцентриситет.

Работа внутренних сил является приращением этих сил:

$$\delta U = \int_0^{\delta\varphi} M_{\text{вн}}^* \delta\varphi = M_{\text{вн}} \delta\varphi + \frac{1}{2} \delta M_{\text{вн}} \delta\varphi - \frac{1}{2} P_{\text{вн}} \delta f \delta\varphi, \quad (7)$$

где  $M_{\text{вн}}^*$  – внутренний момент с учетом вращения.

С учетом условий равновесия вышеприведенные уравнения можно представить следующим образом:

$$\delta M_{\text{вн}} = P\delta f, \quad (8)$$

где  $f$  – отклонение стержня от продольной оси.

В правой части формулы (8) приведена величина, равная вариации момента внешних сил, преобразование которой позволит определить условие потери устойчивости стержня из (1):

$$\delta M = \delta M_{\text{вн}}; \quad \delta P_{\text{вн}} = 0. \quad (9)$$

Учитывая, что  $M_{\text{вн}}$  и  $P_{\text{вн}}$  являются функциями параметров, после подстановки получаем [5]:

$$P\delta f = \frac{\delta M_{\text{вн}}}{\delta\beta} \delta\beta + \frac{\delta M_{\text{вн}}}{\delta\varphi} \delta\varphi + \frac{\delta M_{\text{вн}}}{\delta\varphi_1} \delta\varphi_1 + \frac{\delta M_{\text{вн}}}{\delta\theta} \delta\theta + \frac{\delta M_{\text{вн}}}{\delta\theta_1} \delta\theta_1; \quad (10)$$

$$\frac{\delta P_{\text{вн}}}{\delta\beta} \delta\beta + \frac{\delta P_{\text{вн}}}{\delta\varphi} \delta\varphi + \frac{\delta P_{\text{вн}}}{\delta\varphi_1} \delta\varphi_1 + \frac{\delta P_{\text{вн}}}{\delta\theta} \delta\theta + \frac{\delta P_{\text{вн}}}{\delta\theta_1} \delta\theta_1 = 0.$$

Обозначения к формулам (10) приведены в работе [3].

Из условия совместности деформаций можно получить уравнения связи:

$$\begin{aligned} \Phi_1(\beta, \varphi, \varphi_1, \Theta, \Theta_1) &= 0; \\ \Phi_2(\beta, \varphi, \varphi_1, \Theta, \Theta_1) &= 0; \\ \Phi_3(\beta, \varphi, \varphi_1, \Theta, \Theta_1) &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Выполнив дифференцирование (7), найдем прогиб  $f$  и его вариации  $\delta f$ :

$$f = f(\beta, \varphi); \quad \delta f = \frac{\partial f}{\partial\beta} \delta\beta + \frac{\partial f}{\partial\varphi} \delta\varphi. \quad (12)$$

Однородная система уравнений (10)–(12) имеет нетривиальное решение, если определитель, составленный из коэффициентов при вариациях, равен нулю.

Следовательно, равенство нулю определителя пятого порядка и является условием потери устойчивости:

$$\begin{vmatrix} \left( \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial \beta} - P \frac{\partial f}{\partial \beta} \right) & \left( \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial \varphi} - P \frac{\partial f}{\partial \varphi} \right) & \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial \theta} & \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial \beta} & \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial \varphi} & \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial \theta} & \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial \beta} & \frac{\partial \Phi_1}{\partial \varphi} & \frac{\partial \Phi_1}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial \Phi_1}{\partial \theta} & \frac{\partial \Phi_1}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial \Phi_2}{\partial \beta} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial \varphi} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial \theta} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial \Phi_3}{\partial \beta} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial \theta} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial \theta_1} \end{vmatrix} = 0. \quad (13)$$

