

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

Заместители главного редактора:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

Ответственный секретарь **Р.В. Белякова**

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 2 – 3

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

Сдан в набор 12.04.99. Подписан в печать 21.06.99.
Форм. бум. 70x108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 20,97. Усл. кр.-отт. 20,97.
Уч.-изд. л. 25,46. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

Адрес редакции: 163007, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел. (818-2) 44-13-37

Типография Архангельского государственного технического университета
163007, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Материалы, посвященные 70-летию
Архангельского государственного технического университета

The Materials Dedicated
to the 70 th Anniversary of the Arkhangelsk State Engineering University

Основан в 1833 г.

Издается в серии ИВУЗ с 1958 г.

Выходит 6 раз в год

2 – 3

1999

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОДЕРЖАНИЕ

<i>О.М. Соколов, Е.С. Романов. Северная цитадель высшего образования и науки: 70 лет АЛТИ – АГТУ</i>	<i>7</i>
--	----------

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>И.И. Гусев. Формирование таежных ельников выборочного хозяйства</i>	<i>11</i>
<i>О.А. Неволин, О.О. Еремина. Условия возникновения и произрастания высокопродуктивных сосновых лесов на Европейском Севере России</i>	<i>18</i>
<i>Л.Ф. Ипатов. Рост опытных культур С.В. Алексеева, созданных посадкой и посевом</i>	<i>24</i>
<i>Н.А. Бабич, Г.И. Травникова, Н.П. Гаевский. Структура и запасы надземной фитомассы сосняка черничного искусственного происхождения</i>	<i>29</i>
<i>Л.Е. Астрологова. Влияние экологических факторов среды на плодоношение черники</i>	<i>35</i>
<i>П.М. Малаховец, В.А. Тисова. Плодоношение интродуцентов в условиях Севера</i>	<i>40</i>
<i>В.Ф. Цветков. Лесоводственные аспекты оздоровления окружающей среды в районах азротехногенного загрязнения на Кольском полуострове</i>	<i>46</i>
<i>А.В. Лебедев. Патология деревьев ели при различной рекреационной нагрузке.</i>	<i>52</i>

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>В.Я. Харитонов, П.Н. Гагарин, А.Н. Вихарев, И.И. Долгова. Лесосплавные транспортные единицы регулируемых габаритов</i>	<i>58</i>
<i>А.А. Митрофанов. Оценка надежности включения в работу складных якорей и анкерov.....</i>	<i>64</i>
<i>А.П. Елисеев, В. И. Жабин, В. В. Казанцев. Оценка состояния деревянных шпал промышленных железных дорог.....</i>	<i>68</i>
<i>Ф.А. Павлов, Е.А. Михина. Методика определения размеров необлесенных площадей при сплошных рубках леса</i>	<i>73</i>
<i>В.С. Морозов. Основные предпосылки расчета толщины многослойного основания из мерзлого торфа</i>	<i>77</i>
<i>А.М. Кулижников, А.В. Уемлянин. Математическое моделирование поверхностей рельефа</i>	<i>83</i>
<i>С.И. Морозов, В.П. Стуков. Развитие транспортной сети региона на базе лесовозных дорог.....</i>	<i>90</i>
<i>Н.П. Коваленко, В.Р. Ивко. О противofильтрационных экранах из торфа ...</i>	<i>94</i>

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Т.П. Стукова. К вопросу исследования динамики деревообрабатывающих машин</i>	<i>100</i>
<i>Г.Ф. Прокофьев, С.В. Еришов. К вопросу ограничения скорости резания ленточнопильных станков</i>	<i>109</i>
<i>В.Г. Турушев, Ю.А. Варфоломеев, Н.А. Курбатова, А.А. Щеголев. Природоохранный экономический эффект от снижения токсичности выбросов в атмосферу при антисептировании древесины</i>	<i>116</i>
<i>В.И. Мелехов, В.Л. Подольская. О процессах деформации и деструкции древесины при сжатии поперек волокон.....</i>	<i>119</i>

<i>А.Е. Алексеев.</i> К определению продуктивной зоны бревна при выработке пилопродукции	124
<i>В.В. Дунаева, В.Ф. Дунаев.</i> Прогнозирование механических свойств пиломатериалов	127
<i>Л.В. Орленко, Е.О. Орленко.</i> Анализ напряженного состояния древесины при резании.....	132
<i>Е.Б. Рюмина, Г.Б. Успенская.</i> К выходу элементов деревянных конструкций из пиломатериалов по ГОСТ 8486–86Е	138

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Р.С. Шевченко, Н.И. Богданович, Л.Н. Кузнецова, Г.В. Добеле.</i> Формирование сорбционных и магнитных свойств ферромагнитных адсорбентов при пиролизе отходов переработки древесины в присутствии гидроксида железа (III).....	142
<i>И.Б. Филиппов, В.И. Комаров.</i> Влияние некоторых параметров работы БДМ и суперкаландра на деформативность и прочность бумаги для офсетного способа печати	150
<i>О.М. Соколов, М.Н. Васильев, Д.Г. Чухчин.</i> Исследование изменения состава древесины при обработке низкоэнтальпийной электронно-пучковой плазмой.....	167
<i>Н.В. Коряковская.</i> Разработка моделей-эталонов структурной неоднородности бумажного полотна	175
<i>Е.В. Новожилов.</i> Оценка биоресурса сульфитных щелоков как сырья для производства кормовых дрожжей	179
<i>К.Г. Боголицын, О.В. Богданчикова, В.А. Фокина, В.С. Кузнецов, Л.Ф. Мешеркина, М.В. Лифшиц.</i> Эколого-аналитическая оценка техногенного воздействия на состояние водной среды (дельта р. Северная Двина)	189
<i>Е.Д. Гельфанд.</i> Подавление пенообразования в производстве кормовых дрожжей	198

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

<i>Е.С. Романов.</i> Формирование новых экономических отношений между добывающей и обрабатывающими отраслями лесопромышленного комплекса в условиях вхождения в рыночную экономику	202
<i>К.Ю. Тимошенко, А.В. Пластинин.</i> О критериях платежеспособности предприятий в отраслях лесопромышленного комплекса Архангельской области	209

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

<i>Э.Н. Сабуров, С.В. Карпов, Н.В. Смолина.</i> Теплоотдача на боковой поверхности рабочего объема циклонных камер с двухсторонним торцевым выводом газов.....	216
--	-----

CONTENTS

<i>O.M. Sokolov, E.S. Romanov.</i> Northern Citadel of Higher Education and Science: 70 th Anniversary of Arkhangelsk Forest Engineering Institute – Arkhangelsk State Engineering University.....	7
--	---

FORESTRY

<i>I. I. Gusev.</i> Formation of Boreal Spruce Stands of Selective Forestry System	11
<i>O.A. Nevolin, O.O. Eremina.</i> Conditions of Emergence and Growth of Highly- Productive Pine Stands in the European North	18
<i>L.F. Ipatov.</i> Growth of Forest Trial of S.V. Alekseyev Formed by Planting and Sowing	24
<i>N.A. Babich, G.I. Travnikova, N.P. Gaevsky.</i> Structure and Stocks of Epiterranean Phytomass of Blueberry Pine Stand of Artificial Origin	29
<i>L.E. Astrologova.</i> Influence of Ecological Factors of the Environment on Blueberry Fruitage.....	35
<i>P.M. Malakhovets, V.A. Tisova.</i> Fruitage of Introduced Plants in Conditions of the North.....	40
<i>V.F. Tsvetkov.</i> Forestry Aspects of Environment Sanitation in the Area of Airotechnogenic Contamination on the Kola Peninsula	46
<i>A.V. Lebedev.</i> Pathology of Spruce Trees under Various Recreational Load	52

WOODEXPLOITATION

<i>V.Ya. Kharitonov, P.N. Gagarin, A.N. Vikharev, I.I. Dolgova.</i> Floating Transport Units of Controlled Clearances	58
<i>A.A. Mitrophanov.</i> Reliability Assessment of Folding Anchors Actuationg	64
<i>A.P. Eliseev, V.I. Zhabin, V.V. Kazantsev.</i> Assessment of Wooden Ties Condition of Industrial Railroads	68
<i>F.A. Pavlov, E.A. Mikhina.</i> Method of Sizing of Non-stocked Forest Areas at Final Felling.....	73
<i>V.S. Morozov.</i> Main Prerequisites of Calculating Composite Base Made of Frozen Peat.....	77
<i>A.M. Kulizhnikov, A.V. Uemlyanin.</i> Mathematical Modelling of Surfaces	83
<i>S.I. Morozov, V.S. Stukov.</i> Development of Transport Network Based on Forest Roads	90
<u><i>N.P. Kovalenko</i></u> , <i>V.R. Ivko.</i> On Filtered Peat Shields	94

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>T.P. Stukova.</i> On the Study of Wood-working Machinery Dynamics.....	100
<i>G.F. Prokofjev, S.V. Ershov.</i> On Restricting Cutting Speed of Band Mills.....	109
<i>V.G. Turushev, Yu. A. Varfolomeev, N.A. Kurbatova, A.A. Shchegolev.</i> Environmental Economic Effect of Reducing Toxicity of Pollutant Emission under Preservative Treatment of Wood	116
<i>V.I. Melekhov, V. L. Podolskaya.</i> On Processes of Wood Deformation and Destruction when Compressing across Fibres	119
<i>A.E. Alekseev.</i> To Defining the Productive Area of Log when Producing Sawn Timber	124

<i>V.V. Dunaeva, V.F. Dunaev.</i> Forecasting Mechanical Properties of Sawn Timber...	127
<i>L.V. Orlenko, E.O. Orlenko.</i> Analysis of Timber Stress under Cutting	132
<i>E.B. Ryumina, G.B. Uspenskaya.</i> On Yield of Wooden Construction Parts out of Sawn Timber according to GOST 8486–86F.....	138

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>N.I. Bogdanovich, R.S. Shevchenko, L.N. Kuznetsova, G.V. Dobelay.</i> Forming Sorption and Magnetic Properties of Ferromagnetic Adsorbents under Pyrolysis of Wood Processing Wastes in Presence of Ferro Hydroxide (III).....	142
<i>I.B. Filippov, V.I. Komarov.</i> Influence of Some Parameters of Paper-Making Machine and Supercalender on Deformability and Durability of Offset Paper ...	150
<i>O.M. Sokolov, M. N. Vasiljev, D. G. Chukhchin.</i> Analysis of Wood Composition Change Resulting from Treatment with Low-enthalpy Electron-beam Plasma	167
<i>N.V. Koryakovskaya.</i> Standards Development for Structural Heterogeneity of Paper Sheet.....	175
<i>E.V. Novozhilov.</i> Evaluation of Sulfite Liquors Bioresource as Raw Material for Nutrient Yeast Production	179
<i>K.G. Bogolitsyn, O.V. Bogdanchikova, V.A. Fokina, V.S. Kuznetsov, L.F. Mesherkina, M.V. Livshits.</i> Ecologico-Analytical Study of Technogenic Influence on the State of Water (Delta of Northern Dvina River).....	189
<i>E.D. Gelfand.</i> Foaming Suppression in Nutrient Yeast Production	198

ECONOMICS AND MANAGEMENT

<i>E.S. Romanov.</i> Forming New Economic Relations between Extractive and Process Industry of Forest-industrial Complex in Conditions of Entering the Market Economy.....	202
<i>K.Yu. Timoshenko, A.V. Plastinin.</i> On Criteria of Solvency in Forest-industrial Branches of Arkhangelsk Region	209

SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE

<i>E.N. Saburov, S.V. Karpov, N.V. Smolina.</i> Heat Exchange on Lateral Surface of Displacement Volume of Vortex Chambers with Double-acting Frontal Gas Extraction	216
--	-----

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*5:630*221.4

И.И. ГУСЕВ

Гусев Иван Иванович родился в 1930 г., окончил Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 140 печатных трудов в области исследования закономерностей формирования, роста, продуктивности и рационального использования таежных лесов.

**ФОРМИРОВАНИЕ ТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКОВ
ВЫБОРОЧНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Приведены материалы многолетних наблюдений за состоянием и ростом еловых насаждений, сформировавшихся после выборочных рубок. Отмечена важность выполнения всех лесоводственных требований при назначении деревьев в рубку. Показано влияние выборочной рубки на отпад деревьев, текущий прирост и форму древесных стволов.

The materials are presented reflecting many years of observations over the state and growth of spruce stands, formed after selective cuttings. The importance of following all the silvicultural requirements is pointed out when selecting trees for cutting. The influence of selective cutting is demonstrated on trees attrition, basic wood increment and form of tree stems.

Эффективность лесного хозяйства и лесопромышленного комплекса, воспроизводство и рациональное использование лесных ресурсов определяются уровнем и формой ведения лесохозяйственного производства. Лесоустройство разработало различные формы лесного хозяйства в зависимости от экономических и природных условий. Своевременное и правильное применение классических методов способствует прогрессу и развитию лес-

ной отрасли. Напротив, односторонний подход приводит к негативным последствиям. Так, потребительское отношение к лесным ресурсам на Европейском Севере, концентрированные рубки на огромных территориях, длительные перерубы расчетных лесосек вызвали смену хвойных лесов на лиственные, резкое изменение экологической обстановки и экосистемы региона [16]. Возникла необходимость использовать такие формы ведения лесного хозяйства, которые соответствовали бы природным условиям и исключали глобальное изменение сформировавшейся за тысячелетия экосистемы региона.

М.М. Орлов [7] указывал, что нельзя признавать безусловное преимущество одной формы хозяйства перед другой. Важно изучить накопленный опыт. Классические методы лесоводства надо не только применять, но и проверять на стационарных объектах в различных природных условиях. На Европейском Севере большой интерес представляют результаты многолетних наблюдений за состоянием и ростом ельников, пройденных выборочными рубками.

Наши исследования проведены в Обозерском лесхозе Архангельской области. Здесь в 1910 г. было организовано Северное опытное лесничество, в еловых лесах которого проводились выборочные рубки четырех степеней интенсивности (от 5, 6, 7 и 8 вершков). Нам удалось найти еловые насаждения, где в 1922–1924 гг. выполнены выборочные рубки от 5 вершков (22 см), и заложить в них две постоянные (1976 г.) и четыре временные (1977 г.) пробные площади.

На постоянных пробках все деревья пронумерованы. На высоте 1,3 м от шейки корня возрастным буравом высверливали керн до сердцевины. В камеральных условиях под микроскопом подсчитывали число годовичных слоев, их ширину от периферии к центру отдельно ранней и поздней древесины. По моделям и тонкомеру определяли период дорастания до высоты 1,3 м, а затем возраст деревьев. Кроме того, у каждого дерева измеряли таксационный диаметр, высоту, длину кроны, толщину коры по керну, определяли энергию роста, состояние и категорию технической годности. По ширине годовичных слоев и их числу удалось найти значения диаметров деревьев в год выборочных рубок. Установлено число деревьев, сохранившихся на год закладки постоянных пробных площадей. О состоянии древостоя до рубки можно судить по результатам учета пней, валежника и сухостоя. В конечном итоге получено распределение числа деревьев по ступеням толщины, которое использовали для вычисления таксационных показателей древостоев (табл. 1).

Временные пробные площади № 3–6 заложены в ельниках черничных и долгомошных, где вырублены деревья диаметром от 22 см. По таксационной характеристике эти пробы мало отличаются от постоянных. В древостоях полнотой 0,7–0,8 преобладает ель с небольшой примесью березы и сосны. По возрастной структуре все древостои разновозрастные, колебания

возраста ели более 100 лет. Интенсивность рубки по запасу составляет 43 ... 60 % (табл. 2).

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев на постоянных пробных площадях

Год учета	Поко- ление	Состав	Поро- да	Воз- раст, лет	Средние		Полнота		Запас, м³/га	Выруб- лено, м³/га
					диа- метр, см	высо- та, м	абсолют- ная, м²/га	относи- тельная		
Ельник черничный, пробная площадь № 1										
1922	I	8Е2С+Б	Е	140	24,0	23,0	30,4	0,75	330	180
			С	170	28,0	26,5	5,5	0,13	68	60
			Б	140	23,0	20,0	1,6	0,06	20	12
Итого	-	-	-	-	-	-	37,5	0,94	418	252
1976	I II	10Е 7Е2Б1С	Е	200	23,4	19,0	3,4	0,10	30	-
			Е	90	15,4	14,0	14,2	0,53	110	-
			Б	90	15,8	16,0	4,5	0,20	40	-
			С	-	22,7	17,0	1,1	0,03	10	-
Итого	-	-	-	-	-	-	23,2	0,86	190	-
1994	I II	10Е 6Е3Б1С	Е	220	24,3	21,0	1,7	0,05	18	-
			Е	110	16,8	17,0	16,0	0,48	124	-
			Б	110	20,2	20,2	5,6	0,22	73	-
			С	-	21,2	22,0	0,7	0,02	10	-
Итого	-	-	-	-	-	-	24,0	0,77	225	-
Ельник долгомошный, пробная площадь № 2										
1922	I	8Е1С1Б	Е	140	18,0	16,5	15,4	0,50	130	52
			С	170	22,8	19,0	2,2	0,06	20	13
			Б	140	18,2	16,0	1,6	0,07	15	6
Итого	-	-	-	-	-	-	19,2	0,63	165	71
1976	I II	10Е 8Е2Б+С	Е	200	24,8	18,1	1,6	0,05	14	-
			Е	70	12,9	10,5	12,7	0,62	76	-
			Б	70	13,4	12,5	2,4	0,13	18	-
			С	-	12,3	10,2	0,5	0,02	3	-
Итого	-	-	-	-	-	-	17,2	0,82	111	-

Данные табл. 2 показывают, что за выборочной рубкой последовал массовый отпад деревьев. Через 54-55 лет сохранилось лишь 4,6 ... 14,8 % деревьев первого поколения. Отмечается некоторая зависимость процента отпада от типа леса: в ельнике долгомошном он больше, чем в черничном. На постоянной пробной площади № 1 спустя 72 года после выборочной рубки сохранилось всего 4,6 % деревьев первого поколения. Однако после распада старого поколения леса за истекший период сформировался разновозрастный древостой из ели, березы и сосны. В первые годы за счет

оставленных деревьев сохранилась лесная среда, что способствовало формированию нового поколения леса из подроста и тонкомера. Возрастная

Таблица 2

Интенсивность выборочной рубки по запасу

№ пробной площади	Тип ельника	Запас до рубки, м ³ /га	Интенсивность рубки, %	Период после рубки, лет	Запас после рубки, м ³ /га	Доля от дорубочного древостоя, %	
						Запас	Число деревьев первого поколения
1	Черничный	418	60	54	190	45	10,2
				72	225	54	4,6
2	Долгомошный	165	43	54	111	67	3,3
3	Черничный	240	51	55	159	66	10,3
4	Долгомошный	221	45	55	155	70	9,1
5	Черничный	236	59	55	140	59	14,8
6	Долгомошный	171	59	55	111	65	7,2

амплитуда ели второго поколения характеризуется коэффициентом изменчивости 19-20 %, и по этому показателю ельники приближаются к условно разновозрастным [3].

Сформировавшиеся после выборочной рубки ельники с участием березы и сосны по запасу не достигли уровня исходного древостоя. Общий запас через 54-55 лет составляет лишь 45 ... 70 % от дорубочного. Потеря же только за счет распада оставленной части древостоя достигает 30 ... 50 % от общего запаса до рубки. Подтверждается известное положение, что при существенном изъятии запаса выборочными рубками увеличивается ветровальность ели, фаутность из-за повреждения корней и стволов, нарушается физиологическое состояние деревьев.

Следует соблюдать технологию выборочных рубок, требования об индивидуальном отборе деревьев в рубку с учетом не только отпускного диаметра, но и возраста, состояния, индивидуальных условий роста. С.В. Алексеев и А.А. Молчанов [1] отмечали, что перестойная ель реагирует и вываливается даже при незначительном изреживании древостоя. На устойчивость ели большое влияние оказывают почвы. Исследуемые древостои сформировались на почвах, которые на небольшой глубине подстилаются известковой плитой. Это обстоятельство, по-видимому, усилило ветровальность ели. Большинство исследователей [1, 2, 6, 7, 11, 14–16 и др.] указывают на необходимость выполнения всех лесоводственных требований при назначении деревьев в рубку.

А.И. Тарашкевич [12, 13] отмечал, что изъятие до 25 % запаса в еловом и 40 % в елово-березовом лесу не приводит к распаду древостоев. Наши материалы, в которых интенсивность выборки значительно выше нормативов А.И. Тарашкевича, подтверждают необходимость ограничения вырубки запаса не выше указанного уровня.

Выборочные рубки влияют на текущий прирост деревьев. Покажем это на примере ельника черничного. В нем на двух постоянных пробных

площадах выполнены повторные перечеты через 18 лет. У всех еловых деревьев вычислены среднегодовой прирост таксационного диаметра и

Таблица 3

Прирост древесных стволов ели

Степень толщины, см	Среднегодовой прирост таксационного диаметра, мм	Процент прироста объема
8	<u>0,74</u>	<u>2,07</u>
	0,68	1,77
12	<u>1,16</u>	<u>2,75</u>
	0,75	1,61
16	<u>1,49</u>	<u>2,68</u>
	0,87	1,57
20	<u>1,65</u>	<u>2,48</u>
	1,18	1,62
24	<u>1,49</u>	<u>1,73</u>
	1,29	1,55
28	<u>1,86</u>	<u>1,72</u>
	1,44	1,42

Примечание. В числителе данные для ельника с выборочными рубками; в знаменателе – без рубок.

процент объемного прироста по способу Пресслера. При этом на одной пробе проведены выборочные рубки (пробная площадь № 1), на другой их не было (табл. 3).

Из табл. 3 видно увеличение годового прироста диаметра с повышением толщины деревьев. Связь умеренная ($r = 0,30 \pm 0,06$, $\eta = 0,42 \pm 0,06$; $r = 0,31 \pm 0,06$; $\eta = 0,42 \pm 0,06$). В ельниках, сформировавшихся после выборочных рубок, прирост диаметра больше, чем в естественных древостоях. Процент прироста объема стволов ели в выборочном лесу также выше, особенно у деревьев толщиной 12 ... 24 см. Так, среднее значение процента прироста объема стволов составляет соответственно $P_V = 2,41 \pm 0,10 \%$ и $P_V = 1,49 \pm 0,08 \%$. Различия в высшей степени достоверно ($t_{\phi} = 7,0$). В выборочном еловом лесу вследствие разреженного полога древостоя и большой его ступенчатости уменьшается отражение ФАР, что обеспечивает дополнительный приток солнечной энергии. Необходимо отметить слабое влияние толщины деревьев на процент объемного прироста ($r = -0,17 \pm 0,07$, $\eta = 0,29 \pm 0,06$; $r = -0,16 \pm 0,06$; $\eta = 0,21 \pm 0,07$). Наиболее низкое его значение отмечено для деревьев толщиной до 10 см, которые находятся под пологом древостоя в угнетении.

В выборочном еловом лесу на энергию роста существенно влияет возраст деревьев. В ельниках черничных уравнение регрессии для тонкомерных деревьев толщиной 6,0 ... 9,9 см имеет вид

$$P_V = 5,75 - 0,04 A; m_p = \pm 0,02; \quad (1)$$

для деревьев толщиной 10 ... 26 см

$$P_V = -2,67 + 551,5/A; m_p = \pm 0,38; \quad (2)$$

где P_V – процент объемного прироста древесных стволов ели;

A – возраст деревьев, лет;

m_p – основная ошибка уравнения.

Уравнение (1) справедливо для возраста деревьев 60 ... 130 лет, уравнение (2) – 60 ... 200 лет.

Благодаря наличию деревьев различных размеров и возраста в выборочном лесу наиболее полно используется внешняя среда, особенно в ограниченных условиях роста. Дополнительный приток солнечной энергии в полог способствует увеличению прироста нижней части ствола и, как следствие, формированию сбежистых стволов.

Нами доказано [4], что самые полнодревесные стволы формируются в одновозрастных ельниках, сбежистые – в разновозрастных. Относительные числа сбега понижаются по мере усложнения возрастной структуры древостоя. В ельниках выборочного хозяйства формируются самые сбежистые стволы, форма которых близка к естественным разновозрастным древостоям (табл. 4).

В разновозрастных ельниках выборочного хозяйства товарность древостоя снижается. Например, в ельниках черничных крупной и средней деловой древесины в естественных древостоях было 65 %, через 72 года после рубки 47 %; мелкой древесины соответственно 18 и 28 %; дров 7 и 16 %; отходов 10 и 9 %.

Таблица 4

Форма древесных стволов ели

Статистики	Относительный сбеги, % от диаметра на 0,1 h, при относительной высоте ствола								
	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Одновозрастные ельники									
<i>M</i>	129,5	94,0	87,6	81,7	73,4	64,5	54,3	41,5	28,6
<i>m</i>	0,53	0,15	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24
Условно разновозрастные ельники									
<i>M</i>	125,0	94,0	87,6	80,4	72,2	62,5	51,4	38,1	22,7
<i>m</i>	0,34	0,09	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,16
Разновозрастные ельники									
<i>M</i>	124,9	93,6	85,1	77,5	68,5	58,0	47,0	34,4	21,2
<i>m</i>	0,40	0,11	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21
Разновозрастные ельники выборочного хозяйства									
<i>M</i>	123,7	92,6	85,6	77,3	68,4	58,9	47,6	35,3	21,0

m	1,83	0,78	0,88	0,94	1,14	1,49	1,33	1,35	1,43
$C, \%$	7,9	4,1	5,0	6,0	8,2	12,4	13,7	18,7	33,0

Важным показателем состояния древостоев является качество древесины. Наиболее характерное последствие выборочных рубок – увеличение ширины годичных слоев. Одним из показателей качества является процент поздней древесины, влияющий на ее плотность и усушку. О.И. Полубояринов [8, 9] отмечает, что разреживание в средневозрастных насаждениях приводит к увеличению прироста, равномерному соотношению между ранней и поздней древесиной, некоторому увеличению плотности. В спелых древостоях разреживание оказывает очень слабое влияние на плотность, лишь в чрезмерно густых создаются благоприятные условия для образования поздней древесины.

По нашим данным, выборочная рубка не оказала существенного влияния на образование поздней древесины. Средний процент поздней древесины до и после выборочной рубки статистически одинаков (соответственно $27,4 \pm 0,30$ и $26,7 \pm 0,36$). Показатель $t_{\phi} = 1,4$ говорит об отсутствии различий. Коэффициенты варьирования соответственно равны 11,6 и 11,2 %.

В заключение отметим, что к реализации выборочной формы хозяйства в таежных лесах необходимо относиться осторожно, учитывать весь комплекс природных факторов. Нельзя допускать формализм и шаблонность в проведении выборочных рубок, особенно в еловых лесах. Исключительно важное значение имеет определение интенсивности выборочных рубок и технология их проведения, которые определяются природными особенностями насаждений (полнота и сомкнутость, тип леса, почва, состав древостоя, возраст и возрастное строение и др.). Только научный подход позволит проводить, наряду со сплошнолесосечной, выборочную форму лесного хозяйства в целях сохранения и повышения продуктивности таежных лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алексеев С.В., Молчанов А.А. Выборочные рубки в лесах Севера. - М.: Изд-во АН СССР, 1954. - 146 с. [2]. Вялых Н.И. Способы рубок главного пользования в лесах третьей группы на Европейском Севере. - Архангельск, 1992. - С. 67-78. [3]. Гусев И.И. Продуктивность ельников Севера. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. - 232 с. [4]. Гусев И.И. Возрастная структура и продуктивность таежных ельников // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. тр. - Л., 1980. - Вып. 9. - С. 23-28. [5]. Мелехов И.С. Рубки главного пользования. - М., 1962. - 330 с. [6]. Мелехов И.С. Лесоводство. - М., 1989. - 302 с. [7]. Орлов М.М. Лесоустройство. Т. 3. - Л.: Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть, 1928. - 348 с. [8]. Полубояринов О.И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины. - Л., 1974. - 97 с. [9]. Полубояринов О.И. Плотность древесины. - М.: Лесн. пром-сть, 1976. - 159 с. [10]. Рубки главного пользования в лесах Европейского Севера. (Технические указания) / Г.А. Чибисов, И.В. Волосевич, Н.И. Вялых, Б.Н. Прудов. - Архангельск, 1977. - 19 с.

[11]. Столяров Д.П., Кузнецова В.Г. Разновозрастные ельники и ведение хозяйства в них. - М.: Лесн. пром-сть, 1979. - 167 с. [12]. Тарашкевич А.И. Результаты применения рубок с 7 вершков на высоте груди в еловых лесах Севера России // Тр. по ЛОД. - 1925. - Вып. 1 (15). - С. 51-70. [13]. Тарашкевич А.И. Результаты применения условно сплошных рубок в еловых лесах Севера // Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть. - 1929. - № 11. - С. 11-17. [14]. Технические указания по совершенствованию рубок главного пользования в наиболее распространенных типах леса Европейского Севера / Г.А. Чибисов, И.В. Волосевич, Н.И. Вялых. - Архангельск, 1975. - 21 с. [15]. Тихонов А.С. Лесоводственные основы различных способов рубки леса для возобновления ели. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979. - 247 с. [16]. Ecological Consequences of Intensive Forest Exploitation in Northern Russia / I.I. Gusev, A.S. Kozobrodov, N.I. Kubtchak et al. // Innovative Silviculture Systems in Boreal Forests: Symposium held in Edmonton, Alberta, Canada. - 1994. - P. 88-89.

Поступила 30 октября 1996 г.

УДК 630*231:630*43

О.А. НЕВОЛИН, О.О. ЕРЕМИНА



Неволин Олег Алексеевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета, заслуженный лесовод России. Имеет около 120 печатных трудов в области изучения высокопродуктивных лесов Севера и организации хозяйства в них, истории лесного хозяйства и лесоустройства.



Еремина Ольга Олеговна родилась в 1956 г., окончила в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, ассистент кафедры геодезии Архангельского государственного технического университета. Имеет около 10 печатных трудов в области возобновления сосновых лесов Севера.

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПРОИЗРАСТАНИЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ

Рассмотрены влияние лесных пожаров на возобновление сосны; роль семенников, уцелевших от огня деревьев, почвенного запаса семян; значение огневой очистки мест рубок.

The influence of forest fires on pine regeneration has been considered as well as the role of seed plants, trees escaped from fire, seed soil stock, fire cleaning of felling sites.

Восстановление былой продуктивности сосновых лесов Севера является важнейшей народнохозяйственной проблемой. Успешно решить ее можно, зная законы природы леса и строго учитывая все сложные взаимосвязи между природными явлениями. Игнорирование этих законов при ведении лесного хозяйства в крупнейшем лесном регионе России (имея в виду Архангельскую и Вологодскую области, Республику Коми) привело к трагическим последствиям [4, 7, 12, 20, 21]. За последние полвека вырублены лучшие по продуктивности таежные леса. Тотальному истреблению подверглись спелые высокопродуктивные сосняки. При этом нет ощутимых результатов их восстановления.

Первые исследователи лесов Севера – Н.А. Граков, А.С. Рожков, М.Е. Ткаченко и др. – обратили внимание на огромное и разностороннее влияние пожаров на лес. Наряду с разрушающим действием лесных пожаров, отмечена и их полезная, созидательная роль в истории возникновения северных сосняков [3, 14, 17]. По авторитетному мнению М.Е. Ткаченко, «пожары являются частью программы природы, выполнение которой обеспечивает сохранение сосны как растительного вида на земле» [18]. В.Н. Сукачев писал, что «сосна сохранила свои позиции на севере только благодаря пожарам. В противном случае ель вытеснила бы сосну уже несколько тысячелетий назад» [16].

Наши многолетние (1949–1996 гг.) наблюдения и исследования, проведенные в сосняках кислично-травяного, кисличного, черничного, брусничного типов леса разных районов Европейского Севера [5, 10, 12], позволяют утверждать, что сосновые леса, как правило, возникли под влиянием лесных пожаров. На огромных пространствах таежных лесов, в чистых и смешанных с березой, елью и осиной сосновых насаждениях, мы обнаружили следы лесных пожаров в виде пожарных подсушин на материнских деревьях и сухостое, обгорелых стволов и пней деревьев старшего поколения, а также древесных углей на поверхности почвы под лесной подстилкой. Сосновые насаждения, сформировавшиеся на вырубках без предшествующих пожаров или воздействия огня на почву, встречаются редко и занимают небольшие площади.

Можно выделить три основных пути возникновения сосновых насаждений на Севере:

1) полное (или почти полное) уничтожение лесными пожарами имевшегося древостоя. Это главный путь, благодаря которому в прошлом на Севере появились большие площади, занятые высокопродуктивными сосняками;

2) уничтожение лесными пожарами и палами на вырубках древесных остатков после рубок и улучшение восприятия семян почвой. Это ме-

нее распространенное в прошлом и ограничиваемое в настоящее время явление не имело решающего значения в возникновении сосновых насаждений;

3) заселение сосной заброшенных в лесу новин (подсек) и пашен. Такой процесс происходил вблизи деревень и был связан с ведением крестьянами подсечно-огневого хозяйства. Сущность его заключалась в том, что участки предварительно срубленного и подсушенного леса (обычно на возвышенностях с супесчаными и легкими суглинистыми почвами) выжигали и в течение 3–4 лет использовали под посев сельскохозяйственных культур (рожь, лен); потом они запускались и зарастали лесом. На таких участках произрастают чистые и смешанные сосновые, реже лиственные (с преобладанием березы или осины) насаждения, нередко достигающие небывалой в условиях Севера продуктивности, выходящей за пределы бонитировочной шкалы. К сожалению, многие из этих жемчужин северной природы разрушены бессистемными рубками и сильно захламлены. Прекрасные сосновые молодняки произрастают и на многочисленных пашнях, заброшенных за последнее пятидесятилетие. Заселение сосной старопахотных земель – широко распространенное явление [10, 15]. В США даже выделен особый вид сосны *Pinus taeda*, который называется old field pine, т. е. сосна старых полей [10].

Во всех случаях успешное заселение сосной гарей, вырубок, заброшенных «новин» и пашен обусловлено благоприятной внешней средой, с одной стороны, и наличием обсеменителей, с другой. В таежной зоне источниками семян на гарях и рубках обычно служат уцелевшие от пожаров и рубок старые сосны. Безмолвные великаны, нередко чудом устоявшие против огненной стихии, дают жизнь новым быстрорастущим лесам. Возраст этих деревьев различен. Обычно он колеблется от 120 до 250 лет, но встречаются сосны 300 ... 400 лет и старше [11]. В качестве материнских могут быть и молодые деревья сосны, устоявшие при пожаре. Например, в квартале 81 Емцовского учебно-опытного лесхоза АГТУ сосна в сосново-березовом насаждении появилась после пожара 1919 г. от семян не только единичных редко стоявших старых сосен, но и 24–27-летних уцелевших от огня сосенок, которых в то время насчитывалось до 70 шт. на 1 га. Случаи, когда молодые сосны в 12 ... 30 лет выдерживали лесные пожары, даже повторные, наблюдал в архангельских лесах И.С. Мелехов [8]. Интересно, что в ряде случаев успешное возобновление сосны на обширных площадях гарей с сильной степенью повреждения деревьев пожаром обеспечивается за счет семян, дозревших на деревьях, сильно поврежденных огнем. Стены леса как источник семян сосны имеют решающее значение при возобновлении сосняков на небольших участках гарей и вырубок. Семена березы, постоянной спутницы сосны, разлетаются на очень большие расстояния.

Представляет интерес вопрос о роли в лесовозобновительных процессах семян, сохранившихся при пожаре в лесной подстилке и в верхнем горизонте почвы, т. е. их почвенного запаса. Лесные специалисты придерживаются разных мнений. Наши наблюдения дают основание предполагать,

что незначительная часть деревьев появляется из семян, уцелевших в лесной подстилке и почве при пожаре и сохранивших всхожесть. Это одна из причин наличия в древостоях деревьев, возраст которых равен давности пожара. Но, как показывают тщательно выполненные подсчеты возрастов срубленных деревьев, такие случаи не так уж часты. Мы считаем, что почвенному запасу семян нельзя придавать большое, тем более решающее значение в возобновлении гарей, так как к прочим факторам, неблагоприятным для нахождения семян в подстилке и почве, прибавляется серьезный температурный фактор огня, резко снижающий вероятность сохранения всхожести семян.

Для практики лесного хозяйства важен вопрос о продолжительности лесовозобновительного периода, т. е. промежутка времени, в течение которого на оголенном пожаром или рубкой месте в естественных условиях формируется молодой лес. Мы провели наблюдения на 85 пробных площадях, заложенных в сосняках пятнадцати лесничеств средней и южной подзон тайги. Анализ полученных материалов показал, что в 70 % случаев лесовозобновительный период составляет 1 ... 3 года, в 20 % равен 4 ... 5 годам и лишь в 10 % растягивается на 6 ... 8 лет. Таким образом, природа, если ей не мешать, гарантирует восстановление высокопродуктивных сосновых лесов на вырубках с воздействием огня на почву и гарях преимущественно в первое пятилетие после пожара и лишь на незначительной части участков гарей через 6 ... 8 лет. Новое поколение леса начинает появляться в первый год после пожара. Береза как порода-пионер, давая ежегодно огромное количество семян, в первый же год поселяется на площади пожара, причем, как правило, сразу в больших количествах, нередко достигающих нескольких тысяч всходов на 1 га. Лишь в редких случаях из-за неблагоприятных условий (заражение семян сумчатым грибом *Sclerotinia betulae* Wagon., повреждение тычиночных сережек поздними весенними заморозками, дождливая погода, повторные лесные пожары, сильнощелочная реакция среды на поверхности почвы, чрезмерное прокаливание почвы и др.) массовое поселение березы несколько отдалается во времени, но не более чем на 3 ... 5 лет. В последующие годы береза продолжает поселяться. Формирование березовой части смешанного сосново-березового древостоя завершается в первые пять лет. Сосна появляется на пожарище одновременно с березой или через 3 ... 5 лет после пожара. Массовое возобновление сосны в большинстве случаев происходит через 2-3 года после пожара, реже – через год или позднее трех лет. Разницы в лесовозобновительных периодах по типам леса не выявилось. Это объясняется относительно одинаковыми микроклиматом и условиями лесовозобновления после пожара. Осина, встречающаяся в незначительной примеси, поселяется одновременно с березой.

Процесс расселения ели, постоянной спутницы сосны и березы в высокопродуктивных сосняках кислично-травяных, кисличных, черничных и брусничных, происходит с первых лет после пожара и длится многие годы и десятилетия. Однако в формировании основного яруса она участвует в не-

большом количестве и из-за медленного роста долго остается в подросте и втором ярусе.

Быстрое заселение гарей сосной и березой объясняется, с одной стороны, благоприятными условиями произрастания, в которых одно из главных мест принадлежит физическим и биохимическим свойствам почв лесных гарей, с другой – наличием достаточного количества семян. Под воздействием огня обнажается минеральный слой почвы, снижается ее кислотность, увеличивается содержание подвижных соединений кальция, калия, фосфора, усиливаются процессы нитрификации; на почвах высокопродуктивных типов леса активизируется жизнедеятельность микроорганизмов. Все это способствует улучшению лесовозобновления. По мнению И.С. Мелехова [8, 9], нельзя отрицать положительной роли легкого поверхностного воздействия огня даже в лишайниковых типах леса с очень бедными песчаными почвами.

Отрицательное воздействие огня большой силы и продолжительности выражается в уплотнении и спекании верхнего горизонта почвы, снижении общей порозности и ухудшении аэрации, уничтожении на бедных почвах и без того малых запасов органических веществ и ослаблении жизнедеятельности бактерий. Все это может неблагоприятно сказаться на возобновлении и продуктивности леса.

А.В. Тюрин возражал против мнения о понижении продуктивности леса от уничтожения огнем органического вещества почвы. Он установил, что лесные пожары, даже многократные, не приводят к ухудшению условий произрастания. По его данным, благоприятные условия для появления всходов сосны и их роста в наибольшей мере создавались тогда, когда почва на оголенных пространствах была минерализована с наибольшей полнотой [19].

Исследователь северных лесов А.А. Кириллов писал: «На пожарных приходится видеть чудные сосновые насаждения с сильным ростом, что не свидетельствует о переутомлении почвы, несмотря на многовековой рост предшествующих материнских насаждений» [6].

Интересна и другая сторона процесса – массовый налет сосновых семян на площади гарей в первые 2-3 года после пожара. С березой этот вопрос ясен, так как оба ее вида (*Betula verrucosa* Ehrh. и *B. pubescens* Ehrh.) плодоносят ежегодно и обильно. Периодичность урожайных лет у сосны различна и зависит от факторов внешней среды. Но, как показали многолетние исследования С.В. Алексеева и А.А. Молчанова [1], в северных лесах сосна плодоносит почти ежегодно, давая при слабом урожае от 24,0 до 68,0 тыс. полнозернистых семян на 1 га. Такое количество семян при равномерном их разлете по свободной от леса площади в благоприятных почвенных условиях вполне может обеспечить успешное возобновление сосны, не говоря уже о годах с повышенными и обильными урожаями, которые в условиях средней и южной подзон тайги повторяются через 2-3 года. Опираясь на исследования С.В. Алексеева и А.А. Молчанова и свои наблюдения, мы пришли к выводу, что в условиях Севера одним из

факторов успешного и быстрого заселения гарей сосною является ее способность к почти ежегодному плодоношению.

Как отмечено выше, массовое возобновление сосны происходит в основном через 2-3 года после пожара. Массовый налет семян в этот период обусловлен усилением плодоношения, которое в ряде случаев совпадает с периодами семенных лет. В основном же массовый налет семян, особенно на третий год после пожара, вероятно, объясняется большим притоком питательных веществ, солнечного света и тепла к уцелевшим от пожара соснам. Возможно также, что увеличенный приток углекислого газа и высокая температура пожара, воздействию которых подвергались уцелевшие деревья сосны, оказывают стимулирующее действие на физиологические процессы, связанные с усилением плодоношения. Здесь уместно вспомнить опытные работы по повышению плодоношения сосны, проводившиеся в Сиверском лесхозе Ленинградской области [2]. На второй год после обжигания коры стволов на деревьях сосны завязалось большое количество плодов. Но в последующие годы урожаи резко сократились, так как возросло количество мужских цветов, а сильно травмированные деревья постепенно погибали.

В лесах Севера таких опытов не было, хотя они и заслуживают серьезного внимания лесоводов. Естественные лесовозобновительные процессы по гарям говорят сами за себя. Научно поставленные опыты с различным режимом воздействия огня на семенные деревья и почву, вероятно, помогут найти наиболее эффективные способы огневой очистки лесосек, что, в свою очередь, позволит направлять естественные силы природы в желаемую для человека сторону при наименьших затратах сил и денежных средств на искусственное восстановление лесов.

Таким образом, напрашивается вывод об ошибочности полного исключения и запрещения сплошных палов как одного из способов очистки мест рубок и эффективного мероприятия по содействию естественному возобновлению высокопродуктивных сосняков [13]. В определенных условиях, при соблюдении мер предосторожности и при обязательном оставлении сосновых семенников этот способ оправдан. Наиболее приемлем он в высокопродуктивных сосняках, где нецелесообразно сохранять еловый подрост.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алексеев С.В., Молчанов А.А. Выборочные рубки в лесах Севера. - М.: Изд-во АН СССР, 1954. - 148 с. [2]. Гиргидов Д.Я. Лесосеменные участки сосны. - Л., 1956. [3]. Граков Н.А. Упорядочение отпуска леса в Архангельской губернии // Лесн. журн. - 1898. - Вып. 2. - С. 276-304. [4]. Гусев И.И., Неволин О.А., Третьяков С.В. Леса и лесистость Архангельской области // Лесн. журн. - 1994. - № 3. - С. 10-17. - (Изв. высш. учеб.заведений). [5]. Еремина О.О. Естественное возобновление сосны по гарь // Актуальные проблемы развития лесопромышленного комплекса и организации строительства. - Архангельск, 1982. - С. 42. [6]. Кириллов А.А. Некоторые наблюдения над исчезновением сосны в северо-восточной части европейской России // Лесн. журн. - 1907. - Вып. 5. - С. 542-551. [7]. Ковалев Б.А., Ларин В.Б., Тюрин Е.Г.

Леса и лесное хозяйство Коми АССР. - Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1981. - 160 с. [8]. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. - М.; Л.: Гослесбумиздат, 1948. - 126 с. [9]. Мелехов И.С. Лесоведение. - М.: Агропромиздат, 1980. - 406 с. [10]. Неволин О.А. Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера. - Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1969. - 103 с. [11]. Неволин О.А. О долговечности сосны в условиях Севера // Лесн. журн. - 1985. - № 1. - С. 18-22. - (Изв. высш. учеб. заведений). [12]. Неволин О.А. Особенности проектирования и организации северного лесного хозяйства. - Л.: ЛТА, 1988. - 48 с. [13]. Правила рубок главного пользования в равнинных лесах Европейской части Российской Федерации / Федеральная служба лесного хозяйства. - М., 1994. - 32 с. [14]. Рожков А.С. К устройству северных лесов // Лесн. журн. - 1911. - Вып. 1,2. - С. 159-183. [15]. Соколов Н.Н. Рост и продуктивность сосновых древостоев по старым пашням // Лесн. журн. - 1978. - № 4. - С. 22-25. - (Изв. высш. учеб. заведений). [16]. Сукачев В.Н. История растительности СССР во время плейстоцена // Растительность СССР. Т. 1. - М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. - С. 183-234. [17]. Ткаченко М.Е. Леса Севера. Из лесохозяйственных исследований в Архангельской губернии. - СПб., 1911. - 91 с. [18]. Ткаченко М.Е. Задачи лесной политики на Севере // Сельское и лесное хозяйства Севера: Материалы совещания по изучению Севера при Российской академии наук. - Петроград: Новая деревня, 1923. - С. 112-135. [19]. Тюрин А.В. Основы хозяйства в сосновых лесах. - 2-е изд. - М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. - 112 с. [20]. Тюрин Е.Г., Нефедов Н.М., Серый А.А. Вологодские леса. - Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1984. - 126 с. [21]. Экономические вопросы развития лесного хозяйства Европейского Севера / Отв. ред. Н.П. Чупров. - Архангельск: Архангел. ин-т леса и лесохимии. - 1981. - 80 с.

Поступила 14 марта 1997 г.

УДК 630*232

Л.Ф. ИПАТОВ



Ипатов Леонард Федорович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета, заслуженный лесовод РФ. Имеет более 140 публикаций по вопросам строения, роста и продуктивности древостоев искусственного и естественного происхождения на Европейском Севере.

РОСТ ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР С.В. АЛЕКСЕЕВА, СОЗДАНЫХ ПОСАДКОЙ И ПОСЕВОМ

Исследованы варианты 46-летних опытных культур, созданных посевом и посадкой. Выявлены некоторые преимущества в росте и продуктивности посадок перед посевами и культур перед естественными древостоями.

The variants of 46-year forest trials formed by planting and sowing have been investigated. Some advantages in the growth and productivity of plantings to sowings have been revealed as well as trials to natural forest stands.

Опытные культуры сосны в Обозерском лесхозе Архангельской области, заложенные в 1949 г. видным лесоводом С.В. Алексеевым, являются уникальным научным объектом. Это не только самые старые культуры подобного рода в области, но и наиболее значительные по обилию вариантов (15 в посадках и 13 в посевах). Площадь каждого варианта культур – 0,5 га (50 × 100 м), размер площадок – от 0,09 до 2 м², число семян (посевных мест) в площадке – от 1 до 80 шт., число площадок на 1 га – от 0,4 до 7 тыс.шт. (табл. 1).

Таблица 1

Варианты создания опытных культур

Номер варианта	Число семян в площадке, шт.	Размер площадки, м	Размещение площадок, м	Число площадок на 1 га, шт.		
				плановое	фактическое	
					Посадка	Посев
1	5	1×1	4×3	832	704	686
2	9	1×1	Неравномерное	864	864	-
3	15	1×1		832	788	774
4	20	1×1		832	714	808
5	1	0,3×0,3	1,3×0,8	9560	6934	7530
6	9	0,7×0,7	4×4	625	570	622
7	20	1×1	4×4	625	604	612
8	40	2×1	5×4	500	396	396
9	80	2×2	5×4	500	476	372
10	1	0,3×0,3	2×2	2500	1804	-
11	9	1×1	5×5	400	428	362
12	9	1×1	4×4	625	538	560
13	9	1×1	4×3	832	770	728
14	9	1×1	4×2	1250	688	1114
15	9	1×1	2,5×2	2000	1560	1096

Таблица 2

Таксационные показатели 46-летних культур, созданных посадкой, по вариантам

Номер варианта	Состав	Средние для сосны		Число растущих деревьев, шт./га		Сумма площадей сечений,		Запас, м³/га		Полнота	Сохран- ность, %
		высота, м	диаметр, см	сосны	общее	сосны	общая	сосны	общий		
1	5,5С3,9Б0,6Ос, ед.Е	14,8	13,3	1145	2330	15,5	28,6	123	225	0,96	32,5
2	5,0С4,6Б0,3Ос0,1Е	13,6	12,1	1230	2680	14,1	28,9	113	227	1,02	15,8
3	6,3С3,4Б0,3Ос, ед.Е	13,9	13,0	1465	2565	15,7	25,0	117	185	0,87	12,4
4	5,0С4,4Б0,3Ос,0,3Е	14,1	13,7	827	1725	10,2	21,3	78	155	0,74	5,6
5	5,7С4,2Б0,1Ос, ед.Е	14,4	12,7	1535	2775	17,0	31,2	130	228	1,06	22,1
6	6,6С3,3Б0,1Ос, ед.Е	15,1	15,1	873	1750	15,8	24,1	129	196	0,80	17,0
7	5,9С3,8Б0,3Ос, ед.Е	14,4	13,7	1018	1929	14,9	25,8	120	205	0,88	8,4
8	5,9С3,7Б0,2Ос0,2Е	14,1	13,0	993	2340	13,1	22,9	105	177	0,79	6,3
9	5,2С4,7Б0,1Ос, ед.Е	13,8	11,1	1269	2248	12,2	24,0	98	188	0,84	3,3
10	6,4С3,0Б0,5Ос0,1Е	15,9	16,3	729	1452	15,0	24,3	127	199	0,78	40,4
11	7,1С2,8Б0,1Е, ед.Ос	15,4	15,9	750	1427	15,0	22,0	125	176	0,72	19,4
12	7,7С2,0Б0,2Ос0,1Е	14,6	14,1	1075	1682	16,8	22,5	136	177	0,76	22,2
13	8,1С1,6Б0,2Е0,1Ос	14,8	13,4	1481	1959	21,0	26,2	164	202	0,88	21,4
14	6,6С3,2Б0,2Ос, ед.Е	14,7	14,2	1007	1660	16,0	23,5	123	187	0,79	16,3
15	7,0С2,5Б0,5Ос, ед.Е	14,8	12,1	1880	2765	21,6	31,3	175	250	1,05	13,4
Среднее	6,3С3,3Б0,3Ос0,1Е	14,5	13,6	1151	2087	15,6	25,4	125	198	0,86	16,4

Культуры созданы в однородных лесорастительных условиях на вырубке 1940–1941 гг. перестойного сосняка черничного III класса бонитета. Приживаемость в год создания колебалась от 65,0 до 96 % (соответственно варианты 9 и 14) в посадках и от 21 до 94 % (варианты 6 и 15) в посевах. Анализируя приживаемость в первые два года, С.В. Алексеев [1] отмечал, что причины ее снижения кроются в частичном повреждении семян при перевозке, неустойчивой погоде во время посадок и посевов, в выжимании всходов морозом. Создание культур гнездами, по мнению С.В. Алексеева [1, 2], является одной из мер борьбы против этого серьезного отрицательного фактора.