Отсюда получим уравнение, связывающее переменные в критическом состоянии стержня:

$$\Phi = \Phi (\beta, \varphi, \varphi_1, \theta, \theta_1) = 0. \quad (14)$$

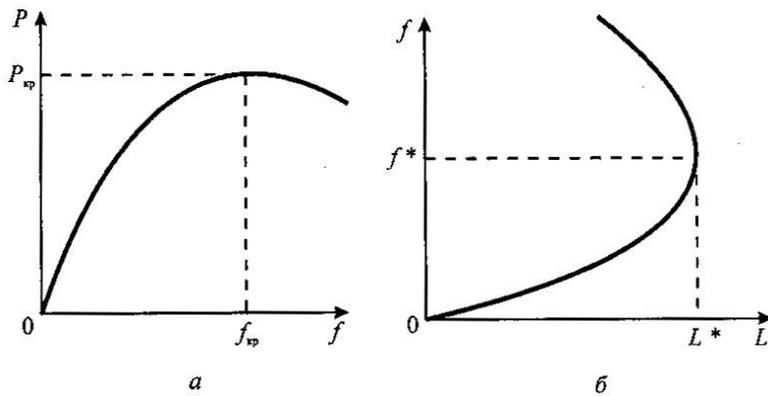


Рис. 2. Потеря устойчивости внецентренно сжатого стержня под нагрузкой: *a* – зависимость прогиб–нагрузка; *б* – критическая длина стержня  $L^*$

Уравнение критического состояния можно получить также с помощью неопределенных множителей Лагранжа. При этом учитывается аналитическая зависимость прогиб–нагрузка внецентренно-сжатого стержня в упругопластической стадии (рис. 2, *a*). Тогда критерий потери устойчивости при фиксированной длине и эксцентриситете

$$dP / df = 0. \quad (15)$$

Можно зафиксировать любую эпюру напряжений в среднем сечении, тогда из условия равновесия будем иметь уравнение  $L(f) = 0$ . Критической будет наибольшая длина  $L$ , соответствующая данному напряженному состоянию (рис. 2, *б*), т. е.:

$$dL / df = 0. \quad (16)$$

Если  $f$  – функция параметров  $\varphi, \varphi_1, \beta, \Theta, \Theta_1$ , связанных уравнениями связи, то для нахождения критического состояния необходимо отыскать условный экстремум функции  $L(\beta, \varphi, \varphi_1, \Theta, \Theta_1)$  с помощью неопределенных множителей Лагранжа.

В случае кратковременного нагружения критерий потери устойчивости, определенный по (9), (15), (16), будет иметь одинаковое значение. Это можно показать на примере [5], когда  $M_{\text{вн}}$  и  $P_{\text{вн}}$  являются функциями двух и более параметров.

Из условий равновесия

$$M_{\text{вн}}(a, c) = P(e + f); \quad (17)$$

$$P = P_{\text{вн}}(a, c), \quad (18)$$

где  $a$  – глубина зоны развития пластических деформаций;

$c$  – глубина упругой зоны.

С помощью (15) запишем уравнение критического состояния через функцию Лагранжа:

$$\Phi = P_{\text{вн}} + \lambda (P_{\text{вн}} e + P_{\text{вн}} f - M_{\text{вн}}), \quad (19)$$

где в качестве дополнительного параметра условия связи использовано (13).

Условие критического состояния:

$$\partial\Phi = \partial a; \quad \partial\Phi / \partial c = 0, \quad (20)$$

что позволяет записать (15) в следующем виде:

$$\frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial a} + \lambda \left[ \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial a} (e + f) + P_{\text{вн}} \frac{\partial f}{\partial a} - \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial a} \right] = 0; \quad (21)$$

$$\frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial c} + \lambda \left[ \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial c} e + \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial c} f + P_{\text{вн}} \frac{\partial f}{\partial c} - \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial c} \right] = 0. \quad (22)$$