К сожалению, в течение длительного периода не было наблюдений за состоянием опытных культур. Лишь в 18-19-летних культурах Ф.Т. Пигарев и др. [5] провели обследования вариантов 1, 4, 5, 13, 15. Они отметили, что высота наиболее крупных деревьев сосны возрастает с увеличением густоты, но до определенных пределов (не более 10 ... 12 шт. в площадке), а затем снижается. Нами детально изучены 28–30-летние культуры всех вариантов. Результаты исследований опубликованы в ряде работ [3, 4, 6]. Через 16 лет, в 1994–1996 гг., в культурах проведены повторные перечеты и необходимые измерения на постоянных пробных площадях во всех вариантах *. Дополнительно на полосе 10 м вокруг культур изучены древостои естественного происхождения (площадь перечета 2,2 га).

К моменту повторного обследования культуры достигли сравнительно высокого возраста (46 лет), но на величине таксационных показателей продолжает сказываться способ создания. Так, средняя высота сосны колеблется от 13,6 до 15,6 м; средний диаметр от 11,1 до 16,3 см; сумма площадей сечений от 9,6 до 21,6 м²/га; полнота от 0,74 до 1,06; запас от 78 до 175 м³ на 1 га (табл. 2).

Детальный анализ результатов исследований позволил выявить особенности формирования и роста древостоев, подмеченные и в 30-летних культурах. Увеличение числа посадочных (посевных) мест в площадке не привело к сколько-нибудь заметному увеличению запаса. Наоборот, наибольшая сохранность (40,4 %) наблюдается в варианте 10 с одним сеянцем в площадке, а наименьшая (3,3 %) в варианте 9, где в площадках размером

2 × 2 м было высажено по 80 сеянцев. Запас сосны в варианте 9 составил 98, в варианте 10 – 127 м³. В вариантах с большим числом посадочных мест на 1 га, как правило, меньше средний диаметр и средняя высота сосны. С возрастом в формировании более продуктивных древостоев все большую роль играет число площадок на 1 га.

Тенденция к выравниванию таксационных показателей, особенно густоты, будет наблюдаться еще длительное время. Продолжается интенсивный процесс естественного изреживания, который, несомненно,

* В полевых работах принимали участие студенты АГТУ И. Битков, А. Богенс, О. Григорьев, Р. Комаров, А. Курьянов, К. Сухоешкин, О. Пирогов, которым автор выражает искреннюю благодарность.

возрастает после полного смыкания крон деревьев между площадками. Основанием для этого служит большое количество подчиненных деревьев (в среднем для всех вариантов посадок 28,4 %). На господствующие приходится 24,2%, а 47,4%, т. е. почти половину всех деревьев, составляют сухостойные. Велика дифференциация деревьев по размерам. В частности, диаметр на высоте груди колеблется от 2 до 32 см. Особенность роста гнездовых культур в северных условиях – крайне замедленный (10 лет и более) рост по высоте подчиненных деревьев. На это мы обращали внимание еще при изучении культур 30-летнего возраста [3].

Сравнение 30-летних культур, созданных разными методами, показало преимущество посевов по числу растущих деревьев сосны на 72,8 %. По остальным таксационным показателям посевы явно уступали посадкам: по средней высоте на 18,9, среднему диаметру на 29,2, запасу на 16,7 % [6]. К 46-летнему возрасту различия сгладились в основном за счет отмирания большого количества тонкомерных деревьев в посевах, где для сосновой части древостоя все еще остаются более высокими густота, сумма площадей сечений и относительная полнота (соответственно на 41,5; 7,1 и 17,4 %). Однако преимущество посадок сохраняется: по средней высоте сосны на 9,7, среднему диаметру на 15,4, по запасу на 2,4 % (табл. 3).

Таблица 3

**Различие таксационных показателей древостоев
в зависимости от происхождения**

Таксационный показатель	Культуры		Древостой естественного происхождения	Различие от посадок, %	
	посадкой	посевом		культур посевом	естественного древостоя
Возраст, лет	46	46	49	0	6,5
Процент участия сосны в составе, %	63	64	29	1,6	54,7
Число растущих деревьев, шт./га:					
всего	2087	3297	1690	58,0	-19,0
сосны	1151	1629	213	41,5	-81,5
Средняя высота сосны, м	14,5	13,1	13,1	-9,7	0
Средний диаметр сосны, см	13,6	11,5	15,1	-15,4	26,4
Сумма площадей сечений, м ² /га:					
всего	25,4	27,6	16,0	8,7	-37,0
сосны	15,6	16,7	3,8	7,1	-75,6
Запас растущих деревьев, м ³ /га:					
всего	198	185	104	-6,7	-47,5
сосны	125	122	30	-2,4	-76,0
Полнота	0,86	1,01	0,58	17,4	-32,6
Класс бонитета	I,8	II,3	II,5	-27,8	-38,9

По сравнению с естественными древостоями, сформировавшимися на той же вырубке в аналогичных лесорастительных условиях, все важнейшие таксационные показатели культур существенно выше, за исключением среднего диаметра (табл. 3). Хотя естественный древостой начал формироваться на 8 лет раньше, чем создавались культуры, в нем растущих деревьев меньше на 19 (по сосне на 81,5), а запас на 47,5 %. Естественный путь лесовосстановления не обеспечил преобладания главной породы – сосны, участие которой не превышает 30 %.

Таким образом, итоги изучения опытных культур как 30-летнего, так и 46-летнего возраста показывают некоторые преимущества посадок перед посевами и подтверждают целесообразность искусственного возобновления по сравнению с естественным на рубках сосняков черничных в северной подзоне европейской тайги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алексеев С.В. К проблеме лесных культур в условиях Севера // Некоторые вопросы ведения лесного хозяйства на Севере.- Архангельск: Архангел. кн. изд-во, 1953. - С. 53-61. [2]. Алексеев С.В. Некоторые результаты выращивания сосны гнездовым способом // Возобновление леса при концентрированных рубках на Севере. – Архангельск: Архангел. кн. изд-во, 1954. - С. 44 - 51. [3]. Ипатов Л.Ф. Рост опытных культур С.В. Алексеева, созданных методом посадки // Лесн. журн. – 1980. - № 5. - С. 10-15.- (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Ипатов Л.Ф. Опытные культуры С.В. Алексеева. // Лесн. хоз-во. - 1980. - № 4. - С. 41 - 44. [5]. Пигарев Ф.Т., Непогодьева Т.С., Сенчуков Б.А. Нормы высева семян сосны и ели в посевах на рубках // Вопросы лесокультурного дела на Европейском Севере. - Архангельск: АИЛХ, 1974. - С. 79 - 96. [6]. Поляков А.Н., Ипатов Л.Ф., Успенский В.В. Продуктивность лесных культур. - М.: Агропромиздат, 1986. - 240 с.

Поступила 2 апреля 1996 г.

УДК 630*228:630*5

Н.А. БАБИЧ, Г.И. ТРАВНИКОВА, Н.П. ГАЕВСКИЙ

Бабич Николай Алексеевич родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Архангельского государственного технического университета. Имеет 100 печатных работ в области таежного искусственного лесовосстановления.



Таблица 2

Таксационные показатели 46-летних культур, созданных посадкой, по вариантам

Номер варианта	Состав	Средние для сосны		Число растущих деревьев, шт./га		Сумма площадей сечений, м²/га		Запас, м³/га		Полнота	Сохран- ность, %
		высота, м	диаметр, см	сосны	общее	сосны	общая	сосны	общий		
1	5,5С3,9Б0,6Ос, ед.Е	14,8	13,3	1145	2330	15,5	28,6	123	225	0,96	32,5
2	5,0С4,6Б0,3Ос0,1Е	13,6	12,1	1230	2680	14,1	28,9	113	227	1,02	15,8
3	6,3С3,4Б0,3Ос, ед.Е	13,9	13,0	1465	2565	15,7	25,0	117	185	0,87	12,4
4	5,0С4,4Б0,3Ос,0,3Е	14,1	13,7	827	1725	10,2	21,3	78	155	0,74	5,6
5	5,7С4,2Б0,1Ос, ед.Е	14,4	12,7	1535	2775	17,0	31,2	130	228	1,06	22,1
6	6,6С3,3Б0,1Ос, ед.Е	15,1	15,1	873	1750	15,8	24,1	129	196	0,80	17,0
7	5,9С3,8Б0,3Ос, ед.Е	14,4	13,7	1018	1929	14,9	25,8	120	205	0,88	8,4
8	5,9С3,7Б0,2Ос0,2Е	14,1	13,0	993	2340	13,1	22,9	105	177	0,79	6,3
9	5,2С4,7Б0,1Ос, ед.Е	13,8	11,1	1269	2248	12,2	24,0	98	188	0,84	3,3
10	6,4С3,0Б0,5Ос0,1Е	15,9	16,3	729	1452	15,0	24,3	127	199	0,78	40,4
11	7,1С2,8Б0,1Е, ед.Ос	15,4	15,9	750	1427	15,0	22,0	125	176	0,72	19,4
12	7,7С2,0Б0,2Ос0,1Е	14,6	14,1	1075	1682	16,8	22,5	136	177	0,76	22,2
13	8,1С1,6Б0,2Е0,1Ос	14,8	13,4	1481	1959	21,0	26,2	164	202	0,88	21,4
14	6,6С3,2Б0,2Ос, ед.Е	14,7	14,2	1007	1660	16,0	23,5	123	187	0,79	16,3
15	7,0С2,5Б0,5Ос, ед.Е	14,8	12,1	1880	2765	21,6	31,3	175	250	1,05	13,4
Среднее	6,3С3,3Б0,3Ос0,1Е	14,5	13,6	1151	2087	15,6	25,4	125	198	0,86	16,4



Травникова Галина Ивановна родилась в 1945 г., окончила в 1967 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области лесного хозяйства.



Гаевский Николай Петрович родился в 1956 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Архангельского государственного технического университета. Имеет 24 печатные работы в области лесокультурного производства.

СТРУКТУРА И ЗАПАСЫ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Рассмотрено накопление фитомассы посевов и посадок сосны в черничном типе леса. Установлено, что к 37–39-летнему возрасту, в зависимости от первоначальной густоты, запас надземной фитомассы составляет от 208 до 335 т/га. Рассчитан выход массы отдельных фракций фитомассы относительно запаса стволовой древесины.

Accretion of phytomass of pine seedlings and plantings in the blueberry forest is analysed. It has been found out that the epiterranean phytomass makes up to 208–335 t/ha by the time the pine stand reaches the age of 37–39 years. The mass output of separate phytomass fractions has been estimated in relation to the stem wood stock.

Современный лесопромышленный комплекс развивается по пути полного использования всей надземной фитомассы лесных формаций естественного и искусственного происхождения как сырья для химической, парфюмерной и других отраслей промышленности.

Широкое использование фитомассы лесных сообществ в некоторой степени сдерживается отсутствием данных об ее ресурсах. Информация о запасах фитомассы и закономерностях ее формирования в культурфитоценозах Архангельской области немногочисленна по сравнению с аналогичными сведениями для других регионов [2, 5].

Таблица 1

**Краткая лесоводственно-таксационная характеристика
чистых по составу культур сосны**

№ пробной площади	Первоначальная, густота, шт./га	Средние		Возраст, лет	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ /га
		$D_{1,3}$, см	H , м			
2	5550	14,9	14,0	37	1,10	224
7	3100	14,8	15,0	39	1,17	264
8	5560	14,8	15,0	39	1,29	291
3	1550	12,7	14,0	37	0,98	200
26	2500	12,5	13,7	37	1,20	236

Примечание. Пробные площади 2, 7, 8 заложены в посадках, 3, 26 – в посевах.

Нами исследованы запасы фитомассы в 37–39-летних культурах сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) Плесецкого лесхоза Архангельской области (северная часть средней подзоны тайги). Тип леса – сосняк черничный (*Penetum murtillosum*), почва дерново-слабоподзолистая супесчаная, развивающаяся на карбонатном среднем суглинке.

Таксационная характеристика культур (табл. 1) получена повторным пересчетом на пробных площадях, заложенных согласно ГОСТ 16128–70 [3]. Исходными данными для определения запасов фитомассы послужили материалы изучения 10 ... 15 модельных деревьев, взятых вблизи каждой пробной площади (всего 58 моделей). Для определения фитомассы с разделением на фракции достаточно исследовать 6 ... 13 модельных деревьев [1]. По каждой модели взвешивали с точностью до 25 г отдельно все фракции (сухие сучья и живые ветки, древесная зелень, кора и древесина ствола). Под древесной зеленью понимаются охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см [4]. Анализы образцов хвои выполнены в Архангельской областной проектно-изыскательной станции химизации сельского хозяйства по общепринятым методикам.

Полученные в полевых условиях материалы обрабатывали в вычислительном центре АГТУ методом регрессионного анализа. Анализировали следующие модели регрессии: линейную, гиперболическую, степенную, показательную, логарифмическую, параболическую квадратную и кубическую.

По конкретным уравнениям, имеющим наименьшие ошибки (табл. 2), рассчитывали массу фракций для среднего диаметра каждой ступени толщины с последующим умножением на число деревьев ступени. В итоге находили общую массу фракций и всей надземной фитомассы.

Установлено, что в зависимости от метода создания и первоначальной густоты к 37–39-летнему возрасту культуры накапливают от 208 (пробная площадь 3) до 335 т/га (пробная площадь 8) надземной фитомассы.

Анализ фракционного состава древесной зелени свидетельствует о том, что на долю хвои, которая держится на верхушечных побегах 4 года, приходится 73,7 %. Процентное содержание основных элементов

Таблица 2

**Математические модели зависимости отдельных фракций фитомассы
дерева (у) от таксационного диаметра ствола (х) в культурах сосны**

№ пробной площади	Фракция фитомассы	Уравнение регрессии	Ошибка уравне- ния регрессии	Остаточная дисперсия
Пробная площадь 2				
1	Сухие сучья	$y = -7,82 + 1,24 x$	3,64	13,25
2	Ветки	$y = 9,80 - 2,37 x + 0,15 x^2$	3,17	10,07
3	Древесная зелень	$y = -0,64 - 0,45 x + 0,08 x^2$	3,48	12,14
4	Кора ствола	$y = -7,99 + 1,40 x$	3,07	9,46
5	Древесина ствола	$y = 158,56 - 48,66 x + 66 x^2 - 0,11 x^3$	12,12	146,84
Пробная площадь 3				
6	Сухие сучья	$y = 5,19 - 1,20 x + 0,08 x^2$	1,71	2,93
7	Ветки	$y = 5,63 - 1,42 x + 0,10 x^2$	1,01	1,02
8	Древесная зелень	$y = -2,53 + 0,35 x + 0,02 x^2$	1,96	3,84
9	Кора ствола	$y = 6,38 - 2,28 x + 0,30 x^2 - 0,008 x^3$	1,30	1,69
10	Древесина ствола	$y = 4,64 - 0,34 x + 0,47 x^2$	5,56	30,93
Пробная площадь 26				
11	Сухие сучья	$y = 0,31 \cdot 1,21^x$	0,74	0,54
12	Ветки	$y = 60,57 - 20,10 x + 1,75 x^2$	4,55	20,74
13	Древесная зелень	$y = 26,95 - 7,91 x + 0,70 x^2 - 0,01 x^3$	1,53	2,35
14	Кора ствола	$y = 14,0 - 3,72 x + 0,36 x^2 - 0,0008 x^3$	1,27	1,62
15	Древесина ствола	$y = 181,73 - 53,63 x + 5,12 x^2 - 0,12 x^3$	7,52	52,62
Пробная площадь 7				
16	Сухие сучья	$y = 9,37 - 1,90 x + 0,11 x^2$	1,65	2,73
17	Ветки	$y = 66,17 - 16,91 x + 1,28 x^2 - 0,03 x^3$	5,50	30,28
18	Древесная зелень	$y = 15,70 + 2,15 x$	4,46	19,86
19	Кора ствола	$y = 15,06 - 3,44 x + 0,32 x^2 - 0,007 x^3$	0,86	0,74
20	Древесина ствола	$y = 80,98 - 23,70 x + 2,48 x^2 - 0,05 x^3$	8,95	80,20
Пробная площадь 8				
21	Сухие сучья	$y = 0,006 x^{2,63}$	4,72	22,29
22	Ветки	$y = 153,41 - 35,61 x + 2,61 x^2 - 0,06 x^3$	3,10	9,64
23	Древесная зелень	$y = 94,49 - 23,0 x + 1,77 x^2 - 20,04 x^3$	2,70	7,31
24	Кора ствола	$y = -7,40 + 1,23 x + 0,0003 x^2$	0,95	0,90
25	Древесина ствола	$y = -88,75 + 11,0 x + 0,13 x^2$	5,55	30,82

Таблица 3

**Биометрические показатели и химический состав хвои верхушечных побегов средних по диаметру
и высоте деревьев сосны обыкновенной**

Возраст хвои, лет	Длина, см	Ширина, мм	Толщина, мм	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %	Ca, %	Сырая клетчатка, %	Сырая зола, %	Сахар, %	Каротин, мг/кг
Пробная площадь 7											
1	4,46 ± 0,04	1,23 ± 0,01	0,51 ± 0,01	2,16	0,28	0,88	0,23	36,63	3,49	2,15	17
2	5,95 ± 0,03	1,35 ± 0,01	0,57 ± 0,02	1,70	0,16	0,49	0,34	36,17	2,93	4,63	60
3	6,76 ± 0,05	1,48 ± 0,02	0,55 ± 0,02	1,51	0,14	0,40	0,36	33,53	2,84	4,83	89
4	5,94 ± 0,03	1,30 ± 0,01	0,50 ± 0,01	1,49	0,13	0,38	0,50	32,66	2,74	6,98	83
Пробная площадь 224											
1	4,44 ± 0,05	1,39 ± 0,01	0,54 ± 0,01	2,28	0,35	1,00	0,26	37,93	3,46	3,99	11
2	5,87 ± 0,09	1,61 ± 0,03	0,97 ± 0,02	1,74	0,24	0,54	0,37	35,81	3,06	4,62	56
3	6,87 ± 0,04	1,78 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,51	0,16	0,43	0,39	35,17	3,06	5,06	77
4	7,11 ± 0,04	1,53 ± 0,02	0,84 ± 0,02	1,38	0,15	0,37	0,44	31,40	2,81	2,81	80

Примечание. Пробная площадь 224 заложена как повторность пробной площади 3.

минерального питания N, P₂O₅ и K₂O в абсолютно сухом веществе хвои с возрастом уменьшается, а Ca увеличивается от 0,23 ... 0,26 в однолетней до 0,44 ... 0,50 в 4-летней хвое (табл. 3). С повышением возраста хвои растет содержание в ней сахара и каротина. В фракцию древесной зелени, наряду с боковыми побегами, как правило, входят только однолетние верхушечные побеги.

Во всех рассматриваемых культурфитоценозах на долю сухих сучьев приходится наименьший процент надземной фитомассы (4,0 ... 7,5) (табл. 4). Интенсивнее всего сухие сучья накапливаются в культурах с повышенной первоначальной густотой 5550 (пробная площадь 2) и 5560 шт./га (пробная площадь 8), что свидетельствует о более напряженных процессах формирования в них структуры культурфитоценозов.

Масса живых веток, древесной зелени, коры ствола в исследованных фитоценозах примерно одинакова: в посадках соответственно 7,8 ... 9,4; 8,4 ... 11,0; 6,5 ... 9,0 %. Примерно такие же соотношения фитомассы фракций и в посевах. Основная ее часть (67,3 ... 73,3 %) накапливается в древесине ствола.

Повторные исследования на участках культур дают возможность проследить изменения в структуре фитомассы фракций. За 6-летний период общая надземная фитомасса посадок, по данным пробной площади 2, увеличилась всего на 0,9 т/га. Это объясняется отпадом деревьев. Густота 31-летнего древостоя составляла 2162 шт./га [2], 37-летнего – 1719 шт./га. За это время масса сухих сучьев увеличилась на 4969 кг, т. е. на 2,1 %, а масса веток уменьшилась на 2,4, древесной зелени на 0,4 %. За этот же период общая надземная фитомасса посевов, по данным пробной площади 26, увеличилась на 6 т. Почти в 2 раза уменьшилась масса сухих сучьев (от 23 534 до 11 929 кг/га), что свидетельствует об интенсивном очищении стволов от сучьев. Масса сырых веток снизилась почти на 8 т, или на 3,0 %, древесной зелени – от 10,1 до 7,9 %, или на 2,2 %. Масса коры увеличилась на 1,5 т, древесины ствола – на 29 т, или на 9,0 %.

Таблица 4

Запасы надземной фитомассы культур сосны, $\frac{\text{кг/га}}{\%}$

№ пробной площади	Сухие сучья	Ветки	Древесная зелень	Кора ствола	Древесина ствола	Итого
2	<u>18 346</u>	<u>19 135</u>	<u>20 382</u>	<u>22 060</u>	<u>164 097</u>	<u>244 020</u>
	7,5	7,8	8,4	9,0	67,3	100
7	<u>14 210</u>	<u>27 922</u>	<u>31 247</u>	<u>20 509</u>	<u>220 505</u>	<u>314 393</u>
	4,5	8,9	9,9	6,5	70,2	100
8	<u>17 201</u>	<u>31 465</u>	<u>36 872</u>	<u>23 606</u>	<u>226 494</u>	<u>335 638</u>
	5,1	9,4	11,0	7,0	67,5	100
3	<u>9 498</u>	<u>12 450</u>	<u>13 821</u>	<u>19 675</u>	<u>152 617</u>	<u>208 061</u>
	4,6	6,0	6,6	9,5	73,3	100
26	<u>11 929</u>	<u>31 786</u>	<u>23 482</u>	<u>24 073</u>	<u>204 843</u>	<u>296 113</u>
	4,0	10,7	7,9	8,1	69,3	100

Таблица 5

**Масса, кг, фракций фитомассы сосны обыкновенной,
приходящейся на 1 м³ запаса стволовой древесины**

№ пробной площади	Сухие сучья	Ветки	Древесная зелень		Кора
			Побеги	Хвоя	
2	82	85	24	67	98
7	54	105	31	87	78
8	59	108	33	93	81
3	47	62	18	51	98
26	50	134	26	73	102
Среднее	58	99	26	74	91

В целях совершенствования методов учета фитомассы при таксации насаждений нами рассчитан выход массы отдельных фракций относительно запаса стволовой древесины (табл. 5).

Полученные данные могут быть использованы в планировании реализации фитомассы аналогичных насаждений и служить основой биологического метода изучения формирования таежных культурфитоценозов, при котором формирование морфологической структуры лесных экосистем изучается через динамику запаса фитомассы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Аткин А.С. Фитомасса и обмен веществ в сосновых лесах. - Красноярск: ИЛиД, 1984. - 134 с. [2]. Бабич Н.А. Запасы фитомассы 31-летних посевов сосны в средней подзоне тайги Архангельской области // Лесная таксация и лесоустройство. - Красноярск, 1983. - С. 50-57. [3]. ГОСТ 16128-70. Площади пробные лесоустроительные: Методы закладки. - М., 1971. - 23 с. [4]. ГОСТ 21769-76. Зелень древесная хвойная: Технические условия. - М., 1978. - 4 с. [5]. Минин Н.С. К методу учета надземной фитомассы культур сосны // Материалы отчетной сессии по итогам научно-исследовательских работ за 1988 год. - Архангельск: АИЛиЛХ, 1989. - С. 40-42.

Поступила 20 ноября 1995 г.

УДК 630*28

Л.Е. АСТРОЛОГОВА

Астрологова Лидия Евгеньевна родилась в 1939 г., окончила в 1961 г. Архангельский педагогический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и защиты леса Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ по вопросам биологической и хозяйственной продуктивности лесных фитоценозов Архангельской области.



ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ПЛОДОНОШЕНИЕ ЧЕРНИКИ

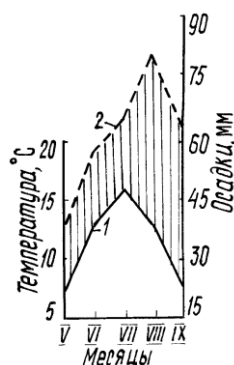
Рассмотрены особенности строения и плодоношения черники в сосняках и ельниках в неурожайные годы. Показано влияние погодных условий, полноты древостоя, особенностей нанорельефа и возрастной структуры популяции на плодоношение отдельных парциальных кустов ягодника.

The peculiarities of blueberry structure and fruitage have been analysed for pine and spruce stands in bad harvest years. The influence of weather conditions is shown as well as stand density, peculiarities of nanorelief and age structure of the populations on the fruitage of some partial shrubs.

Изучение сырьевых ресурсов ягод, в частности черники, на ценопопуляционном уровне позволяет прогнозировать урожай, определять биологическую продуктивность ягодников в целях их рационального использования.

Многолетние наблюдения за плодоношением черники в Архангельской области проводили на стационарных пробных площадях с 1974 г. в спелых сосняках черничных северной и средней подзон тайги. Двадцатилетние исследования показали, что урожай ягод черники сильно варьирует в зависимости от климатических условий [1]. В вегетационные сезоны 1974, 1978, 1981, 1987–1989, 1992 гг. сумма температур и режим осадков были благоприятными и близкими к многолетней «норме» (см. рисунок). Эти условия положительно влияют на плодоношение, в результате популяции черники на пробных площадях имели средние и высокие урожаи ягод (от 60 до 232 кг/га). В остальные годы наблюдений погодные условия значительно отклонялись от «нормы», что отрицательно сказалось на плодоношении кустарничков.

Вегетационный сезон 1975 г. отличался похолоданием и заморозками в период распускания почек и массового цветения черники, в результате урожай оказался минимальным. Низкие температуры июня и июля (ниже нормы соответственно на 1,4 и 2,1 °) замедлили созревание плодов, по-



Климатодиаграмма Госсена – Вальтера по результатам многолетних наблюдений:
1 – температура; 2 – осадки

Таблица 1

Год наблюдений	Месяц сбора	Урожайность черники, кг/га, при полноте древостоя			Масса 100 ягод, г
		0,6	0,7	0,8	
1975	Июль	6,3	-	-	7,80 ± 0,50
1979	»	3,8	-	-	9,20 ± 0,43
1980	»	1,9	4,7	6,0	9,00 ± 0,50
	Август	3,6	6,4	6,1	17,00 ± 1,10
1982	Июль	4,5	-	-	6,00 ± 0,36
1983	»	2,4	-	-	3,80 ± 0,46
1984	Август	28,5	-	-	13,70 ± 1,80
1992	»	46,0	58,8	-	20,00 ± 1,90
1994	»	4,2	5,9	5,4	16,60 ± 1,87

этому на момент учета более 50 % ягод оказались зелеными. На одно модельное растение (парциальный куст) приходилось цветков в 2,0 раза, а плодов в 3,5 раза меньше, чем в данных условиях в урожайном 1974 г. Заморозки весной 1979, 1980, 1982, 1983 гг. и неоднократные в 1994 г. приходились на момент распускания цветочных почек и начало цветения, что резко снизило урожайность черники (табл. 1). В 1992 г. заморозки наблюдались в период массового цветения ягодника, что привело к опадению 52 % всех цветков. В результате при прочих благоприятных условиях урожай ягод составил только 46 кг/га. В 1994 г. температура мая, июня, июля была ниже многолетней соответственно на 2,1; 2,4 и 0,9 °. Это замедлило развитие цветочных почек, а июньские заморозки довели урожайность черники до минимума. Таким образом, в неурожайные годы, как и в урожайные, масса плодов черники варьирует в значительной степени в зависимости от погодных условий. Плодоношение черники в неурожайные годы в спелых сосняках черничных показано в табл. 1.

Важным показателем хозяйственной продуктивности ягодников является масса 100 ягод. В урожайные годы в августе она была более или менее стабильной и колебалась за период наблюдений в условиях средней подзоны тайги от 18,2 до 23,0 г [1]. В неурожайные годы эта величина значительно меньше (табл. 1). Весенние заморозки влияют не только на количество созревающих плодов, что обеспечивает основу урожая, но и на их размеры, о чем свидетельствует масса 100 плодов черники. Некрупные ягоды формируются, если в период цветения наблюдаются заморозки. Это отодвигает сроки созревания, увеличивает число зеленых, неразвившихся и поврежденных ягод. Так, в 1980 г. их доля в урожае составляла 72,7, в 1982 г. 48,0, в 1984 г. 21,0 %. Наибольшее число неполноценных плодов образовалось в 1980 г., когда довольно высокие температуры июня, июля и недостаток осадков (соответственно на 27,0 и 39,2 мм меньше по сравнению с многолетними данными) создали дефицит влаги.

В неурожайные годы влияние полноты древостоя на урожайность популяции ослабевает, но эта зависимость не служит практическим целям,

так как в эти годы сбор ягод не производится. Влияние полноты становится заметным в годы с наличием дефицита влаги, когда древесный полог способствует увеличению относительной влажности воздуха в нижних ярусах леса, что сказывается на размерах плодов, а следовательно, на общем урожае популяции. В июле 1980 г. урожайность ягодника в спелом сосняке черничном при полноте 0,6 составляла 1,9 кг/га, 0,7 – в 2 раза, 0,8 – в 3 раза больше (табл. 1), хотя число плодов на всех пробных площадях было одинаковым (2 шт./м²).

Степень плодоношения кустарничка проявляется и в урожайности отдельных парциальных кустов: в неурожайные годы максимальное количество ягод на одно растение в среднем не превышало 10 ... 20 шт., т. е. в 7–10 раз меньше, чем в годы обильного урожая. При слабом плодоношении на 1 м² популяции черники насчитывается в среднем до 6 плодов. Размещение растений с ягодами также неравномерно. Обычно максимум плодов развивается на особях, растущих на повышениях нанорельефа, соотношение плодоносящих кустиков черники на возвышенных и плакорных местообитаниях равно 3:2. При обильных осадках это различие проявляется в меньшей степени. Так, в 1992 г. в сосняке черничном полнотой 0,7 оно составляло 1,6:1,0. В 1994 г. на положительных элементах рельефа, в микропонижениях и на плакорных участках было собрано соответственно 53, 12 и 35 % ягод. Таким образом, как в урожайные, так и неурожайные годы наиболее благоприятные условия складываются на положительных элементах нанорельефа.

В неурожайные годы, как и при обильном плодоношении популяции черники, максимальных размеров ягоды достигают в августе – сроке полной их зрелости. В это время масса 100 плодов практически удваивается (табл. 1). На данный показатель положительно влияет и количество выпавших осадков. Во влажные сезоны 1992 и 1994 гг. масса 100 ягод приближается к величине урожайных лет.

В 1994 г. была обследована популяция черники в спелом ельнике чернично-сфагновом полнотой 0,7. Под пологом ели в меньшей степени проявляется действие ветра, резких смен температур и режима осадков. В 1994 г., неурожайном для черники, масса плодов в популяции сосняка черничного оказалась в 2 раза меньше, чем в ельнике (табл. 2), несмотря на разницу в проективном покрытии кустарничка, причем масса 100 ягод в ельнике также выше (табл. 2).

Изучение популяции черники в ельнике чернично-сфагновом показало, что данный вид имеет здесь ряд индивидуальных экологических и биологических особенностей. Как отмечал В.Б. Гедых [2], в ельнике проек-

Таблица 2

Состав древостоя	Полнота	Покрытие черники, %	Масса 100 ягод, г	Число плодов на 1 м ²	Урожайность, кг/га
7Е1С2Б	0,7	50	18,30 ± 1,80	6,00 ± 0,78	12,8
9С1Лц, ед. Е,Б	0,7	70	16,40 ± 1,75	3,00 ± 0,18	5,9

Таблица 3

Древостой с популяцией черники	Высота куста, см	Число побегов, шт.	Годичный прирост, см	Диаметр ягод, см	Число плодов в кусте
Сосняк черничный	$23,8 \pm 2,3$	$25,00 \pm 2,67$	$4,80 \pm 1,07$	$1,20 \pm 0,30$	4
Ельник чернично-сфагновый	$11,5 \pm 0,9$	$28,00 \pm 1,45$	$6,20 \pm 0,95$	$1,80 \pm 0,91$	8

тивное покрытие черники оказывается меньше, а обилие больше, чем в сосновом насаждении. Подобная закономерность прослеживается и на нашей пробной площади. Наличие в ельнике сфагнума в моховом ярусе оказывает двойное воздействие на чернику. С одной стороны, он удерживает влагу, что благоприятно сказывается на плодоношении в засушливые лета, а с другой – постоянное погружение побегов кустарничка в слой мха задерживает их рост. Таким образом, в неблагоприятном 1994 г. относительная высота парциальных кустов ягодника в ельнике была в 2 раза ниже, чем в сосновом древостое (табл. 3).

Диапазон высот кустарничка в ельнике значителен: от 5,2 см в микропонижениях, где побеги практически «похоронены» в слое мха, до 15,8 см на положительных элементах нанорельефа. Несмотря на различие высот у черники в популяциях сосняка и ельника, количество побегов в парциальных кустах оказывается близким (табл. 3). Микроклиматические условия ельника чернично-сфагнового обеспечивают лучшую сохранность цветков, в результате количество формирующихся на растении плодов здесь в 2 раза больше, чем в сосняке черничном. Подобная закономерность прослеживается и в величине годичного прироста побегов черники (табл. 3). Повышенная влажность в еловом древостое положительно влияет на массу, а следовательно, и размеры ягод, которые достигают диаметра 1,8 см, в то время как в сосновом древостое показатели в 1,5 раза меньше. Следовательно, экологическое своеобразие ельника способствовало увеличению прироста и интенсивности плодоношения, поэтому популяция черники в этих древостоях более продуктивна.

Изучение возрастной структуры черничных популяций в сосняке показало преобладание особей 3–6-летнего возраста. Из 100 модельных растений 81 имели побеги от 3 до 6 лет, 17 – от 7 до 10 лет, два растения были двухлетними. Среди учтенных моделей плодоносили 62 куста черники, из них 1/3 составляли 5-летние особи.

В ельнике возрастной спектр популяции ягодника был несколько иным: самые молодые особи 1 ... 3 лет составляют 32 % моделей, 4-6-летние растения – 56 %, а более зрелые особи от 7 до 14 лет – 12 %. Среди модельных растений черники 74 особи были с ягодами, причем 60 % из них имели возраст 3 ... 6 лет. Таким образом, рассматриваемые популяции черники можно назвать молодыми, причем на повышениях нанорельефа преобладают средневозрастные особи 4 ... 7 лет, в понижениях – молодые 2–3-летние. Подобную закономерность отмечал С.Я. Тюлин [3] в древостоях Карелии.

Данные наблюдений за развитием черники в разных популяциях елового и соснового древостоев показали, что закономерное увеличение урожая ягод наблюдается в еловой популяции, где данный вид находится в лучших эколого-фитоценологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Астрологова Л.Е. Урожай ягод черники в сосняках черничных Архангельской области // Лесн. журн. - 1992. - № 4. - С. 74-78. (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Гедых В.Б. Дневной ход радиационного баланса черничной заросли // Тр. БелНИИЛХ. - 1972. - Вып. 22. - С. 48-54. [3]. Тюлин С.Я., Мазная Е.А. Некоторые характеристики структуры ценопопуляции черники // Изучение лекарственных растений Карелии: Сб. КарНЦ АН СССР, 1991. - С. 79-101.

Поступила 10 октября 1995 г.

УДК 631.524

П.М. МАЛАХОВЕЦ, В.А. ТИСОВА



Малаховец Петр Михайлович родился в 1935 г., окончил в 1957 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур Архангельского государственного технического университета. Имеет около 60 печатных трудов в области исследования лесных культур и интродукции древесной растительности.



Тисова Валентина Александровна родилась в 1951 г., окончила в 1974 г. Архангельский лесотехнический институт, заведующая дендрарием Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных трудов в области интродукции древесной растительности.

ПЛОДОНОШЕНИЕ ИНТРОДУЦЕНТОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Проанализирована семенная продуктивность древесной растительности при интродукции. Выявлены основные причины задержки и отсутствия плодоношения.

The seed productivity of introduced tree plants is analysed.
The main reasons of fruit-bearing setback and absence are revealed.

Плодоношение интродуцентов – важнейший показатель их адаптации к новым условиям. Полный цикл онтогенетического развития растений свидетельствует об успешности интродукции.

Плодоношение изучали в дендрарии АГТУ в течение 20-летнего периода. Обилие цветения и плодоношения оценивали по шкале В.Г. Каппера. Состояние коллекции дендрария по генеративному развитию приведено в табл. 1. Как видно из таблицы, 180 растений, или 64,5 % состава коллекции, плодоносят, 6 интродуцентов, или 2,2 %, только цветут, 93 вида, или 33,3 %, не цветут.

Группа растений цветущих, но не образующих доброкачественных семян, включает интродуценты, которым для прохождения генеративного цикла недостает солнечной радиации или их развитие не укладывается в изменившийся вегетационный период. Помимо внешних условий здесь могут проявляться и более сложные связи, вызываемые генетическими и физиологическими причинами [3]. Из этих пород в дендрарии есть акантопанакс си-

Таблица 1

Семейство	Число видов			Всего
	вегетирующих	цветущих	плодоносящих	
Аралиевые	-	1	-	1
Барбарисовые	8	-	7	15
Березовые	-	-	6	6
Бересклетовые	2	-	4	6
Бобовые	4	-	8	12
Буковые	-	-	1	1
Гортензиевые	3	-	6	9
Жимолостные	6	-	21	27
Ивовые	6	-	3	9
Ильмовые	1	-	2	3
Кизиловые	3	-	5	8
Кипарисовые	-	1	-	1
Кленовые	5	-	10	15
Крушиновые	-	-	7	7
Крыжовниковые	1	2	6	9
Лециновые	-	-	1	1
Липовые	-	-	4	4
Лоховые	2	-	-	2
Лютиковые	2	-	1	3
Маслиновые	10	-	10	20
Розовые	39	1	73	113
Сосновые	1	1	5	7
Итого	93	6	180	279

дьячецветный, туя западная, смородина золотая и маньчжурская, кедр сибирский, слива китайская.

Значительная часть коллекции (33,3 %) представлена растениями, которые не цветут. Причины отсутствия цветения и плодоношения неодинаковы. Есть виды, не достигшие возраста возмужалости, а также характеризующиеся низкой зимостойкостью. В связи с тем, что у многих пород к концу лета в почках возобновления полностью формируется побег будущего года, включая соцветия и отдельные цветки, при ежегодном обмерзании побегов гибнут и генеративные почки.

Низкая зимостойкость является причиной отсутствия плодоношения у 21 породы, среди которых бузина черная, бобовник альпийский, хеномелес японский, боярышник однопестичный и сливолистный, барбарис стройный, японский и др.

В суровых условиях Севера у большинства интродуцентов увеличился ювенильный период онтогенеза. В связи с этим инорайонные породы в Архангельске вступали в фазу плодоношения позднее, чем на родине.

Первое плодоношение некоторых кустарников наблюдалось в 3-4 года, однако у наибольшего числа видов с 5 ... 8 лет (табл. 2). Многие боярышники, барбарисы (стройный, острый, японский) и жестер даурский вступили в генеративную фазу в возрасте 11 ... 13 лет, жестер маслиновидный и японский в 15, а боярышник точечный и шамплеинский в 20 лет. У деревьев меньше возможностей для семенного размножения. Возраст начала семеношения деревьев колебался от 8 до 30 лет. Раньше других (в 8 ... 10 лет) стали плодоносить ольха черная и японская, яблони, клены татарский, ясенелистный, зеленокорый и полевой, черемуха Маака, позднее ясень обыкновенный, лиственница японская, липа американская, пихта сибирская, дуб черешчатый.

В ходе акклиматизации под влиянием природно-климатических условий у местных поколений ряда интродуцентов изменилась продолжительность ювенильного периода. Так, у дуба черешчатого во втором поколении сроки перехода к репродуктивному развитию сократились на 10 лет, у клена желтого и ясеня обыкновенного на 4 года.

Большинство интродуцентов начали плодоносить в год первого цветения или спустя 1-2 года. Однако у таких пород, как смородина маньчжурская и клен остролистный Шведлера, период между этими фазами растянулся на 17 ... 20 лет.

Таблица 2

Жизненная форма интродуцентов	Число видов								
	общее	по возрасту первого плодоношения, лет							
		3-4	5-6	7-8	9-10	11...15	16...20	21...30	31...40
Деревья	69	-	2	16	11	21	12	5	2
Кустарники	115	32	57	13	2	8	1	1	1

В начальный период плодоношения растения формируют, как правило, незначительное количество семян, жизнеспособность которых у разных видов далеко неодинакова. По наблюдениям ряда исследователей [4, 5], семена интродуцентов в первые 3-4 года после вступления в генеративную фазу нередко бывают полностью невсхожими. Такое явление отмечено у бересклетов бородавчатого, европейского, кленов татарского, остролистного и желтого, вишни, черемухи пенсильванской, раkitника, липы мелколистной и ореха маньчжурского. В течение 8 ... 10 и более лет семена низкого качества продуцировали клен ясенелистный, липа американская, вяз гладкий.

После вступления интродуцентов в пору устойчивого плодоношения одни породы (68,5 %) цветут и плодоносят ежегодно или почти ежегодно; другие (20,0 %) периодически, третьи (11,5 %) только в годы с наиболее благоприятными метеорологическими условиями.

К первой группе относятся прежде всего кустарники, из деревьев береза ильмовидная, боярышники черный, Шредера, зеленомясый, вяз гладкий, ильм горный, липы мелколистная, американская и др. Большинство растений этой группы являются представителями Дальнего Востока: боярышник даурский, ольха японская, сирень мохнатая, Звегинцова и бархатистая, бузина Зибольда и камчатская, жимолость золотистая; Сибири – лиственница даурская, бузина сибирская, жимолость татарская сибирская, сибирская алтайская и др.; Северной Америки – боярышник вееролистный, Грея, зазубренный, дерен отпрысковый, ирга колосистая и обильноцветущая, пузыреплодник калинолистный. Встречаются интродуценты из Западной Европы: боярышник черный, сирень венгерская, смородина альпийская.

Вторая группа растений представлена такими видами, как дуб черешчатый, пихта сибирская, липа кавказская, клены ясенелистный и калифорнийский.

Породы третьей группы – дерен опушенный, сирень обыкновенная, клены остролистный Шведлера и зеленокорый, роза морщинистая, жестер японский, пузыреплодник смородинолистный и др.

Начало цветения и плодоношения интродуцентов в значительной степени определяется метеорологическими условиями. Наибольшее количество генеративных почек закладывается в годы, когда в июле и августе лета, предшествующего году цветения, выпало мало осадков и стояла теплая и жаркая погода. Возвращение холодов с заморозками в июне зачастую является причиной гибели цветочных почек и завязей. Однако, как показало изучение обилия плодоношения, не все виды деревьев и кустарников одинаково реагируют на изменение погодных условий в период закладки и формирования генеративных органов (табл. 3). Так, среднюю оценку интенсивности плодоношения 3 балла и выше имели 114 видов, или 63,7 %, менее 3 баллов – 65 видов, или 36,4 %, в том числе менее 2 баллов – 27 пород.

К породам, у которых хорошие и обильные урожаи наблюдались в течение двух лет, относятся чубушник тонколистый, бузина Зибольда, дерен Бейли, снежногидник белый, слива колючая, роза сизая; 3-4 лет – си-

Таблица 3

Род	Балл плодоношения			Общее число видов
	IV – V	III	I – II	
Барбарис	1	2	6	9
Береза	0	2	2	4
Бересклет	0	2	2	4
Боярышник	1	11	7	19
Бузина	1	4	1	6
Вишня	0	1	0	1
Вяз	1	1	0	2
Гортензия	0	0	2	2
Дерен	0	4	2	6
Дуб	0	0	1	1
Жестер	0	4	2	6
Жимолость	2	3	4	9
Ирга	1	1	0	2
Калина	1	0	2	3
Карагана	4	4	0	8
Кизильник	1	3	2	6
Клен	1	1	8	10
Крушина	0	1	2	3
Крыжовник	0	0	1	1
Липа	2	1	1	4
Лиственница	0	2	1	3
Магония	0	1	0	1
Ольха	0	2	0	2
Пихта	0	0	1	1
Пузыреплодник	2	0	1	3
Ракитник	0	1	0	1
Роза	3	7	3	13
Рябина	1	1	3	5
Сибирка	0	0	1	1
Сирень	3	3	3	9
Слива	0	0	1	1
Смородина	0	4	2	6
Снежноягодник	0	1	1	2
Спирея	4	4	0	8
Черемуха	2	1	2	5
Чубушник	0	3	1	4
Яблоня	3	5	0	8
Ясень	0	0	1	1
Всего	34	80	65	180

рень венгерская, боярышник алмаатинский, крушина японская и ломкая, липа кавказская и др.; 5 лет и более – сирень мохнатая и Генри, жимолости татарская, обыкновенная и золотистая, черемуха Маака, клены татарский и остролистный, липа американская и др.

За весь период фенологических наблюдений не отмечено урожаев с баллом 4-5 у таких пород, как сирень обыкновенная, клен калифорнийский и ясенелистный, бересклет широколистный, липа сибирская, барбарис обыкновенный, рябина черноплодная, ясень обыкновенный и др.

Установлено, что по сравнению с цветением интенсивность плодоношения инорайонных пород ниже и более изменчива по годам.

У ряда интродуцентов плодоношение зависит от биологических особенностей опыления цветков. Так, у боярышников наряду с опылением насекомыми наблюдается и самоопыление [1]. Наши опыты показали, что способность к самоопылению у разных видов выражена неодинаково. Если у боярышника зеленомясого на ветвях, помещенных перед началом цветения в бумажные изоляторы, образовалось 44,7 % завязей от числа цветков, то у кровавокрасного 3,6 %. Однако при свободном опылении завязалось плодов в 1,9-7,8 раза больше по сравнению с самоопылением (кроме боярышника зеленомясого). В то же время на контрольных ветвях опад оказался на 4,2 ... 19,2 % больше, чем на ветвях с изоляторами.

Итак, при выращивании инорайонных пород в условиях Севера отмечается увеличение ювенильного периода онтогенеза. В фазу возмужалости они вступают позднее, чем в естественных условиях произрастания. В то же время в ходе акклиматизации у местных поколений ряда видов изменяется генеративный цикл и сокращаются сроки возмужалости.

После начала плодоношения у значительной части интродуцируемых видов оно происходит регулярно со средней интенсивностью 3 балла и выше. Отсутствие цветения и плодоношения у некоторых из них объясняется низкой зимостойкостью и недостаточной теплообеспеченностью вегетационного периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бобореко Е.З. Боярышник. - Минск: Наука и техника, 1974. - 221 с. [2]. Малаховец П.М., Тисова В.А. Зимостойкость интродуцированных древесных растений в условиях Севера // Лесн. журн. - 1995. - № 2-3. - С. 25-30. - (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Некрасов В.И. Основы семеноведения древесных растений при интродукции. - М.: Наука, 1973. - 276 с. [4]. Орлов Ф.Б. Предварительные результаты интродукции древесных и кустарниковых пород в дендрарии АЛТИ // Тр. АЛТИ. - 1957. - Вып. 17. - С. 150-158. [5]. Орлов Ф.Б., Тарабрин В.П., Малаховец П.М. Некоторые вопросы акклиматизации и интродукции деревьев и кустарников в условиях Севера // Тр. АЛТИ. - 1969. - Вып. 21. - С. 24-29.

Поступила 6 марта 1996 г.

УДК 630*2:630*425

В.Ф. ЦВЕТКОВ

Цветков Василий Фролович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, социальной экологии и охраны окружающей среды на Севере.

ЛЕСОВОДСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

На материалах долговременных исследований в зоне деятельности комбината «Североникель» прослежены состояние и динамика лесных площадей и лесных насаждений. Предложены основные принципы сохранения и восстановления нарушенной природной среды с помощью приемов лесоразведения, лесовосстановления, ухода за лесом, мелиораций и рекультиваций.

Conditions and dynamics of forest areas and forest stands have been traced on the materials of long-term investigations within the operation zone of «Severonickel» mill. The main principles have been suggested on nature conservation and regeneration of the contaminated environment based on forestation, forest regeneration, care of stands, reclamation and recultivation.

Лесная растительность в условиях Субарктики – наиболее действенный и эффективный фактор природной среды, поэтому проблема ее сохранения в условиях техногенного пресса приобретает особую актуальность [3–5, 8, 12]. Стоит вопрос о сохранении естественной поглотительной способности ландшафта и буферности растительного покрова по отношению к эмиссиям газов. Весьма важной становится задача сохранения и повышения биологической продуктивности насаждений и восстановления лесной растительности на уже обезлесенных территориях. Лесоводственным подходам к

сохранению природного равновесия на техногенно измененных территориях сегодня не уделяется должного внимания.

Появился новый экологический фактор – аэротехногенное загрязнение, обуславливающее широкомасштабную деградацию лесов и ухудшение лесорастительных условий. Он делает актуальной выработку «ответных» лесоводственных стратегий и приемов. В основе их должно быть изучение изменений лесных экосистем под влиянием пресса загрязнения.

Изменения в состоянии, структурной организации, продуктивности насаждений, росте деревьев и древостоев изучали на постоянных и временных пробных площадях в районе деятельности комбината «Североникель» (Мончегорский лесхоз и Лапландский биосферный заповедник Мурманской области). Оценивали закономерности лесовозобновительных процессов в разных условиях произрастания и при различных уровнях загрязнения, в том числе при разном участии сопутствующих загрязнению других антропогенных воздействий. Важное место отводилось оценке эффективности различных лесоводственных мероприятий на территориях, подверженных эмиссиям газов. Изучали изменения лесорастительных почвенных условий, в том числе нарушенных и загрязненных почв после различных приемов биологических и химических мелиораций. Исследования проводили одновременно с нормированием аэротехногенного загрязнения [2, 6, 7, 11, 13, 14]. Использовали как традиционные лесоводственные, лесоводственно-геоботанические приемы, так и экспериментальные методы растениеводства.

В соответствии с лесорастительным районированием [16] район исследований располагается на границе притундровой и северотаяжской подзон. Основную часть территории (около 60 %) составляют лесные, болотно-лесные, горно-лесотундровые ландшафты. Леса таяжно-субарктического типа имеют невысокую продуктивность. Доминирующими коренными формациями являются еловые с березой и сосновые. Среди производных насаждений преобладают сосновые, березово-сосновые и березово-ивовые II-III классов возраста. На части площадей производные насаждения представляют собой лесотундровые группировки.