Исключая неопределенный множитель  $\lambda$  и учитывая, что прогиб  $f = L^2 \sigma_{T_i} / \pi^2 E c$ , получаем

$$\frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial c} + P_{\text{вн}} \frac{L^2 \sigma_{T_i}}{\pi^2 E c} - \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial a} \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial c} \Big/ \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial a} = 0. \quad (23)$$

Далее уравнение критического состояния определяем с помощью критерия (16) и находим длину стержня:

$$L = \pi \sqrt{\frac{Ec}{\sigma_{T_i}} \left( \frac{M_{\text{вн}}(a, c)}{P} - e \right)}. \quad (24)$$

Составляем функцию Лагранжа:

$$\Phi = \left( \frac{M_{\text{вн}}}{P} - e \right) c + \lambda (P - P_{\text{вн}}), \quad (25)$$

где в качестве дополнительного условия используем выражение (18).

Тогда условия экстремума этой функции дают

$$\frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial c} \frac{1}{P} + \left( \frac{M_{\text{вн}}}{P} - e \right) + \lambda \left( - \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial c} \right) = 0; \quad (26)$$

$$\frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial c} \frac{1}{P} c + \lambda \left( -\frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial c} \right) = 0. \quad (27)$$

Исключая неопределенный множитель Лагранжа и учитывая зависимость

$$\frac{1}{c} (M_{\text{вн}} - Pe) = \frac{1}{c^2} P \frac{L\sigma_{T_i}}{\pi^2 E}, \quad (28)$$

получаем уравнение (23).

Уравнение критического состояния определяем с помощью критерия (9):

$$P \frac{\partial f}{\partial c} \delta c = \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial a} \delta a + \frac{\partial M_{\text{вн}}}{\partial c} \delta c; \quad (29)$$

$$\frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial a} \delta a = \frac{\partial P_{\text{вн}}}{\partial c} \delta c = 0. \quad (30)$$

Принимая определитель системы уравнений (19) равным нулю и учитывая, что  $f = L^2 \sigma_{T_i} / \pi^2 E c$ , снова получаем выражение (23).

Таким образом, в случае кратковременного статического нагружения критерии (9), (15), (16) дают тождественные результаты. При этом запись критерия потери устойчивости в виде (9) соответствует классической механике. Кроме того, критерий потери устойчивости при длительном нагружении также записывается в виде (9).

Для расчетов все необходимые физико-механические характеристики композитных материалов и титана можно получить опытным путем или воспользоваться литературными данными [2, 4, 6]. Выполненные лабораторные испытания показали, что результаты эксперимента отличаются от справочных незначительно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аратюнян, Н.Х. Теория ползучести неоднородных тел [Текст] / Н.Х. Аратюнян, В.Б. Колмановский. – М., 1983. – 336 с.
2. Крюков, В.Н. Механика и морфология переломов [Текст] / В.Н. Крюков. – М.: Медицина, 1986. – 160 с.
3. Лабудин, Б.В. Устойчивость сжато-изогнутых стержней, усиленных титановыми элементами [Текст] / Б.В. Лабудин, Р.П. Матвеев, Р.С. Санжаровский // Лесн. журн. – 2006. – № 3. – С. 145 – 150. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Подрушняк, Е.П. Методы исследования костной системы / Е.П. Подрушняк, Е.Н. Суслов. – Киев: «Здоров'я», 1975. – 112 с.
5. Санжаровский, Р.С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести [Текст] / Р.С. Санжаровский. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 280 с.
6. Справочник конструктора-машиностроителя Т. 1 [Текст] / Под ред. В.И. Анурьева. – М.: Машиностроение, 1982. – 650 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Северный государственный  
медицинский университет

С.-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

---

*B.V. Labudin, R.P. Matveev, R.S. Sanzharovsky*

**Criteria of Compressed-bent Bars Sustainability Reinforced by Titanic Elements**

The critical state of compressed-bent bar reinforced by titanic elements is determined based on Lagrange-Dirihle theorem.