За предшествующий период освоения края его природа претерпела существенные изменения. Лесистость снизилась на 12 %. На момент обследования площадь лесов в районе составляла 45 % от общей. Среди лесных территорий, подвергающихся загрязнению, примерно 16 % занимают вырубки разной давности, в том числе с лесовозобновлением разной успешности. Насаждения, пройденные пожарами за последние 50 лет, занимали около 10 %, вырубки, пройденные пожарами (чаще неоднократными), – примерно 11 %.

Чем ближе источник загрязнения, тем больше представлены пустыри, погибшие насаждения, вырубки и гари. Одновременно сокращается доля площадей, испытывающих влияние только одних эмиссий газов. С приближением к заводу и городу возрастает вклад рекреационных нагрузок, загрязнения бытовыми отходами, механических повреждений напочвенной

растительности, почв и литогенной основы ландшафта в разрушение природных комплексов. Таким образом, влияние поллютантов необходимо оценивать на фоне разнообразного антропогенного пресса.

Под «факелом» промвыбросов в районе г. Мончегорска находится примерно 380 ... 400 тыс. га. На этой территории концентрация сернистого газа как основного загрязнителя в 7–280 раз выше фонового содержания его в воздухе. Очаг загрязнения постоянно расширяется. За последние два десятилетия общая его площадь увеличивалась в среднем на 5 ... 7 тыс. га в год. Этот рост продолжается, несмотря на обозначившееся снижение объемов выбросов газов в атмосферу. Следовательно, дигрессия лесных экосистем под влиянием загрязнения среды обладает известной инерционностью, определяемой эффектом «накопления воздействия». С этим же явлением связана способность насаждений длительное время «сдерживать» нагрузку поллютантов, не проявляя внешних признаков повреждения.

Под влиянием промвыбросов происходят негативные изменения в структуре лесного фонда, в частности в породном составе насаждений. Последовательно сокращается доля хвойных лесов, возрастает участие в лесном фонде низкоствольных березняков и ивняков, а также лиственных в составе сосняков и ельников. Происходит характерное для подобных ситуаций [1, 5, 6, 9] упрощение структуры биогеоценозов, снижается общая биологическая продуктивность лесных экосистем. Уменьшается видовое разнообразие биогеоценозов. Из их состава выпадают зеленые мхи, многие виды напочвенных кустарничков. Быстрее всего обедняется лишенофлора. В насаждениях уменьшается общая живая фитомасса, особенно в высоковозрастных. В средневозрастных сосняках брусничного типа даже при слабом повреждении отмечено снижение массы живого вещества на 10 ... 15 %. На 65 ... 70 % это потери ассимиляционного аппарата. Средняя продолжительность функционирования хвои здесь снизилась на 1,3 года.

При изреживании полога вследствие дефолиации пропорционально увеличивается скорость прохождения транзитом поллютантов, отношение поступления и седиментации (осаждения) сернистого газа. Если в насаждениях без признаков дефолиации и ослабления это отношение равно 2,0, то в слабо поврежденных может достигать 2,5. Это означает снижение общей емкости поглощения насаждением, его фильтрационных свойств. Можно предполагать, что оно связано напрямую с уменьшением общей фитомассы или годичной продукции. Однако в последующем следует ожидать, что сорбционные способности будут снижаться быстрее, чем фитомасса.

Вследствие неравномерности выпадения дымо-газовых эмиссий в пространстве и разной толерантности лесных биогеоценозов в зоне загрязнения насаждения находятся на разных этапах деградации [5, 11, 12]. Скорость деградации может быть различной. По уровню текущего загрязнения и степени деградации вся территория нами разделена на несколько условных зон: со слабым, умеренным, сильным и очень сильным влиянием загрязнения.

Деградация растительности сопровождается загрязнением почв соединениями металлов и серы. Распределение элементов-загрязнителей по профилю почвы определяется органогенной составляющей, а также содержанием в ней мелкодисперсной (илистой) части. С увеличением содержания органики и илистых фракций емкость накопления поллютантов возрастает. Никель обладает меньшей активностью и способностью мигрировать по сравнению с медью. Наиболее интенсивно загрязняются почвы вблизи комбината [8, 10, 15]. За последние десять лет содержание меди и никеля в почвах вырубок-гарей в санитарно-защитной зоне возросло на 20 ... 240 %. Наибольшее накопление отмечено на участках с грубогумусной лесной подстилкой, наименьшее – на эродированных участках. В последнем случае отмечен активный транзит металлов.

Сильно загрязненные почвы приобретают неблагоприятные свойства. Субстраты с содержанием меди более 1000 и никеля более 2000 мг/кг в жестких микроклиматических и эдафических условиях обезлесенных пустошей оказываются практически стерильными для семян древесных пород. В этих условиях оказывается ощутимым превышение концентраций фонового уровня по металлам на два порядка. При более низких уровнях загрязнения влияние металлов на рост и развитие растений трудно вычленивать из общего фона неблагоприятных факторов.

На завершающих этапах распада древостоев активизируются процессы разрушения других ярусов растительности и почвенного покрова. Мохово-лишайниковый и травяно-кустарничковый ярусы, а затем и почва более интенсивно разрушаются после рубки древостоя, в особенности после рубки и пожара. Под влиянием только эмиссий газов, даже при очень высоких концентрациях токсикантов, за 50 лет деятельности комбината не произошло разрушения почвы. Конечной стадией деградации экосистемы (ельник черничный или вороничный) является захламленная редина из угнетенных подлесочных кустарников, резко угнетенного подроста. В тех же условиях, но после рубки с последующим пожаром уже через 35 ... 37 лет образуется эродированная техногенная пустыня.

Разрушение почв в зоне влияния промвыбросов сегодня отмечено уже на тысячах гектаров. Эрозионные процессы прогрессируют. Если в середине 80-х гг. в условиях ельника вороничного эрозионные «язвы» отмечались на удалении 12 км, то в начале 90-х гг. уже 15 ... 17 км. Показательно, что дефляционные процессы не развиваются или очень слабо выражены на участках с несрубленными древостоями.

Среди мер по сохранению природных комплексов в зоне деятельности медно-никелевых заводов Заполярья важное место должно занять бережение лесов, которому после мер технического порядка (изменение технологий) следует отдать безусловный приоритет. Лесоводственная программа оздоровления окружающей среды и сохранения природных комплексов должна основываться на следующих принципиальных положениях.

1. Лесная растительность в условиях Субарктики является наиболее действенным фактором природной среды. Она определяет общую экологи-

ческую емкость ландшафта в зоне деятельности промышленных предприятий, в частности медно-никелевых заводов. Поэтому сохранение, восстановление и повышение устойчивости лесов, прилегающих к промышленным предприятиям территорий, следует считать главным условием поддержания приемлемых условий окружающей среды.

2. При хроническом загрязнении леса, накопив определенный объем поллютантов, начинают деградировать. Высокая их сорбционная способность падает. При больших нагрузках вредных веществ эти процессы приобретают необратимый характер.

3. В районах с интенсивным аэротехногенным загрязнением в центре внимания лесохозяйственных предприятий должны быть меры по сохранению лесов и повышению их устойчивости. Очевидно, что большую часть затрат на эти работы обязаны взять на себя предприятия - виновники ухудшения состояния окружающей среды.

4. В лесохозяйственной деятельности на территориях, испытывающих влияние промвыбросов, необходимо принимать во внимание неравномерность и неоднородность уровней текущего и накопленного загрязнений. Мероприятия следует дифференцировать с учетом загрязнения, лесоводственных и санитарно-патологических характеристик конкретных участков, глубины разрушения экосистем и техногенной деградации экотопа. При этом надо иметь в виду, что под влиянием поллютантов происходит выравнивание условий лесорастительной среды.

5. Основу лесоводственной стратегии должен составлять комплекс лесовосстановления и ухода за насаждениями и почвами. Наряду с традиционными могут найти применение приемы из арсенала «промышленной ботаники». На больших площадях потребуются лесоразведение.

6. Важное условие проведения лесохозяйственных и ландшафтно-реабилитационных мер – энергичное продолжение обозначившегося в последние годы направления на снижение объемов выбросов.

7. Учитывая способность молодняка выживать под защитой остатков исходного насаждения или повышений рельефа, лесовосстановление следует осуществлять с определенным опережением, не дожидаясь снижения уровня загрязнения до норм. В зависимости от конкретных условий лесовосстановительные работы или меры по лесоразведению могут начинаться за 5 ... 20 лет до установления на участке приемлемой концентрации токсикантов.

8. Лесовосстановление и лесоразведение должны быть поэтапными. Первоначально на основе приемов мелиораций необходимо культивировать местные листовые газоустойчивые кустарники и древесные породы. В дальнейшем под их защитой и при определенном снижении нагрузок поллютантов создаются культуры хвойных пород, в том числе интродуцированных. Следует принять тактику «наступления на очаг».

9. Важное место в программе должен занять комплекс мер по последовательной замене гибнущих высоковозрастных хвойных насаждений

молодыми, изначально смешанными по составу. Хорошие результаты могут дать приемы естественного облесения редины – распадающихся насаждений.

10. Широкое распространение должны получить химические мелиорации, технико-химические и биологические рекультивации нарушенных земель. Потребуются большие работы по известкованию и торфованию почв.

11. В санитарно-защитных зонах и на землях города меры по лесоразведению следует проводить в комплексе с работами по облагораживанию и рекреационному обустройству территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алексеев В.А., Ярмишко В.Т. Влияние атмосферного загрязнения на структуру и продуктивность сосняков Европейского Севера // Влияние промышленного загрязнения на лесные экосистемы и мероприятия по повышению устойчивости. - Каунас: Гирионис, 1984. - С. 65. [2]. Баркан В.Ш. Опыт использования пассивных окисно-свинцовых поглотителей для оценки концентрации сернистого газа в атмосфере // Экология. - 1992. - № 4. - С. 37-44. [3]. Дончева А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. - М.: Лесн. пром-сть, 1978. - 96 с. [4]. Крючков В.В. Современные проблемы охраны биосферы на Кольском Севере // Проблемы экологии Полярной области: Тр. школы-семинара. - Мурманск, 1980. - С. 59-70. [5]. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Ред. В.А. Алексеев. - Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. - 198 с. [6]. Мак Кленахен Д. Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей // Взаимодействие между лесными экосистемами и атмосферными загрязнителями. Ч. 1. - Таллин, 1982. - С. 76-96. [7]. Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий в Мурманской области / Подг. В.Ф. Цветков. - Архангельск: АИЛиЛХ, 1990. - 18 с. [8]. Никонов В.В., Лукина Н.В. Биохимические функции лесов на северном пределе распространения. - Апатиты: Кольск НЦ, 1994. - 312 с. [9]. Пьявченко Н.И., Второва В.Н. О влиянии техногенных эмиссий на растительность Севера // Проблемы биосферы: Информ. бюл. науч. совета по проблемам биосферы АН СССР. - М., 1985. - № 4. - С. 4-39. [10]. Сизов И.И., Цветков В.Ф. О токсичности загрязненных промышленными выбросами почв для древесных и кустарниковых пород // Взаимовлияние лесных экосистем и загрязнителей: Тез. докл. I сов.-америк. симпоз. по проекту 02.03-21. - Таллин, 1982. - С. 117-119. [11]. Цветков В.Ф. Оценка нагрузок аэротехногенного загрязнения на хвойные леса Кольского полуострова Проблемы комплексного использования и оптимизация природных ресурсов Кольского полуострова: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Апатиты: Кольск НЦ, 1989. - С. 118-119. [12]. Цветков В.Ф. Повреждение лесов промышленными выбросами медно-никелевого комбината в Мурманской области // Ботанические исследования за Полярным кругом. - Кировск: Кольск. отдел. Ботанич. общ-ва, 1990. - С. 185-195. [13]. Цветков В.Ф. Нормирование загрязнения среды применительно к лесам Мурманской области // Эколого-географические проблемы сохранения и восстановления лесов Севера: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. - Архангельск, 1991. - С. 122-124. [14]. Цветков В.Ф., Баркан В.Ш. Использование постов контроля загрязнения воздуха и метеонаблюдений при разработке ПДК сернистого газа для лесов // Полярная метеорология на службе народного хозяйства: Тез. докл. I Всесоюз. науч. конф. - Мурманск, 1987.

- С. 134-136. [15]. Цветков В.Ф., Сизов И.И., Панкратова Р.П. Лесорастительные условия в зоне влияния промвыбросов комбината «Североникель» на Крайнем Севере // Матер. отчета сессии по итогам НИР в десятой пятилетке (1976-1980). - Архангельск: АИЛиЛХ, 1981. - С. 23-24. [16]. Цветков В.Ф., Чертовской В.Г. Классификационные типологические схемы и лесорастительное районирование Мурманской области. - Архангельск: АИЛиЛХ, 1978. - 35 с.

Поступила 19 мая 1995 г.

УДК 630*970

А.В. ЛЕБЕДЕВ



Лебедев Александр Васильевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и защиты леса Архангельского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных работ в области исследования патологии и устойчивости хвойных древостоев.

ПАТОЛОГИЯ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКЕ

Рассмотрены результаты изучения патологии и устойчивости деревьев ели в различных условиях рекреационной нагрузки. Установлены основные факторы нарушения жизнестойкости деревьев ели. Дана характеристика деятельности дереворазрушающих грибов и стволовых насекомых.

The results of investigating pathology and stability of spruce trees in different conditions of recreational load have been analyzed. The main factors of breaking the viability of spruce trees are determined and the activity of wood-destroying fungi and wood borers is characterized.

Изучение влияния рекреации на лесные биогеоценозы и роли лесопатологических факторов в лесах зеленых зон городов входит в ряд актуальных задач лесной науки и имеет важное практическое значение [2, 10, 11]. Необходимость решения поставленной задачи очевидна и для ельников Московской области, которые сильно страдают от рекреационных и патологических воздействий [1, 12 – 14]. Данная работа является продолжением исследований патологии и устойчивости рекреационных ельников на территории Учинского леспаркхоза [3–9].

Исследования проводили в высокобонитетных среднеполнотных ельниках-кисличниках V класса возраста на девяти безразмерных пробных площадях. Пробы закладывали в наиболее типичных участках леса в соответствии с посещаемостью и степенью рекреационной нагрузки (незначительная, умеренная, повышенная). Зоны посещаемости выделяли на основании подсчета единовременно отдыхающих в выходные дни. Степень рекреационной нагрузки устанавливали по совокупности объективных показателей, числовые характеристики которых приведены в нашей предыдущей работе [6]. На каждой пробной площади выполняли сплошной пересчет 100 деревьев ели по 4-сантиметровым ступеням толщины. Для каждого дерева отмечали категорию состояния по шкале, распространенной в лесозащите: здоровые – без признаков ослабления, повреждений и заболеваний; ослабленные – с ажурной кроной, укороченным приростом побегов и поврежденные в слабой или средней степени; больные – сильно ослабленные, сильно травмированные и с признаками грибных заболеваний; мертвые – усохшие в текущем году или ранее. Одновременно тщательно осматривали каждый экземпляр ели, устанавливали и фиксировали причины ослабления, повреждения и гибели деревьев, выявляли и регистрировали видовой состав вредителей и возбудителей болезней. Зараженность деревьев корневой губкой диагностировали по утолщению комлевой части ствола и кернам, взятым возрастным буром. Видовой состав возбудителей других грибных заболеваний ели устанавливали по плодовым телам грибов, характерным признакам гнилей и их местоположению. Видовую принадлежность стволовых вредителей определяли по фазам развития насекомых и нанесенным ими повреждениям деревьев.

Кроме того, на пробных площадях и вблизи них анализировали свежеселенные ветровальные и буреломные деревья в целях выявления возбудителей гнилевых болезней и насекомых-ксилофагов, повреждающих ослабленные и отмирающие растения. Все данные заносили в специальную ведомость лесопатологического обследования древостоя.

Распределение деревьев ели по ступеням толщины и категориям состояния в зависимости от степени рекреационной нагрузки приведено в табл. 1. Данные в зоне умеренной рекреационной нагрузки занимают промежуточное положение между данными для зон незначительной и повышенной посещаемости, поэтому в таблице не приведены.

Анализ полученных результатов показывает, что во всех зонах рекреации преобладают деревья средней категории крупности как здоровые,

Таблица 1

Категория крупности деревьев	Процент деревьев в зависимости от рекреационной нагрузки							
	Незначительная				Повышенная			
	Здоровые	Ослабленные	Больные	Мертвые	Здоровые	Ослабленные	Больные	Мертвые
Мелкие (12...16 см)	15,7	4,3	-	0,7	10,0	12,3	0,7	1,3
Средние (20...28 см)	38,3	9,0	2,0	1,0	22,3	18,3	4,0	1,0
Крупные (32...40 см)	21,7	5,0	2,3	-	14,7	8,7	5,0	1,7
Итого	75,7	18,3	4,3	1,7	47,0	39,3	9,7	4,0

так и ослабленные. В зоне незначительной нагрузки явно доминируют здоровые экземпляры ели, в зоне повышенной посещаемости их доля заметно ниже. С увеличением антропогенного воздействия представленность здоровых деревьев всех категорий крупности закономерно уменьшается, ослабленных и больных – увеличивается. Встречаемость мертвых деревьев крупных, мелких и всех категорий возрастает с активизацией антропогенного воздействия, средних – остается неизменной. Однако это не означает, что отпад представителей основного полога стабилен; по нашим данным, он увеличивается за счет образования валежника.

Таким образом, очевидно негативное влияние рекреационных нагрузок на жизнеспособность деревьев ели всех ступеней толщины и санитарное состояние древостоев.

В результате рекогносцировочного и детальных обследований нами выявлен ряд причин ослабления, повреждения и гибели деревьев ели, которые могут быть объединены в следующие группы: эндогенные – внутренние изменения, обусловленные генетическими особенностями растений (результаты внешних негативных воздействий на растения не отмечены); термогенные – повреждение деревьев ели низкими температурами (морозобоины); фитогенные – сильное угнетение подчиненных деревьев представителями господствующего полога (по Крафту); рекреационные – механические повреждения деревьев и уплотнение корнеобитаемых горизонтов почвы; патогенные – ослабление и поражение растений грибами; энтомогенные – повреждение насекомыми-фитофагами.

Количественная характеристика перечисленных факторов воздействия приведена в табл. 2. Встречаемость причин ослабления деревьев рассчитывали в процентах от общего числа учтенных растений, по каждой рекреационной зоне отдельно.

Из таблицы следует, что в зоне незначительной рекреационной нагрузки основными причинами ослабления деревьев ели являются эндогенные факторы; умеренной – рекреационные, эндо- и патогенные; повышенной –

рекреа- и патогенные. С усилением нагрузки влияние рекреа- и термогенных факторов возрастает, эндо- и фитогенных снижается.

Таблица 2

Степень рекреационной нагрузки	Процент деревьев, ослабленных под действием факторов					
	эндо- генных	термо- генных	фито- генных	рекреа- генных	пато- генных	энтомо- генных
Незначительная	11,3	3,3	4,3	4,7	4,3	1,7
Умеренная	8,0	4,7	3,3	11,7	7,0	2,7
Повышенная	5,3	6,3	1,7	28,3	9,7	4,0

Это обусловлено ослаблением конкуренции в результате естественного отпада и рубки отдельных экземпляров ели. Кроме того, снижение жизненного потенциала деревьев под влиянием рекреационных нагрузок делает их более уязвимыми. Поэтому с увеличением рекреационного воздействия участие пато- и энтомогенных факторов в ослаблении и отмирании древесных растений заметно возрастает.

С лесопатологической точки зрения особый интерес представляет изучение роли пато- и энтомогенных факторов в рекреационных лесных экосистемах. Необходимость рассмотрения данного вопроса обусловлена тем, что не исключено образование комплексных очагов гнилевых болезней и стволовых вредителей в ельниках Московской области.

Зараженность деревьев болезнями и поврежденность их насекомыми рассчитывали в процентах от общего числа учтенных растений для каждой рекреационной зоны отдельно.

Данные, приведенные в табл. 3, показывают, что во всех зонах преобладающим фактором патологического воздействия на деревья ели является гриб корневая губка. Заражение корневой губкой происходит преимущественно через мицелий при контакте здоровых корней с пораженными корнями больных деревьев и пней, плодовые тела гриба образуются редко. Корневая губка, поражая корневую систему, проникает в комель дерева и вызывает центральную гниль протяженностью, по нашим данным, до 6 м по высоте ствола. Гнилевая болезнь ели, вызванная корневой губкой, обычно носит хронический характер, а дополнительное рекреационное воздействие значительно ускоряет процесс отмирания деревьев. С усилением рекреационной нагрузки пораженность ели корневой губкой, а также вероятность образования ветровала и бурелома при участии гнилей возрастают. С одной стороны, это обусловлено снижением жизненного потенциала деревьев в результате уплотнения корнеобитаемых горизонтов почвы и механических повреждений оснований стволов и корней. Активизации деятельности патогена в этом случае содействуют: нарушение водного режима почвы, уменьшение конкуренции с микроорганизмами, разрушение связей корней с микоризой, увеличение количества отмерших корней, уничтожение подлесочных пород – антагонистов корневой губки. С другой стороны, имеются факторы, лимитирующие распространение патогена в ельниках в связи с

увеличением рекреационной нагрузки. К ним относятся: ухудшение аэрации почвы, уменьшение мощности лесной подстилки, снижение влажности

Таблица 3

Степень рекреационной нагрузки	Процент деревьев, зараженных		Процент деревьев, поврежденных		
	корневой губкой	другими грибами	короедами	усачами	другими насекомыми
Незначительная	3,0	1,3	1,7	0,7	0,3
Умеренная	5,0	2,0	2,0	1,0	0,7
Повышенная	7,0	2,7	3,0	1,7	1,3

древесных субстратов, ослабление контактов больных и здоровых корней, а также активизация защитных реакций деревьев.

В рекреационных ельниках нами отмечены и другие дереворазрушающие грибы: опенок осенний, комлевой еловый трутовик, трутовик Швейнитца, еловая губка, еловый стереум, северный и окаймленный трутовики, а также еловый хиршиопор и стволовый гриб (на сухостое). С усилением рекреационной нагрузки зараженность деревьев перечисленными грибами увеличивается.

Доминирующим фактором энтомогенного воздействия на деревья ели во всех зонах рекреации являются короеды, заселяющие ослабленные, сильно ослабленные, погибающие и погибшие растения. Наиболее распространенными и хозяйственно важными из них являются: короед-типограф, пушистый полиграф, обыкновенный гравер, а также короед-двойник и полосатый древесинник. Особое место занимает лубоед-дендроктон, который встречается реже, но способен заселять деревья без внешних признаков ослабления. Остальные выявленные виды короедов – фиолетовый лубоед, малый еловый полиграф, обыкновенный микрограф, еловый корнежил, щетинистый лубоед, черно-бурый лубоед, пальцеходный лубоед, малый лиственничный короед, короед-автограф – также встречаются не часто, и их хозяйственное значение невелико. Среди усачей отмечены малый и большой черные еловые усачи, блестящегрудый и матовогрудый дровосеки, малый серый длинноусый усач, личинки которых наносят технический вред древесине отдельных елей. В группу прочих ксилофагов условно объединены следующие виды: еловая и хвойная смолевки, четырехточечная, обыкновенная и темная хвойные златки, большой и малый хвойные рогахвосты, а также хвойное сверлило, которые ухудшают технические качества древесины.

На обследованной территории зеленой зоны не обнаружены очаги массового размножения стволовых насекомых, но в ряде случаев отмечено заселение ими биогрупп ослабленных и больных деревьев. С усилением рекреационной нагрузки, снижающей жизненный потенциал растений и защитные реакции деревьев, повреждаемость их насекомыми-ксилофагами закономерно увеличивается.

Полученные нами данные могут быть использованы при организации и реализации лесопатологического мониторинга в рекреационных ель-

никах, а также при проведении в них санитарно-оздоровительных мероприятий.

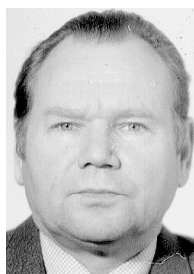
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Воронцов А.И. Патология леса. - М.: Лесн. пром-сть, 1978. - 270 с. [2]. Воронцов А.И., Исаев А.С. Новые задачи лесозащиты // Лесоведение. - 1979. - № 6. - С. 3-11. [3]. Лебедев А.В. Резистентность ели европейской в различных условиях рекреационной нагрузки // Лесн. журн. - 1981. - № 1. - С. 27-31. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Лебедев А.В. Энтомоустойчивость ели европейской в рекреационных лесах Московской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Воронеж, 1983. - 22 с. [5]. Лебедев А.В. Стволовые вредители в рекреационных ельниках и диагностика устойчивости деревьев // Современные проблемы рекреационного лесопользования: Тез. докл. Всесоюз. конф. - М., 1985. - С. 105-106. [6]. Лебедев А.В. Состояние деревьев ели при различном рекреационном воздействии // Лесн. журн. - 1986. - № 5. - С. 26-29. - (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Лебедев А.В. Характер вершины как показатель состояния и жизнестойкости ели // Лесн. журн. - 1988. - № 5. - С. 17-21. - (Изв. высш. учеб. заведений). [8]. Лебедев А.В. Патогенные грибы в рекреационных ельниках и диагностика устойчивости деревьев // Проблемы лесоведения и лесной экологии: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Минск: Ин-т эксперимент. ботаники. - 1990. - Ч. 2. - С. 526-528. [9]. Лебедев А.В. Оценка жизнестойкости деревьев ели в рекреационных лесах // Лесн. журн. - 1995. - № 1. - С. 43-47. - (Изв. высш. учеб. заведений). [10]. Рысин Л.П. Рекреационные леса и проблема оптимизации рекреационного лесопользования // Рекреационное лесопользование в СССР. - М.: Наука, 1983. - С. 5-20. [11]. Рысин Л.П., Полякова Г.А. Влияние рекреационного лесопользования на растительность // Природные аспекты рекреационного использования леса. - М.: Наука, 1987. - С. 4-26. [12]. Семенкова И.Г. Распространение корневых гнилей в рекреационных лесах Подмосковья // Защита хвойных насаждений от корневых гнилей: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Минск: БТИ, 1981. - С. 64-65. [13]. Стороженко В.Г., Вишневская И.Г. Корневые и комлевые гнили рекреационных лесов Подмосковья // Там же. - С. 70-72. [14]. Стороженко В.Г., Вишневская И.Г. Влияние гнилевых болезней на состояние рекреационных ельников Московской области // Молодые ученые в совершенствовании теории и практики ведения лесного хозяйства. - М.: ВНИИЛМ, 1982. - С. 150-154.

Поступила 18 сентября 1995 г.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 621.376.3

В.Я. ХАРИТОНОВ, П.Н. ГАГАРИН, А.Н. ВИХАРЕВ, И.И. ДОЛГОВА

Харитонов Виктор Яковлевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет около 170 печатных трудов в области водного транспорта леса, экологии водных объектов, гидродинамики.



Гагарин Павел Николаевич родился в 1959 г., окончил в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных трудов в области водного транспорта леса и гидромеханики.



Вихарев Александр Николаевич родился в 1961 г., окончил в 1987 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета. Имеет 26 печатных трудов в области экологии водного транспорта леса и оптимизации берегового анкерного крепления.



Долгова Ирина Ивановна родилась в 1958 г., окончила в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета. Имеет 6 печатных работ в области водного транспорта леса, экологии водных объектов.

ЛЕСОСПЛАВНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ЕДИНИЦЫ РЕГУЛИРУЕМЫХ ГАБАРИТОВ

Дано описание лесотранспортных единиц с переменной осадкой, рекомендуемых к использованию на малых и средних реках. Приведены формулы и результаты расчетов усилия в обвязках, необходимого для переформирования пучков в сплотночные единицы без учета трения между обвязкой и бревнами в пучке.

The description of floating units with variable draught recommended for use in small and medium rivers is given. The formulae and calculation data for binding force are presented needed for reforming the bundles into bundling units ignoring friction between binding and logs in the bundles.

В ряде удаленных и труднодоступных регионов, богатых лесными ресурсами, для доставки древесины потребителям раньше использовали только молевой лесосплав по естественным водным путям. После его запрещения в удаленных районах резко ухудшилась экономическая ситуация, возросла социальная напряженность. Строительство сухопутных путей для вывозки древесины на большие расстояния весьма проблематично. Здесь наиболее перспективна транспортировка древесины по водным путям транспортными единицами небольших габаритов и малой осадки.

По мере продвижения сплавляемой древесины к потребителю гидрологические условия рек, как правило, улучшаются. Для эффективного использования их лесопропускной способности и силы тяги буксировщиков целесообразно увеличивать габариты транспортных единиц. Увеличение осадки лесосплавных единиц известных конструкций является весьма трудоемкой операцией, а в большинстве случаев невозможно.

На кафедре водного транспорта леса и гидравлики АГТУ в рамках ГНТП «Комплексное использование и воспроизводство древесного сырья» исследована возможность изменения осадки лесосплавных транспортных единиц при изменении гидрологических условий. Это достигается тем, что лесосплавную единицу, содержащую пучки из бревен или хлыстов и охваченную гибкими связями, стягивают по ширине, при этом уменьшается коэффициент формы. Плоскую единицу можно также преобразовать в пучок, сворачивая ее в своеобразный рулон на воде.

На рис.1 показана транспортная единица из пучков [2] с обвязками переменной длины. На начальном участке пути, когда возможная осадка минимальна, бревна уложены в два-три ряда по высоте и коэффициент формы наибольший ($c = 3 \dots 4$). На заключительном участке бревна уложены в несколько рядов, и величина c имеет наименьшее значение ($c = 1,5 \dots 2,0$).

Такую единицу формируют на воде или на берегу, накладывая в одном или двух местах по длине бревен гибкие связи, нижнюю и верхнюю

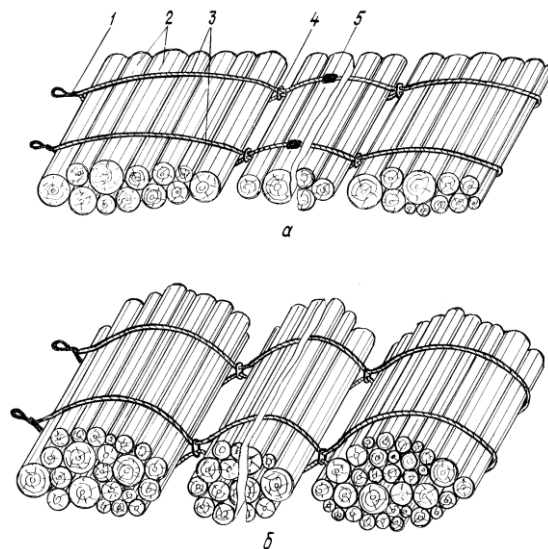


Рис. 1. Лесосплавная транспортная единица из пучков с общей обвязкой: *а* – для начального участка пути; *б* – для конечного; 1 – замок-сжим; 2 – бревна; 3 – канат-обвязка; 4 – обойма; 5 – узел соединения связей

ветви которых соединяют через определенные промежутки обоймами. К одному концу гибкой связи, проходящей по низу единицы, крепят замок-сжим, зажимающий верхний конец. Гибкие связи выполнены разъемными и имеют узлы соединения. В качестве такелажа можно использовать бортовые комплекты, соединительные скобы, сжимы.

В начале транспортирования единица имеет наименьшую осадку. По мере улучшения гидрологических условий ослабляют замок-сжим, стягивают транспортную единицу за верхний канат, увеличивая осадку до требуемой величины, и запирают канат в замке. При этом единицы могут быть соединены в плот. На следующем участке пути часть обойм можно снять, укрупнить пучки, а всю транспортную единицу стянуть за верхнюю связь. Если узел соединения канатов выходит за пределы транспортной единицы, высвободившийся канат убирают, а оставшийся запирают замком. Таким образом формируют ряд пучков с большой осадкой, объединенных общими обвязками.

Из рядов пучков формируют секции и плоты в пунктах переформировки (рис. 2).

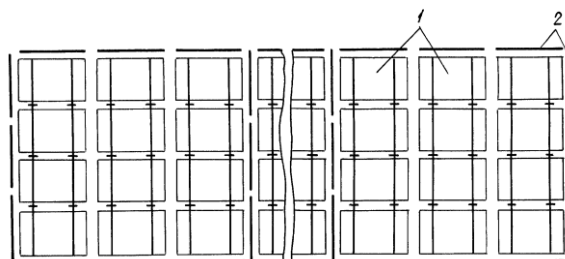


Рис. 2. Секция плота из рядов пучков: 1 – ряды пучков с общей обвязкой; 2 – оплотник

Технологический процесс изменения коэффициента формы пучков предлагаемой единицы, плавающей на воде, может быть организован по трем схемам: сжатие всего ряда пучков между вертикальными стойками и сматывание освобождающихся канатов на крайний пучок; прижатие пучков к стенке катером; стягивание их лебедкой, например катера типа КС-100, наматывание высвобождающихся канатов на барабаны и упаковка в бухты.

В нашей работе [3] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований осадки и натяжения в обвязках лесотранспортных единиц с деформируемыми в процессе буксировки пучками. Ряд полученных зависимостей справедлив и для расчета параметров рассматриваемой единицы. Наибольший практический интерес представляет приближенная зависимость коэффициента формы пучка от натяжения в канатах обвязки в процессе ее сжатия. Она имеет вид

$$c = \frac{a+1}{2} + \sqrt{\left(\frac{a+1}{2}\right)^2 + a}, \quad (1)$$

где

$$a = \frac{2\rho g V \left(1 - \frac{k\rho}{1000}\right)}{\pi T \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)}. \quad (2)$$

В этих формулах ρ – плотность бревен, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

k – коэффициент непропорциональности высоты и осадки пучка, $k = 0,93 \dots 0,95$;

V – объем пучка, м³;

T – усилие утяжки ходовой ветви обвязочных канатов;

φ – угол внутреннего трения бревен, град.

По формулам (1), (2) можно определить усилие утяжки канатов, необходимое для достижения требуемого коэффициента формы. В них не учитывается трение каната о бревно при обхвате пучка.

Результаты решения этих уравнений приведены в таблице для ряда расчетных V . Здесь же приведены подводные габариты пучков (ширина B и осадка t), которые вычислены по известным формулам

$$B = 2 \sqrt{\frac{Vc}{\pi \eta l}}; \quad (3)$$

$$t = 2k \frac{\rho}{1000} \sqrt{\frac{V}{\pi c \eta l}} = k \rho H, \quad (4)$$

где η – коэффициент полнодревесности пучка;

l – длина бревен в пучке;

H – высота пучка.

Объем пучка, м ³	Подводные габариты $B \times l$, м (числитель) и усилие T , кН (знаменатель) при коэффициенте формы c			
	1,5	2,0	3,0	4,0
5	$1,56 \times 0,78$	$1,81 \times 0,68$	$2,21 \times 0,56$	$2,56 \times 0,48$
	56	25	11	7
10	$2,21 \times 1,11$	$2,56 \times 0,96$	$3,13 \times 0,78$	$3,62 \times 0,68$
	112	50	23	14
15	$2,71 \times 1,36$	$3,13 \times 1,18$	$3,84 \times 0,96$	$4,43 \times 0,83$
	168	75	33	21
20	$3,13 \times 1,57$	$3,62 \times 1,36$	$4,43 \times 1,11$	$5,11 \times 0,96$
	225	100	44	27

Примечание. $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$; $k = 0,94$; $\varphi = 27^\circ$; $\eta = 0,65$; $l = 6 \text{ м}$.

Из таблицы видно, что в речных условиях ($c = 3,0$) транспортные единицы из пучков объемом до 20 м^3 можно сплачивать имеющимися у лесопромышленных предприятий техническими средствами.

Осадки пучков обычно являются исходными характеристиками, определяемыми гидрологическими условиями. По усилию T подбирают канат и техническое обеспечение технологического процесса.

На лесосплавных путях с малыми глубинами, а также для лесосплава бревен с небольшим запасом плавучести применяют плоские сплотовые единицы, как правило жесткой конструкции, что, наряду с трудоемкостью, является их недостатком.

Нами разработана гибкая лесосплавная транспортная единица, в которой бревна или микропучки соединены последовательно обвязками, выполненными в виде гибких связей, что позволяет преобразовывать плоскую единицу в пучок, скручивая ее в рулон (рис. 3).

Единицу формируют на берегу или на воде из бревен или хлыстов вразнокомелицу, обвязываемых в двух местах по длине полипропиленовыми полыми плетеными канатами [1]. Канаты соединяют между собой простыми узлами. Узел образуется при введении предварительно оплавленного конца одного каната во внутреннюю полость другого. Канаты могут

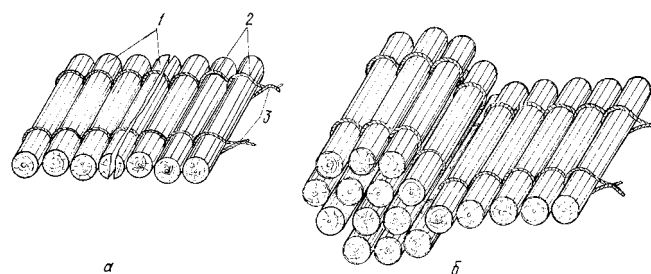
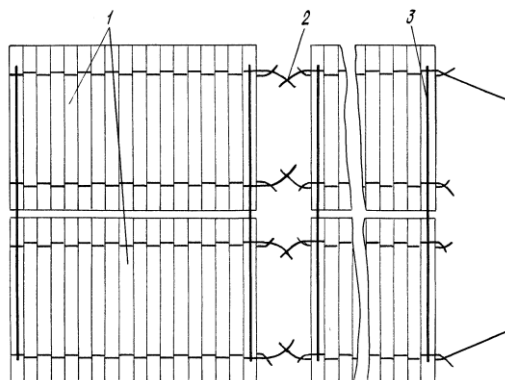


Рис. 3. Плоская лесосплавная транспортная единица, трансформируемая в пучок: *а* – для начального участка пути; *б* – для конечного; 1 – бревна; 2 – канат; 3 – узел

Рис. 4. Плот из плоских единиц: 1 – плоские лесосплавные единицы; 2 – узлы продольных связей; 3 – поперечные связи плота



быть секционными стандартной длины. По мере увеличения габаритов лесосплавного хода единицы соединяют по ширине и длине такими же канатами (рис. 4).

Пучок формируют из плоской лесотранспортной единицы сворачиванием вокруг крайнего бревна без снятия обвязок. Форму пучка фиксируют, закрепляя свободные концы обвязки описанным способом или штыковым узлом.

Использование предлагаемого технического решения позволит сплавливать лиственные и лиственничные бревна с подплавом. Плоские единицы можно транспортировать по малым рекам, гидрологические условия которых не позволяют использовать плоты с большой осадкой. Далее, при изменении лесопропускной способности рек, из плоских единиц формируют пучки, а из них секции и плоты. При сплаве таких единиц сокращаются до минимума разновидности такелажа, не требуются сжимы и замки.

На устьевом участке р. Пинеги бассейна р. Северной Двины была проведена опытная буксировка транспортных единиц указанных конструкций. Отмечены их хорошая управляемость, гибкость, достаточная прочность гибких связей, позволяющие транспортировать древесину на излучинах рек с малыми радиусами кривизны.

Можно полагать, что найденные технические решения найдут заинтересованных исполнителей, помогут возродить эффективное лесотранспортное использование малых и средних рек вместо молевого лесосплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Липман Д.Н. Новое в лесосплавном такелаже. - М.: Лесн. пром-сть, 1977. - 88с. [2]. Пат. 2070534 РФ, МКИ⁶ B65G, 69/20. Лесосплавная транспортная единица / В.Я. Харитонов, П.Н. Гагарин, А.Н. Вихарев (РФ) // Изобретения. - 1996. - № 35. - С. 172. [3]. Результаты теоретических и экспериментальных исследований лесотранспортных единиц оригинальных конструкций/ В.Я. Харитонов, П.Н. Гагарин, А.Н. Вихарев, И.И. Долгова //Актуальные проблемы рационального использования природных и энергетических ресурсов Европейского Севера: Сб. науч. тр. АЛТИ. - Архангельск, 1994. - С. 97-102.

Поступила 13 января 1999 г.

УДК 630*378

А.А. МИТРОФАНОВ



Митрофанов Александр Александрович родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 110 печатных работ в области теории и организации водного транспорта леса.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ В РАБОТУ СКЛАДНЫХ ЯКОРЕЙ И АНКЕРОВ

Разработана методика оценки доверительных границ безотказной работы металлических якорей и анкеров с раскрывающимися лапами. Приведены результаты испытаний.

The method of assessment of confidence limits has been elaborated for no-failure operation of metal and folding anchors. The trial results are given.



Рис. 1. Якорь ЯС - 15

Складные якоря лесосплавного назначения типов ЯС-15, 30, 150, 170, 200 и анкера для крепления газопроводов АС-150, 170, 200 конструкции АГТУ нашли достаточно широкое применение в производственных условиях [2, 3, 5].

От известных конструкций анкерных опор свайного типа с раскрывающимися лапами [1] наши конструкции (рис. 1, 2) выгодно отличаются высокой надежностью включения в работу. Это достигается тем, что якорь устанавливается внутрь трубы, поэтому при забивке он не контактирует с грунтом. После подъема трубы шарнирные соединения остаются чистыми, лапы свободно отклоняются в стороны и надежно включаются в работу.

Этому же способствуют еще два обстоятельства: 1) шарнирное соединение лап с корпусом выполнено не по классической схеме ось – втулка, а с помощью хомутов, свободно надетых на веретено якоря, что практически исключает заклинивание лап при попадании грунта в

шарнир; 2) центры тяжести лап значительно смещены в сторону от веретена. В якорях типа ЯС-15, 30 (рис. 1) они смещены в противоположную от веретена сторону, в результате плечо момента силы тяжести, отклоняющей лапу, увеличивается почти в 3 раза. В якорях ЯС-150, 170, 200 (рис. 2) это достигается установкой массивных косынок-утяжелителей.

Цель настоящего исследования – разработать методику оценки доверительных границ безотказной работы опор такого типа. Вероятность отказа якорей и анкеров не должна превышать вероятности нарушения работы сооружений, для крепления которых они предназначены.



Рис. 2. Якорь
ЯС - 200

Классический метод решения задач вероятностного плана обычно заключается в построении гистограмм и кривых распределения случайных величин (отказов включения лап в работу), подборке по ним теоретического распределения, т. е. решается задача выравнивания ряда распределения. Применительно к математическому моделированию объектов лесосплава методика решения таких задач рассмотрена нами в работе [4]. В данном же конкретном случае число отказов очень мало, и для построения гистограмм потребовалось бы выполнить очень много опытов, что практически нереально. В данном случае удобно воспользоваться теорией определения надежности [6], содержащей практические рекомендации. Согласно ей отказы включения якорей в работу, представляющие собой дискретные распределения вероятностей, характеризуются биномиальным и пуассоновским распределениями. Поскольку они взаимосвязаны и пуассоновское распределение при большом числе наблюдений переходит в биномиальное, для оценки надежности якорей за основу взяты теоретические положения последнего.

При биномиальном распределении вероятность $P_{n_{от}, N_0}$ того, что случайная величина примет значения $n_{от}$ ($n_{от} = 0, 1, 2, \dots, N_0$), можно определить по формуле

$$P_{n_{от}, N_0} = \frac{N_0!}{n_{от}!(N_0 - n_{от})!} p^{n_{от}} (1 - p)^{N_0 - n_{от}}, \quad (1)$$

где N_0 – число независимых отказов;

$n_{от}$ – случайное число появления некоторого события, в нашем случае

$n_{от}$ – число отказов в N_0 независимых опытах;

p – вероятность появления события в каждом из опытов.

В частном случае из уравнения (1) вероятность того, что отказов не будет ни в одном из N_0 опытов, определяют формулой

$$P_{1, N_0} = 1 - P_{0, N_0} = (1 - p)^{N_0}. \quad (2)$$

Доверительные границы для вероятности появления отказа p находят по формулам

$$p_n = \frac{n_{от}}{N_0 R_1}; \quad p_v = \frac{n_{от}}{N_0 R_2}, \quad (3)$$

где R_1, R_2 – коэффициенты, определяемые по специальным таблицам [6] в зависимости от $n_{от}$ и $n_{от}/N_0$ при доверительной вероятности $\alpha_0 = 0,95$.

Из уравнений (3) при $n_{от} = 0$ получаем

$$p_n = 0; \quad p_v = 1 - (1 - \alpha_0)^{1/N_0}. \quad (4)$$

Здесь нижнюю доверительную границу находят достоверно ($\alpha_{0,1} = 1$), а верхнюю с доверительной вероятностью $\alpha_{0,2} = \alpha_0 = 0,95$.

При известных доверительных границах вероятности появления отказа p_n и p_v доверительные границы безотказной работы

$$q_n = 1 - p_v; \quad q_v = 1 - p_n. \quad (5)$$

Из выражения (4) легко определить минимально необходимое число опытов безотказной работы для определения вероятности наступления отказа $p \leq p_v$ с доверительной вероятностью α_0 :

$$N_{0\min} = \frac{\lg(1 - \alpha_0)}{\lg(1 - p_v)}. \quad (6)$$

Если при выполнении $N_{0\min}$ опытов отказов нет, то доверительные границы безотказной работы находят по выражениям (5) при заданном значении p_v и $p_n = 0$. При наличии отказов в серии опытов N_0 доверительные границы определяют по формулам (3).

Как уже отмечалось, надежность включения в работу якорей анализировали в процессе всех испытаний на моделях и в натуре. Оценивали каждый факт отказа, и при необходимости в конструкцию вносили изменения, повышающие надежность работы. Окончательные исследования выполнены на моделях, являющихся уменьшенными копиями серийных образцов якорей и анкеров типов ЯС и АС.

Принимая за допустимую вероятность появления отказа при включении лап в работу $p_v = 0,05$, по уравнению (6) находят минимально необходимое число опытов безотказной работы модели $N_{0\min}$:

$$N_{0\min} = \frac{\lg(1 - \alpha_0)}{\lg(1 - p_v)} = \frac{\lg(1 - 0,95)}{\lg(1 - 0,05)} = 59.$$

Если нет отказов, при выполнении 59 опытов границы безотказной работы якорей составляют

$$q_n = 1 - p_v = 1 - 0,05 = 0,95;$$

$$q_v = 1 - p_n = 1 - 0 = 1.$$

При наличии отказов эти границы уточняют по формулам (3), (5).

Опыты выполняли отдельно с моделями якорей ЯС-15, 30 и АС-200. В первом случае в 59 опытах зафиксирован один отказ (не включилась одна из трех лап).

Для этих условий доверительные границы появления отказов находим по формулам (3):

$$p_n = \frac{n_{от}}{N_0 R_1} = \frac{1}{59 \cdot 19,5} = 0,001;$$

$$p_v = \frac{n_{от}}{N_0 R_2} = \frac{1}{59 \cdot 0,28} = 0,060 .$$

Отсюда доверительные границы безотказной работы

$$q_n = 1 - p_v = 1 - 0,06 = 0,94 ;$$

$$q_v = 1 - p_n = 1 - 0,001 = 0,999 .$$

Оценивая работу якорей по средней величине интервала безотказной работы, можно сделать вывод об их высокой надежности.

С моделями якорей типа ЯС-200 выполнено в общей сложности 118 опытов и зафиксировано 3 отказа (в каждом из них не включалась одна из лап).

Доверительные границы вероятности появления отказа по формулам (3):

$$p_n = \frac{3}{118 \cdot 3,64} = 0,007; \quad p_v = \frac{3}{118 \cdot 0,04} = 0,064 .$$

Доверительные границы безотказной работы

$$q_n = 1 - 0,064 \approx 0,94; \quad q_v = 1 - 0,007 \approx 0,99,$$

т. е. практически такие же, как и для якорей типа ЯС-15, 30.

Отмечая высокую надежность включения складных якорей в работу, нужно дополнительно иметь в виду, что отказ одной из лап (только такие отказы имели место при испытаниях) не выводит якорь из эксплуатации. Как показали замеры в натуре, в этом случае якорь несет около 80 % оптимальной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Зубков В.М. Подземные сооружения, возводимые способом «стена в грунте». - Л.: Стройиздат, 1977. - 200 с. [2]. Митрофанов А.А. На реках новые якоря // Речной транспорт. - 1990. - № 7. - С. 21-22. [3]. Митрофанов А.А. Складные якоря новой серии // Лесн. пром-сть. - 1990. - № 9. - С. 30. [4]. Митрофанов А.А. Основы моделирования и оптимизации процессов лесосплава: Текст лекций. - Архангельск, 1993. - 90 с. [5]. Николаев А.И., Митрофанов А.А. Опыт крепления наплавных сооружений // Лесн. пром-сть. - 1990. - № 10. - С.15. [6]. Шор Я.Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. - М.: Сов. радио, 1968. - 286 с.

Поступила 12 января 1999 г.

5*

УДК 625.31

А.П. ЕЛИСЕЕВ, В.И. ЖАБИН, В.В. КАЗАНЦЕВ



Елисеев Аркадий Павлович родился в 1931 г., окончил в 1957 г. Архангельский лесотехнический институт. Имеет более 40 печатных работ в области промышленного транспорта.



Жабин Вячеслав Иванович родился в 1940 г., окончил в 1968 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного транспорта Архангельского государственного технического университета. Имеет 67 печатных трудов в области промышленного транспорта.



Казанцев Валерий Викторович родился в 1949 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доцент кафедры промышленного транспорта Архангельского государственного технического университета. Имеет 31 печатную работу в области промышленного транспорта.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Дан анализ технического состояния шпал лесовозных УЖД, а также подъездного и станционных путей железных дорог широкой колеи.

The engineering survey is given for ties of forest narrow-gauge railroad, as well as for approach lines and station tracks of full gauge railway.

Основным требованием, предъявляемым к деревянным шпалам, является обеспечение наилучшей работы подрельсового основания при наибольшем сроке их службы. Это достигается различными способами: обоснованием рациональных размеров шпал, их пропиткой, надлежащим уходом за шпалами, своевременным ремонтом и повторным их использованием.

Цель данной работы – обследовать шпалы действующих узкоколейных лесовозных железных дорог, подъездных путей дорог широкой колеи и проанализировать их техническое состояние. Исследовали распределение шпал по маркам, длине, толщине, ширине нижней и верхней постелей; состояние шпал и распределение их по видам дефектов.

Техническое состояние шпал лесовозных УЖД анализировали по результатам замеров шпал, лежащих на опытных участках пути, шпал широкой колеи – на подъездном и внутренних станционных путях, железной дороги промышленного значения.

Опытные участки УЖД расположены на прямых и различаются типом рельсов и конструкцией рельсовой колеи (стыковой или сварной путь). Общая протяженность этих участков 2500 м, на них уложено 4556 шпал. У всех шпал замеряли длину, толщину и диаметр в верхнем отрубе, отмечали дефекты. Число замеров ширины нижней постели ограничено.

На подъездном пути железной дороги широкой колеи длиной 4126,6 м уложено 6374 шпалы, на станционных общей протяженностью 9709,3 м – 11 707 шпал. Отмечены дефекты каждой из шпал. Длина и толщина шпал, ширина нижней и верхней постелей замерены у 60 шпал на подъездных путях и у 50 – на станционных.

Состояние шпал, лежащих в стрелочных переводах на дорогах узкой и широкой колеи, не анализировали.

Как на УЖД, так и на участках широкой колеи лежат только необрезные шпалы, обрезные уложены частично на стрелочных переводах. Все шпалы на дороге широкой колеи антисептированы масляными антисептиками, на УЖД не антисептированы.

В зависимости от размеров ГОСТ устанавливает шесть типов шпал на дорогах широкой и шесть – узкой колеи. Геометрические размеры и допускаемые отклонения принимали по ГОСТ 78–65 и ГОСТ 8993–75 для дорог широкой и узкой колеи соответственно.

Обследованием состояния пути установлено, что все шпалы широкой колеи промышленного назначения – необрезные второго типа (ИБ), узкой – необрезные в основном третьего типа (ШБ) и лишь частично ИБ. В ряде случаев определить тип шпал на УЖД затруднительно.

В результате измерений 100 шпал, лежащих в путях широкой колеи, установлено, что отклонения геометрических размеров находятся в пределах допустимых. Объясняется это тем, что шпалы изготовлены централизованно на предприятиях, где существует надлежащий технический контроль.

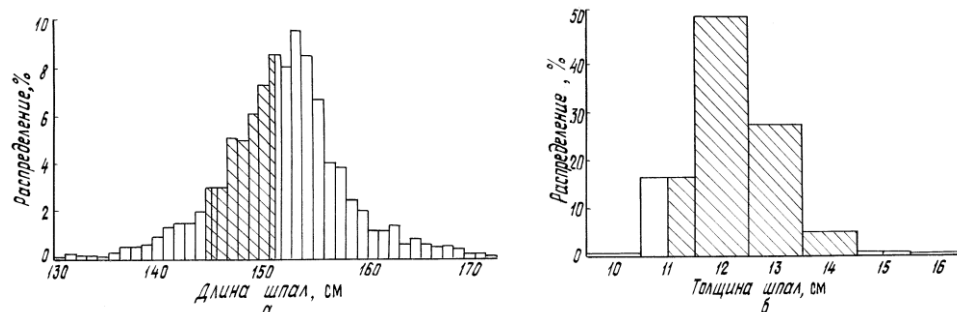


Рис. 1. Распределение шпал УЖД по длине (а) и толщине (б)

Результаты обмера 4596 шпал на УЖД приведены на рис. 1 в виде гистограмм. Заштрихованная часть соответствует количеству шпал, удовлетворяющих ГОСТ.

Среднее арифметическое значение длины измеренных шпал на УЖД составляет 153,1 см, что больше допустимого на 0,6 см. Среднее квадратичное отклонение равно $\pm 8,3$ см. Фактическая длина шпал колеблется от 132 до 174 см, т. е. фактические отклонения в сторону уменьшения составляют 17 см, увеличения – 24 см. Меньше допустимого размера изготовлено 7,8 % шпал.

Среднее арифметическое значение толщины шпал узкой колеи равно 12,1 см, что близко к нормативным требованиям. На исследуемых дорогах в соответствии с их грузооборотом следует применять шпалы I и II типов толщиной 13 ... 14 см. Таким образом, техническим условиям не отвечает 64 % шпал. Если же считать, что на обследованных участках УЖД должны лежать шпалы III типа, то этот процент уменьшается до 9 %.

Наблюдается несоответствие размеров шпал по ширине нижней и верхней постелей требованиям ГОСТ. Поскольку обмер ширины нижней постели шпал затруднен, число замеров ограничено до 100 шпал на каждом опытном участке. По результатам обмера построена гистограмма распределения шпал по ширине нижней постели (рис. 2). Количество шпал, не соответствующих нормативным требованиям с учетом допусков, составляет 67 %. Установлено, что 1,8 % шпал, уложенных в пути, являются круглыми, т. е. ширина нижней постели равна нулю. Основной причиной несоответствия ширины нижней постели шпал является поставка тонкомерных круглых лесоматериалов, что подтверждается данными обмера (рис. 2). Диаметр необрезных шпал в верхнем отрубе варьирует от 12 до 30 см и более. Количество шпал, не отвечающих требованиям ГОСТ, составляет 49 %. Среднее арифметическое значение ($\bar{x}$) и среднее квадратичное отклонение (s) приведены на рисунке.

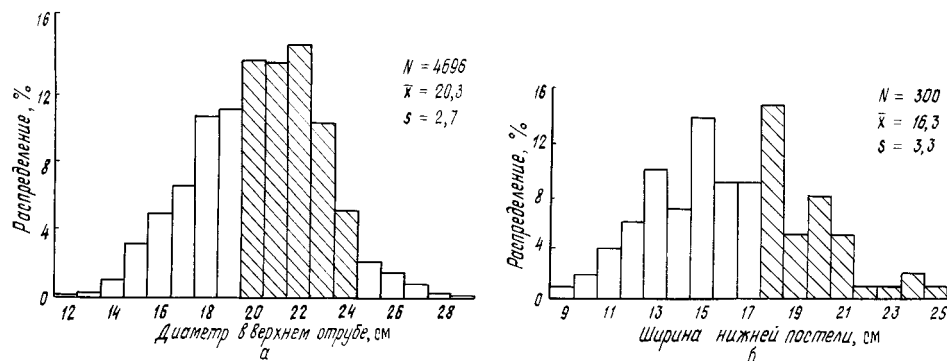


Рис. 2. Распределение шпал УЖД по диаметру в верхнем отрубе (а) и ширине нижней постели (б)

По результатам обмера ширины верхней постели шпал установлено, что 94,1 % шпал, в том числе III типа, удовлетворяет требованиям ГОСТ. Между размерами верхней и нижней постелей шпал, уложенных в путь, нет значительного отличия.

Физическое состояние шпал определяли визуально, вид дефекта – по классификации МПС, используя основной признак, обозначенный сразу после порядкового номера; далее приведены сопутствующие дефекты.

Для УЖД введен дополнительный дефект – повреждения от аварий, так как нередко или локомотив, или груженные древесиной сцепы сходят с рельсов, и колеса их тележек наносят шпалам механические повреждения. Большая часть поврежденных шпал остается в пути.

Разделение дефектов шпал весьма условно, так как все они взаимосвязаны. Образование трещин, врезание подкладок и рельсов в шпалы, повреждения от аварий ускоряют процесс гниения. В результате этого понижается механическая прочность древесины, развиваются трещины, идет быстрое разрушение шпал.

Первоначально перед тем, как признать лежащие в пути шпалы «негодными», выясняли причины их выхода из строя. Установлено, что все шпалы, изъятые из пути по причине гниения, относятся в основном к верхней постели в зоне забивки костылей. К этому дефекту добавляется механический износ в подрельсовом основании. В зоне опирания рельса на шпалу древесина уплотнена, истерта и измельчена. Максимальное врезание рельса в шпалу составляет 31, среднее арифметическое – 11 мм. Как результат удерживающая сила костылей в гнилых шпалах близка к нулю. Неравномерный механический износ шпал в подрельсовом сечении является следствием неодинаковых геометрических размеров шпал. Более значительные углубления образуются на шпалах с меньшей шириной верхней постели.

Распределения дефектов шпал, лежащих в подъездном и на станционных путях, различаются мало и равны соответственно: гниение древеси-

ны и сопутствующие дефекты – 15,3 и 15,2 %, механический износ – 64,7 и 60,3 %, негодные шпалы – 11,0 и 11,9 %.

На УЖД количество шпал, лежащих в пути и подверженных гниению, оказалось равным 32,3 %, что в 2,1 раза больше, чем на широкой колее. Повреждения от аварий и сопутствующие им дефекты составляют 14,2 %. На широкой колее этого дефекта нет. На УЖД количество шпал, уложенных в путь без дефектов, равно всего 8,7 %, в то время как на широкой колее 21,6 %. По причине гнили и другим дефектам из магистральных путей УЖД должно быть немедленно изъято 31,8 % всех шпал, лежащих в пути, т. е. почти все гниющие. Лишь небольшая их часть может быть использована на второстепенных путях.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

геометрические размеры шпал широкой колее по всем показателям находятся в пределах допусков;

в обследуемых участках УЖД уложены вперемежку шпалы типов ПБ и ПББ. Последние составляют абсолютное большинство;

геометрические размеры шпал УЖД не выдержаны ни по одному показателю. В ряде случаев затруднительно отнести шпалы к тому или иному типу. Шпалы, не соответствующие нормативным требованиям по длине, составляют 60 %, по другим показателям – от 9 до 49 %. Значительные колебания геометрических размеров шпал создают неравномерность передачи давления тягового и подвижного состава на балласт. В результате ускоряется образование неровностей пути, т. е. происходит различное накопление остаточных осадок как в поперечном, так и в продольном направлениях;

на УЖД укладка шпал, не отвечающих стандартным размерам, связана с отсутствием контроля за их изготовлением и сортировкой по маркам, а также поставкой к шпалорезным станкам и пилорамам тонкомерных круглых лесоматериалов. Количество таких шпал на Ньюбской и Конецгорской УЖД составляет 49 %;

на дорогах как широкой, так и узкой колее не учитывают фактического срока службы шпал в пути;

почти все шпалы на дорогах широкой и узкой колее имеют сопутствующий дефект – трещины усушки, возникающие во время воздушной сушки. В уложенных в путь шпалах появляется много трещин в области верхней постели;

шпал, имеющих только трещины усушки, на УЖД почти в 2 раза меньше, чем на широкой колее;

шпал, подлежащих немедленному изъятию из пути по причине гнили и другим дефектам, на УЖД в 2,1 раза больше, чем на широкой колее;

в результате схода с рельсов тягового и подвижного составов на УЖД количество шпал с механическими повреждениями увеличивается на 14,2 %;

отсутствие подкладок на УЖД приводит к более интенсивному износу шпал в подрельсовой зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. ГОСТ 78–65. Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. – М.: Изд-во стандартов, 1965. – 7 с. [2]. ГОСТ 8993–75. Шпалы деревянные для железных дорог узкой колеи // Пиломатериалы, заготовки, деревянные детали. – М., 1990. – С. 419.

Поступила 11 ноября 1997 г.

УДК 630*221.01:519

Ф. А. ПАВЛОВ, Е. А. МИХИНА

Павлов Фридрих Алексеевич родился в 1934 г., окончил в 1957 г., Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник по специальности «Автомобильные дороги», профессор кафедры промышленного транспорта Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН, изобретатель СССР. Имеет более 80 печатных работ по проблемам создания эффективной лесотранспортной сети, ленточных дорожных покрытий.



Михина Елена Анатольевна родилась в 1973 г., окончила в 1995 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры промышленного транспорта АГТУ. Имеет 3 печатные работы в области сухопутного транспорта леса.



**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ
НЕОБЛЕСЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ
ПРИ СПЛОШНЫХ РУБКАХ ЛЕСА**

На примере конкретного бассейна изложена методика определения размеров необлесенных площадей, образовавшихся в результате эксплуатации лесов за предыдущие десятилетия.

The practice of sizing of non-stocked forest areas, formed as a result of forest resources exploitation in previous decades, is presented based on a concrete basin.

Анализ динамики увеличения площадей, оставшихся необлесенными после сплошных рубок леса, очень трудоемок, особенно если его проводят ретроспективно (за предыдущие десятилетия).

Традиционно сложилось так, что практически по всем лесовозным дорогам объем рубок леса наращивали постепенно, доводя его до максимального (проектного или близкого к нему значения). При дальнейшей эксплуатации дорог из-за истощения лесосырьевой базы или из-за отсутствия транспортных путей объем рубок снижался.

Объем сплошных рубок и, соответственно, размер необлесенной площади можно представить в виде некоторой функции, например показательной

$$y = ax^b e^{cx} \quad (1)$$

или степенной

$$y = a + bx + cx^2, \quad (2)$$

где y – объем рубки леса за год, тыс. м³;

x – порядковый номер года;

a, b, c – постоянные коэффициенты, определяемые экспериментально.

Графики показательной функции (1), как наиболее универсальной, при различных значениях b и c приведены на рис.1. Значения аргумента x положительные, поэтому функция y принимает только положительные значения. Если у коэффициентов b и c знаки разные, то функция имеет экстремум A в точке с координатой $x = -b/c$. Кривая может иметь одну или две точки перегиба C и D с координатами $x = -(b \pm \sqrt{b})/c$.

Например, динамику рубок леса в бассейне р. Кодимы можно выразить зависимостью $y = a + bx + cx^2$ (рис.2), для которой корреляционное отношение $\eta = 0,88$.

Необлесенная площадь S , образуемая в процессе рубок за период от начала эксплуатации до лесовозобновления (за n лет), может быть найдена по формуле

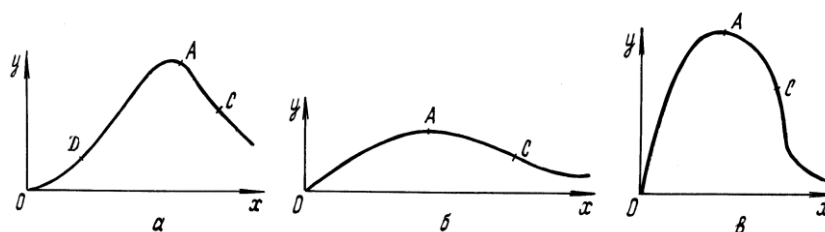


Рис. 1. Формы зависимостей, описывающих динамику рубок леса по лесовозной дороге: $a - c < 0$; $b > 1$; $б - c < 0$; $b = 1$; $в - c < 0$; $0 < b < 1$.

$$S_{i,...,n} = \frac{1}{V_{i,...,n}} \sum_{i=1}^n y_{i,...,n}, \quad (3)$$

где $V_{i,...,n}$ – средний запас леса на эксплуатационной площади в i -м году рубки, м³/га;

$y_{i,...,n}$ – объем рубок в i -м году, м³;

$\sum_{i=1}^n y_{i,...,n}$ – сумма объемов рубок до лесовозобновления (до облесения площадей), м³.

Если брать предшествующий период эксплуатации, например с 1950 г. и ранее, то значение n можно принимать равным 10...15 лет, а на площадях с возобновлением лиственных пород 5...7 лет [1 – 3].

Площади вырубок преобладающих в лесном фонде типов леса (черничные свежие, влажные, долгомошные, брусничные) находятся в обезлесенном состоянии в среднем 8...10 лет. Со временем этот период последовательно увеличивается. Нами предложено за период с 1940 г. до 1980 г. принимать n равным 8,5 годам; с 1980 г. – 10,5 годам. Во всех расчетах, учитывая анализ до 1942 г., в среднем принимаем $n = 10$ годам. По истечении этого срока необлесенная от рубок леса площадь может быть определена при $n > 10$ лет.

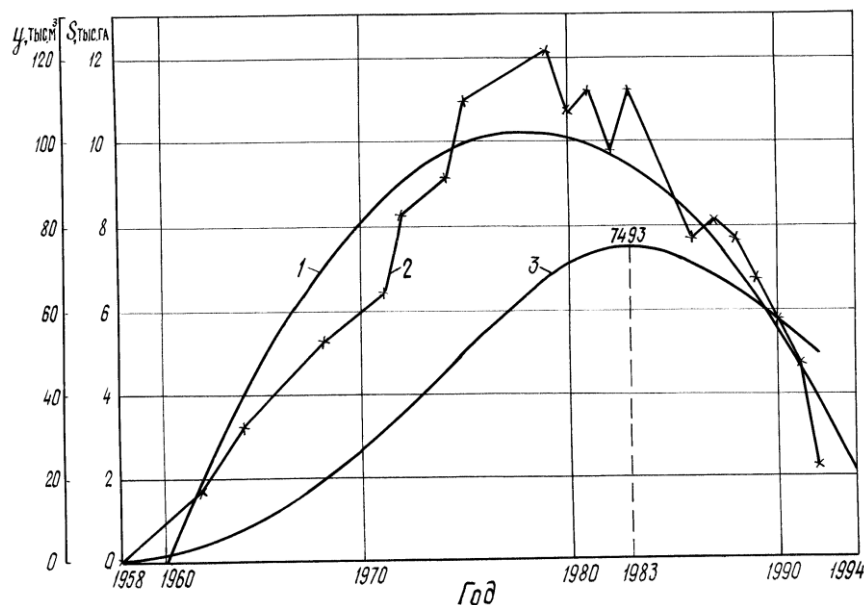


Рис. 2. Динамика объемов рубки леса и образования необлесенной площади по годам

Таким образом,

$$S_{n+1} = \frac{1}{V_i} \sum_{i=1}^{n+1} y_{i, \dots, n+1} - y_{n-9}; \quad (4)$$

$$S_{n+2} = \frac{1}{V_i} \sum_{i=1}^{n+2} y_{i, \dots, n+2} - y_{n-8}; \quad (5)$$

$$S_{n+10} = \frac{1}{V_i} \sum_{i=1}^{n+10} y_{i, \dots, n+10} - y_n. \quad (6)$$

Если известна функция объемов рубок леса по годам и средний запас леса на 1 га эксплуатационной площади V_{cp} , то интегрированием функции y можно определить необлесенную (техногенную) площадь в любой год лесозаготовки. Например, для бассейна р. Кодимы

$$S_i = \frac{1}{V_{cp}} \int_1^n (a + bx + cx^2) dx. \quad (7)$$

На рис. 2 линией 1 ($y = -39,38 + 13,44x - 0,32x^2$) показана динамика заготовки древесины в бассейне р. Кодимы по годам, ломаная линия 2 отражает суммарный объем рубок леса по всем дорогам, которые расположены в данном бассейне. С использованием изложенной методики рассчитаны размеры необлесенных площадей, которые образовались при ежегодных рубках леса. Изменение площади по годам для бассейна р. Кодимы приведено в виде кривой 3. Характер кривой отражает объем рубки в бассейне в рассматриваемый год и размер появившейся необлесенной площади нарастающим итогом за вычетом площадей, срок облесения которых уже наступил.

По данной методике определены размеры необлесенных площадей в динамике по восьми бассейнам р. Северной Двины.

С экологической точки зрения гораздо важнее задавать режим и объемы рубок леса такой функцией, которая ограничивала бы неблагоприятные изменения гидрологического режима реки. Но для этого должны быть четко установлены природоохранные нормативы (требования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Львов П. Н. Зонально-географические особенности естественного возобновления древесных пород на вырубках Европейского Севера // Состояние возобновления и пути формирования молодняка на концентрированных вырубках Северо-Запада европейской части СССР: Тез. докл. - Архангельск, 1971. - С. 51 - 53.
[2]. Чертовской В. Г. О возобновлении леса в связи с рубками на Севере // Рубки и восстановление леса на Севере. - Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1968. - С. 10 - 45. [3]. Чертовской В. Г. Естественное возобновление леса в таежной зоне европейской части СССР // Лесн. хоз-во. - 1972. - № 5. - С. 11-17.

Поступила 27 января 1997 г.

УДК 624.139:625.731

В. С. МОРОЗОВ

Морозов Владимир Станиславович родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области строительства и эксплуатации зимних лесовозных дорог.



ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ МНОГОСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ ИЗ МЕРЗЛОГО ТОРФА

Изложены основные предпосылки для определения толщины дорожной одежды автомобильных дорог на болотах из слоя мерзлого торфа. Приведены основные расчетные выражения для расчета многослойных конструкций.

The main prerequisites for determining thickness of highways pavement are set forward for bogs of frozen peat layer. The main design expressions are given to calculate the multilayer constructions.

Расчет толщины многослойного основания зимних автомобильных дорог необходим при обосновании рекомендаций по организации их строительства на болотах и заболоченных участках. Методика такого расчета изложена в работе [5].

Обычные методы подготовки и расчета оснований дорог на минеральных грунтах [8] в данном случае непригодны, так как мерзлый торф обладает специфическими физико-механическими свойствами. В литературе [1, 3, 7] приведены некоторые данные о свойствах мерзлого торфа и расчеты минимальной толщины дорожной одежды, обеспечивающей движение автотранспорта с заданными осевыми нагрузками. Однако они требуют уточнения.

В нашей статье изложены материалы лабораторных и полевых исследований физико-механических свойств мерзлого торфа, его прочностных и температурных характеристик, а также способы аналитического расчета толщины дорожной одежды.

Исследования в лабораторных условиях выполнены на образцах мерзлого торфа цилиндрической формы в морозильной камере. Методика опытов приведена в работе [4].

В опытах с помощью прибора одноосного сжатия определяли реологические свойства мерзлого торфа и по ним строили кривые ползучести. В результате обработки кривых были найдены математические зависимости между напряжениями и деформациями при различных значениях времени действия нагрузки t , минусовой температуре торфа Θ и его влажности W .

В общем виде связь между напряжениями и деформациями для мерзлого торфа имеет вид

$$\varepsilon = B \sigma^n, \quad (1)$$

где ε – относительная деформация торфа;

σ – напряжение, МПа;

B – коэффициент пластичности и ползучести,

$$B = 16,6281 + 0,03162 t - 0,2525 W + 0,2020\Theta;$$

n – степенной коэффициент,

$$n = 0,3129 + 0,000617 t - 0,00042 W + 0,01697 \Theta.$$

При вычислении значения ε по формуле (1) время t имеет размерность – ч, относительная влажность W – %, температура Θ – °С.

По уравнению (1) с помощью метода наименьших квадратов в интегральной форме [2] получено выражение для определения модуля упругости (E) мерзлого торфа:

$$E = \frac{3n}{B(1+2n)} \sigma^{1-n}. \quad (2)$$

Зная t , W и Θ , по формуле (2) можно вычислить требуемое значение E , по которому из условия прочности ($\sigma_{adm} = 0,75$ МПа) далее определить требуемую толщину слоя мерзлого торфа, обеспечивающую движение автопоездов с заданной осевой нагрузкой.

При исследованиях в полевых условиях были найдены закономерности температурно-напряженного состояния слоя мерзлого торфа по его толщине. Результаты опытов приведены на рис.1. Они показывают, что для определения толщины дорожной одежды на болотах необходимо учитывать зависимость модуля упругости торфа от его отрицательной температуры, которая имеет максимальное значение на поверхности дороги и убывает по глубине до нуля.

Очевидно, что под толщиной дорожной одежды из слоя мерзлого торфа следует принимать ту его часть, в которой температура отрицательна, т. е. изменяется от минусовой на поверхности до нуля на глубине промерзания.

Данные на рис. 1 показывают, что любая механическая обработка поверхности болота (расчистка от снега, проминка, уплотнение, устройство насыпи и т. д.) приводит к увеличению глубины промерзания торфа, т. е. его прочности.

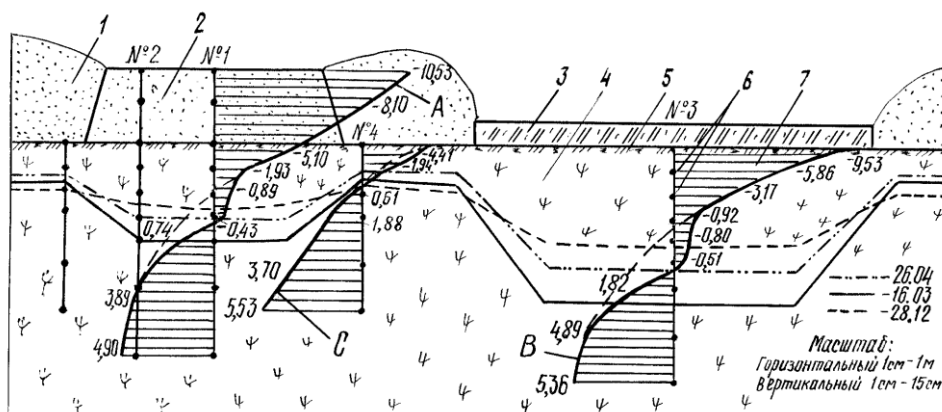


Рис. 1. Поперечное сечение двух опытных участков Угзеньской зимней дороги: А, В, С – кривые распределения средних температур по глубине массива; 1 – снежный покров; 2 – песчаная насыпь; 3 – снеголед; 4 – талый торф; 5 – мерзлый торф; 6 – термоматчики; 7 – эпюры промерзания грунта

Аналитический расчет толщины дорожной одежды основан на следующих предпосылках:

при кратковременных нагрузках (автопоезд) допустимо рассматривать мерзлый торф как упругое тело и применять для расчета зимних дорог на прочность методы теории упругости и сопротивления материалов;

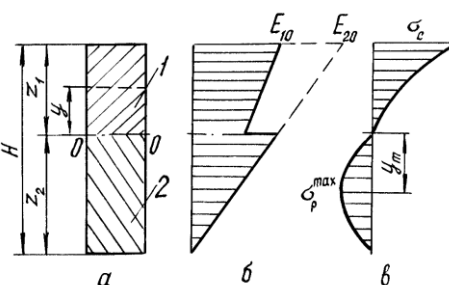
связь между напряжениями в слое мерзлого торфа и его деформациями линейна, однако механические характеристики торфа, прежде всего модуль упругости и предел прочности, зависят от отрицательной его температуры;

мерзлый торф относится к анизотропным телам и имеет различные характеристики при растяжении и сжатии;

конструкция зимней дороги на болоте является, как правило, многослойной (минимум однослойной), и отдельные слои имеют различные механические характеристики;

расчет требуемой толщины дорожной одежды зимних дорог на прочность ведут по допускаемым напряжениям, проездная способность дороги оценивается в наиболее неблагоприятных условиях ее эксплуатации.

Рис. 2. Расчетная схема для слоя мерзлого торфа: а – схема поперечного сечения; б – эпюра модулей упругости; в – эпюра напряжений; 1 – слой сжатия; 2 – слой растяжения



Поскольку модуль упругости торфа и его температура изменяются по толщине слоя мерзлого торфа, уменьшаясь сверху вниз, то для однослойной дорожной одежды (рис. 2, а) имеем следующие зависимости [5]: для определения закономерности изменения модуля упругости по слоям сжатия и растяжения (рис. 2, б)

$$E_1 = \frac{E_{10}}{H}(z_1 + y); \quad E_2 = \frac{E_{20}}{H}(z_2 + y), \quad (3)$$

где E_{10} , E_{20} – расчетные модули упругости на поверхности дороги;

z_1 , z_2 – толщина слоев сжатия и растяжения;

H – толщина дорожной одежды;

y – расстояние от нейтрального слоя до рассматриваемого. В зоне сжатия $y > 0$, в зоне растяжения $y < 0$;

для определения положения нейтрального слоя при изгибе находим сначала вспомогательную величину $\nu = z_1 / H$ по формуле

$$\nu = \sqrt{\frac{E_{20}(1-\nu)^3}{E_{10}(3-\nu)}}, \quad (4)$$

затем, зная H , можно вычислить z_1 и z_2 .

Эквивалентный модуль упругости для всего слоя мерзлого торфа вычисляют по выражению

$$E_{\vartheta} = E_{10}\nu^3(4-\nu) + E_{20}(1-\nu)^4. \quad (5)$$

Далее рассчитываем слой мерзлого торфа как некоторую плиту, лежащую на упругом полупространстве. Модуль упругости плиты равен эквивалентному модулю упругости этого слоя. Можно также рассматривать слой мерзлого торфа как плиту, лежащую на линейно-деформируемом основании, характеризуемом коэффициентом постели C .

При определении толщины дорожной одежды сначала находим напряжения мерзлого торфа в слоях сжатия и растяжения по формулам (рис. 2, в)

$$\sigma_1 = \frac{E_{10}M}{E_{\vartheta}IH}(z_1y + y^2); \quad \sigma_2 = \frac{E_{20}M}{E_{\vartheta}IH}(z_2y + y^2) \quad (6)$$

и максимальные нормальные напряжения в слое растяжения

$$\sigma_{2\max} = -\frac{E_{20}MH}{4E_{\vartheta}I}(1-\nu)^2, \quad (7)$$

где M – изгибающий момент внутренних сил в данном поперечном сечении.

Прогибы плиты в продольном направлении выражали по формуле изгиба бруса, лежащего на линейном основании с коэффициентом постели C [4]:

$$\vartheta = k \sum P_i e^{-k\xi_i} (\cos k\xi_i + \sin k\xi_i), \quad (8)$$

где ϑ – поперечный прогиб;

P_i – сосредоточенные силы на поверхности дороги от осей автопоезда;

ξ – координаты точек приложения силы по оси, направленной вдоль плиты;

k – коэффициент относительной жесткости основания и плиты,

$$k = \sqrt[4]{E_p H^3 / 0,03 C \alpha}; \quad (9)$$

α – коэффициент поперечного изгиба плиты;

C – коэффициент постели.

Введение в формулу (9) коэффициента α позволяет перейти от двухосной задачи к трехосной, т. е. к рассмотрению плиты.

По формулам (6) – (9) можно получить выражение для определения нормальных напряжений в любом слое мерзлого торфа на расстоянии y от нейтральной оси:

$$\sigma = \frac{0,3(1 - \mu^2) E_p (z_2 y + y^2) \sum P_i e^{-k \xi_i} (\cos k \xi_i - \sin k \xi_i)}{k E_p B H^4}, \quad (10)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

E_p – расчетный модуль упругости для отдельных слоев, определяемый по формулам (6).

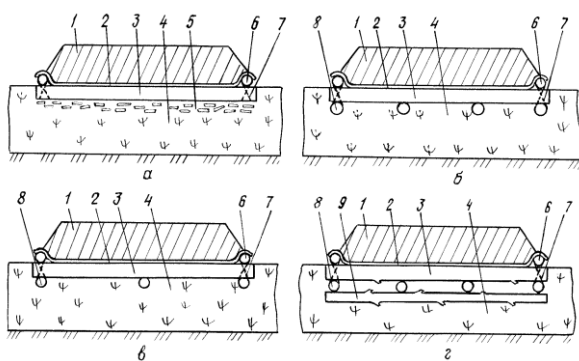
С учетом принятых выше предпосылок расчетная схема представляет собой плиту неограниченной длины, лежащую на линейно деформируемом основании с коэффициентом постели C . Поперечное сечение плиты – прямоугольник, состоящий из нескольких слоев с различными механическими свойствами. Для принятой расчетной модели дифференциальное уравнение изгиба примет вид

$$D \frac{\partial^4 \vartheta}{\partial y^4} + k^4 \vartheta = 0, \quad (11)$$

где $D = E_p h^3 / 12(1 - \mu^2)$ – цилиндрическая жесткость.

В результате выполненных расчетов получены значения толщины одно-, двух- и четырехслойной дорожных одежд, схемы которых приведены на рис. 3.

Рис. 3. Типы конструкций участков Угзеньской зимней автомобильной дороги: 1 – песчаная насыпь; 2 – отработанные сукна и сетки (ОСС); 3 – поперечный настил из бревен; 4 – торф; 5 – отходы нижнего склада (щепа, кора и др.); 6 – продольные лаги; 7 – обвязка; 8 – нижние продольные лаги; 9 – прореженный поперечный настил



В, м	$\theta, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ см, при } C, \text{ Н/см}^3$			$\vartheta, \text{ см, при } C, \text{ Н/см}^3$		
		1	3	5	1	3	5
900	-1	23,4	25,9	37,1	1,50	2,06	3,73
	-5	22,5	25,0	30,6	1,50	2,04	3,70
	-10	19,5	21,6	26,6	1,56	2,13	3,92
700	-1	30,0	32,5	37,5	1,93	2,41	3,78
	-5	29,1	37,2	36,2	1,90	2,39	3,72
	-10	25,2	27,2	31,6	2,03	2,54	3,99
500	-1	36,1	38,8	43,4	1,69	2,11	3,19
	-5	34,7	37,5	42,8	1,68	2,08	3,15
	-10	30,2	32,5	37,3	1,79	2,23	3,36
300	-1	48,1	51,2	60,0	1,44	1,77	2,85
	-5	60,0	49,4	58,1	2,85	1,76	2,82
	-10	40,3	43,1	50,3	1,53	1,87	2,97

Результаты расчета однослойной дорожной одежды зимней дороги на болоте приведены в таблице.

В предложенной нами математической модели расчета напряженно-деформированного состояния различных конструкций зимних дорог на болотах более полно, чем у других авторов, учтены особенности их работы в реальных условиях. Данные таблицы совпадают с результатами, полученными при расчете тонкой плиты методами теории упругости. Следовательно, предложенная математическая модель хорошо учитывает основные физические особенности задачи по изгибу тонкой плиты из мерзлого торфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Амарян Л.С. Прочность и деформируемость торфяных грунтов. - М.: Недра, 1969. - 192 с. [2]. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные уравнения. - М.: Наука, 1967. - 368 с. [3]. Каган Г.Л. Расчет несущей способности промороженного торфяного покрова//Нефтепромысловое строительство. - 1972. - № 7.- С. 8-11. [4]. Микеладзе Ш.Е. Некоторые задачи строительной механики. - М.; Л.: Огиз – Гостехиздат, 1948. - 268 с. [5]. Морозов В.С. Основания и разработка оптимальных конструкций и технологии строительства зимних лесовозных дорог на болотах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - СПб.: СПб ЛТА, 1992. - 20 с. [6]. Павлов Ф.А. К вопросу о распределении нормальных вертикальных напряжений в снежно-ледяном покрытии // Лесн. журн. - 1964. - № 6. - С. 84 - 88. - (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Роман Л.Т. Физико-механические свойства мерзлых торфяных грунтов. - Новосибирск: Наука, 1981. - 136 с. [8]. Савко Н.Ф. Расчет и конструирование зимних автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1969. - 128 с.

Поступила 19 июня 1998 г.

УДК 624.131.472.001.57

А.М. КУЛИЖНИКОВ, А.В. УЕМЛЯНИН



Кулижников Александр Михайлович родился в 1955 г., окончил в 1977 г. Архангельский лесотехнический институт, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог Архангельского государственного технического университета. Имеет более 120 печатных работ в области регулирования водно-теплового режима грунтов земляного полотна, исследования местных материалов в дорожном строительстве и пространственного моделирования рельефа, элементов геологии и гидрогеологии местности.



Уемлянин Антон Валентинович родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры автомобильных дорог С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет 7 печатных работ в области моделирования рельефа, элементов геологии и гидрогеологии местности.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЛЬЕФА

Приведены результаты моделирования поверхностей с помощью уравнений полиномов разных степеней и аналитических сплайнов. Даны рекомендации по назначению степени полинома, оптимальному числу исходных точек для моделирования с минимальной погрешностью, оценка адекватности моделирования двумя методами.

The results on surface modelling are presented based on polynomial equations of different degrees and analytical splines. The recommendations are given on defining the polynomial degree, optimal number of reference points for modelling with minimal error, as well as adequacy estimate of modelling by two methods.

Аналитическое моделирование поверхностей рельефа, границ геологических слоев, положения уровня грунтовых вод и т. д. позволяет оптимизировать с большим экономическим эффектом целый ряд дорожно-строительных задач, в том числе в лесной промышленности.

Цель наших исследований – обосновать эффективную методику и параметры моделирования поверхностей площадных объектов для условий Ев-

ропейского Севера России. Под площадными объектами подразумеваются поверхности с соизмеримыми длиной и шириной, как правило, площадью до 1 ... 2 км² (например площадки под нижние склады, производственные базы, карьеры, транспортные развязки, искусственные сооружения и т. д.). В качестве методов моделирования рассматривали полиномы и аналитические сплайны.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) определить эффективные области применения полиномов и аналитических сплайнов для моделирования поверхностей с различным перепадом высот;
- 2) установить влияние степени полинома на погрешность моделирования;
- 3) определить требуемую плотность исходной информации;
- 4) оценить влияние граничных точек на общую погрешность моделирования.

Погрешность моделирования оценивали по минимальным среднему квадратичному отклонению ($C_{с.к.}$) и критерию регулярности (K_p) [2], определяемым следующими зависимостями:

а) среднее квадратичное отклонение

$$C_{с.к.} = \sqrt{\frac{K_{см}}{N}},$$

где N – число исходных точек;

$K_{см}$ – минимум смещения,

$$K_{см} = \sum_{i=1}^N (Z_i - z_i)^2.$$

Здесь Z_i, z_i – высотные координаты, определенные экспериментально и полученные аналитическим расчетом в одной и той же точке;

б) критерий регулярности

$$K_p = \sqrt{\frac{K_{см}}{\sum_i Z_i^2}}.$$

В целях оценки адекватности моделирования поверхности уравнениями полиномов разных степеней и аналитических сплайнов на кафедре автомобильных дорог Архангельского государственного технического университета были выполнены расчеты для 15 различных поверхностей площадью 1 км² каждая с перепадами высот $\Delta h = 17,7 \dots 63,0$ м, характерных для Архангельской области.

Анализ продольных профилей автомобильных и лесовозных дорог показал, что на глубинах инженерных изысканий пространственное положение границ геологических слоев и расположение уровня грунтовых вод часто повторяет очертание земной поверхности. Поэтому в качестве исходных дан-

ных были взяты пространственные координаты точек рельефа. Предполагаем, что выводы, полученные при моделировании рельефа, могут быть без больших ошибок распространены и на элементы геологии и гидрогеологии местности. В этом случае обязательным условием должно быть наличие одного и того же грунта и уровня грунтовых вод в каждой исходной точке.

Моделирование поверхностей уравнениями алгебраических полиномов выполняли следующим образом:

$$F(X, Y) = \sum_{k=0}^N C_k F_k(X, Y), \quad (1)$$

где C_k – коэффициент полинома;

$$F_k(X, Y) = X^{Q-R} Y^R.$$

Здесь Q, R – целые числа, $Q, R = 0, 1, 2, 3, \dots, n$; $Q \geq R$;

N – число слагаемых в полиноме;

X, Y – декартовы координаты точек.

Коэффициент полинома C_k определяли из решения систем линейных уравнений. Для близкорасположенных точек аппроксимацию выполняли уравнениями полиномов разных степеней по методу «плавающего круга». Число точек выбирали в зависимости от степени полинома n . Для 2-й степени расчет выполняли по 6 точкам, для 7-й – по 36. Погрешность моделирования оценивали по всем исходным точкам.

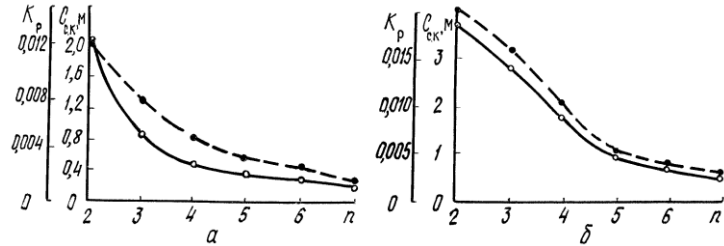
Наибольший интерес представляет определение оптимальной степени полинома. Известно [3], что ее последовательно увеличивают до тех пор, пока среднее квадратичное отклонение фактической поверхности от аппроксимируемой не станет меньше или равным заранее заданной погрешности моделирования. При сложном характере экспериментальных функций удовлетворительное приближение возможно только полиномами высоких степеней.

Для количественной оценки сделанного заключения моделировали характерные поверхности уравнениями полиномов 2 – 7-й степеней, что позволило сделать следующие выводы.

1. При аппроксимации поверхностей рельефа уравнениями полиномов (методы исключения Гаусса, вращения Гаусса, Жордана, итерационный Гаусса – Зейделя) наибольшую точность дает метод вращения Гаусса с масштабированием исходных точек.

2. В расчет необходимо включать точки, находящиеся на незначительном расстоянии от границы аппроксимируемой площади, что существенно повышает точность вычислений для точек, расположенных в пределах рассматриваемой территории, и снижает погрешность в определении отметок точек непосредственно на границе.

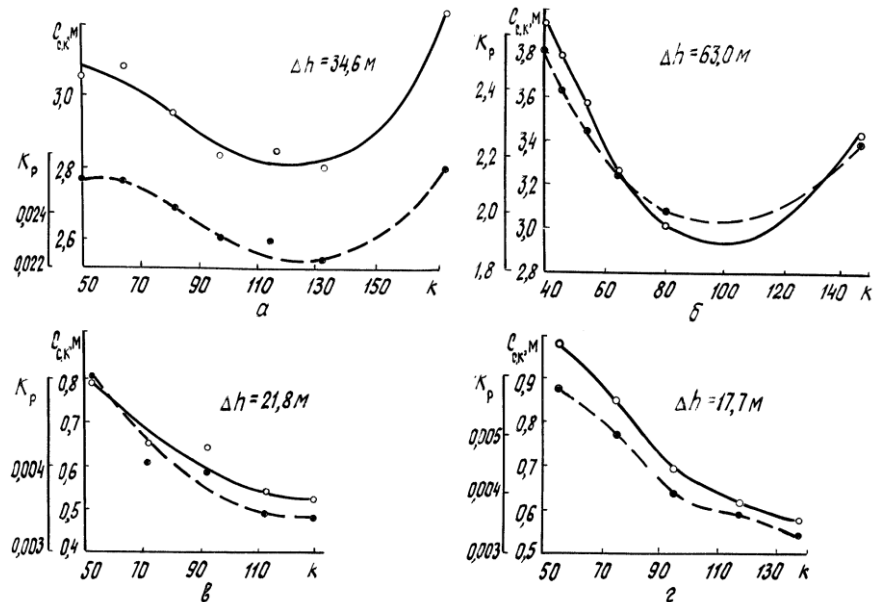
3. С увеличением степени полинома погрешность моделирования уменьшается (рис. 1). Оптимальная степень при аппроксимации рельефа местности площадью 1 км² равна 4-5. С последующим ее увеличением резко



возрастают ресурсы машинного времени без сколько-нибудь существенного повышения точности вычислений (рис. 1, а, б).

Рис. 1. Графики зависимости среднего квадратического отклонения $C_{с.к.}$ (сплошная линия) и критерия регулярности K_p (пунктирная) от степени полинома: а – при перепаде высот $\Delta h = 22$; б – $57,5$ м

4. Если в расчет не включать точки, находящиеся за границей аппроксимируемой площади, то плотность точек, при которой среднее квадратическое отклонение и критерий регулярности минимальны, составляет 100 ... 130 шт. на 1 км^2 при рассмотрении выборок от 40 до 170 точек и расчетах при 4-5-й степенях полиномов (рис. 2, а, б). Если учитывать точки за границей аппроксимируемой площади, то с увеличением их числа среднее квадратическое от-



клонение и критерий регулярности уменьшаются (рис. 2, в, г).

Рис. 2. Графики зависимости среднего квадратического отклонения $C_{с.к.}$ (сплошная линия) и критерия регулярности K_p (пунктирная) от числа опорных точек k при степени полинома 4: а, б – в расчет не включены

точки за границей аппроксимируемой площади; σ, ε — в расчет эти точки включены

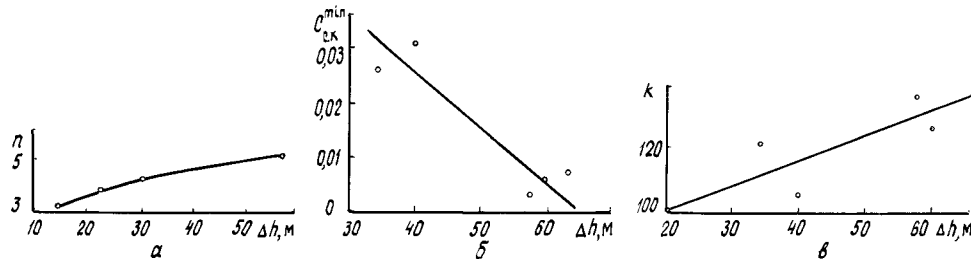


Рис. 3. Графики зависимости степени полинома n (а), минимального среднего квадратичного отклонения $C_{с.к}$ (б) и оптимального числа точек k (в) от перепада высот Δh

5. При моделировании поверхностей с большим перепадом высот требуется и большая степень полинома (рис. 3, а). Так, с увеличением перепада высот с 17,7 до 60,0 м на площади 1 км² степень полинома, при которой достигается достаточная достоверность моделирования (среднее квадратичное отклонение не превышает 1 см), соответственно возрастает от 3 до 5 (рис. 3, а).

6. Результаты расчетов показали, что при уменьшении анализируемой площади поверхности в 10 раз (при том же числе исходных точек) погрешность моделирования полиномами различных степеней практически не изменяется.

Функция $F_k(X, Y)$ помимо степенного вида может быть выражена аналитическими сплайнами типа [1]:

$$F_k(X, Y) = \sum_{i=1}^N [a_i r_i(X, Y)] + b + cX + dY, \quad (2)$$

где
$$r_i(X, Y) = [(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2] \ln [(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2]; \quad (3)$$

$$r_i(X_i, Y_i) = 0.$$

Коэффициенты a_i, b, c, d находят из условий

$$F_k(X_i, Y_i) = r_i; \quad \sum_{i=1}^N a_i = 0; \quad \sum_{i=1}^N a_i X_i = 0; \quad \sum_{i=1}^N a_i Y_i = 0.$$

Таблица 1

Максимальное число точек	Перепад высот, м	Амплитуда изменения среднего квадратичного отклонения, м	Период колебаний критериев оптимальности	Оптимальное число точек, соответствующее минимальному значению среднего квадратичного отклонения	Минимальное значение среднего квадратичного отклонения, м
173	34,58	0,17	60	120	0,026
143	63,00	0,67	40	100	0,008
141	60,00	0,03	35...40	125	0,006
135	57,50	0,02	30	135	0,003
106	40,00	0,70	20	105	0,031

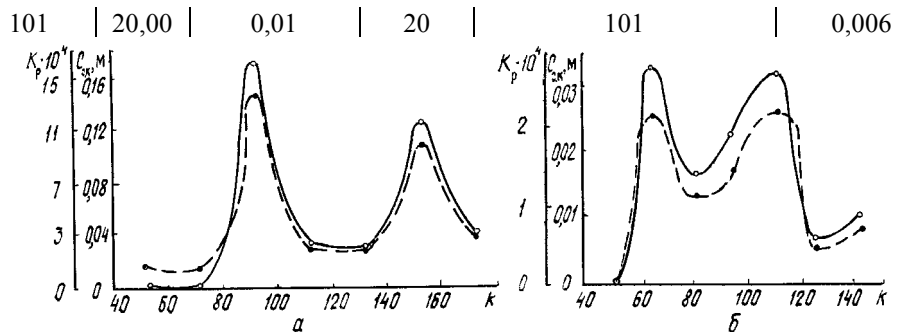


Рис. 4. Графики зависимостей среднего квадратического отклонения $C_{с.к.}$ (сплошная линия) и критерия регулярности K_p (пунктирная) от числа опорных точек k при аппроксимации аналитическими сплайнами:
а – при перепаде высот 34,6; б – 60 м

Результаты расчетов по уравнениям аналитических сплайнов поверхностей, ранее рассчитанных по уравнениям полиномов, приведены в табл. 1.

Из данных таблицы и графиков зависимости критериев оптимальности от числа точек (рис. 4), построенных для различных поверхностей, можно сделать следующие выводы.

1) Среднее квадратическое отклонение и критерий регулярности в среднем несколько меньше, чем при аппроксимации поверхностей уравнениями полиномов даже высоких степеней, т. е. аналитические сплайны значительно точнее описывают рельеф.

2) Невозможно априорно определить оптимальное число точек при аппроксимации поверхностей уравнениями аналитических сплайнов. В зависимости от их числа показания критериев могут существенно меняться по тригонометрическим зависимостям. Минимальные значения среднего квадратического отклонения и критерия регулярности получены для одной поверхности при числе исходных точек 55 ... 70, 115 ... 135, в то время как при 80 ... 105 и 145 ... 160 точках $C_{с.к.}$ возрастает более чем на порядок (рис. 4, а). Для другой поверхности минимальные значения $C_{с.к.}$ получены при 50, 75 ... 90 и 120 ... 130 точках, а максимальные при 60 ... 70 и 100 ... 115 точках (рис. 4, б).

3) С увеличением перепада высот погрешность моделирования поверхностей аналитическими сплайнами уменьшается. Наибольшая точность достигается при перепаде высот более 50 м на участке площадью 1 км² (см. рис. 3, б).

4) Оптимальное число точек при сплайновой аппроксимации поверхностей возрастает с увеличением перепада высот. Так, при $\Delta h = 20 \dots 30$ м достаточно 100 ... 110 точек, при $\Delta h = 50 \dots 60$ м требуется уже 125 ... 135 точек на 1 км² (см. рис. 3, в).

Результаты сравнения расчетов для одних и тех же моделей поверхностей, но полученные по различным методам, представлены в табл. 2. Из таблицы следует, что уравнения аналитических сплайнов несколько точнее аппроксимируют поверхности, чем уравнения полиномов.

Таблица 2

Метод аппроксимации	Номер поверхности	Минимальное среднее квадратичное отклонение, см	Минимальный критерий регулярности
Полином:	4-й степени	1	2,806
		2	3,075
		3	-
		4	1,844
		5	2,165
		6	1,010
	5-й степени	1	2,546
		2	2,970
		3	-
		4	0,970
		5	1,901
		6	0,725
Сплайн-функция	1	2,633	0,021
	2	0,780	0,005
	3	0,631	0,004
	4	0,246	0,001
	5	2,842	0,015
	6	0,314	0,002

Однако высокая точность аппроксимации достигается только при тщательном подборе числа точек (рис. 4, *а, б*) на единицу площади. Если число точек не подобрано, погрешность аппроксимации обоими методами практически сравнивается. На участках, где нет промежуточных опорных точек, можно вместо выпуклого очертания поверхности получить вогнутое и наоборот.

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Моделирование площадных объектов достаточно проводить уравнениями полиномов 4-5-й степени.

2. Полиномы 4-5-й степени дают эффект при моделировании поверхностей площадью 1 км² с перепадом высот 20 ... 40 м, аналитические сплайны – соответственно 50 ... 60 м и более.

3. При моделировании поверхностей уравнениями полиномов рекомендуемых степеней минимальная погрешность достигается с увеличением числа точек на единицу площади. При моделировании уравнениями аналитических сплайнов эта зависимость выражается тригонометрическими функциями.

4. Для снижения погрешности моделирования вблизи границ и на границах поверхности необходимо задаваться исходной информацией на незначительном расстоянии за пределами анализируемой площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Василенко В.Л. Сплайн-функции. Теория, алгоритмы, программы. - Новосибирск: Наука. Новосибир. отд-ние АН СССР, 1983. - 216 с. [2]. Ивахненко А.Г., Ивахненко М.А., Кошурько А.И. Индуктивные методы самоорганизации моделей на ЭВМ и сплайны в гидрогеологических исследованиях // Водные ресурсы. - 1985. - № 4. - С. 76-85. [3]. Фельдман А.Л., Чесалов С.М. Математические модели пространственного распределения гидрогеологических характеристик: Обзор/ВНИИ экон. минер. сырья и геологоразведочн. работ. - М.: ВИЭМС, 1986. - 47 с.

Поступила 17 сентября 1996 г.

УДК 625

С.И. МОРОЗОВ, В.П. СТУКОВ



Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет около 140 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.



Стук Вaлeрий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, почетный дорожник РФ. Имеет около 70 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.

РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ РЕГИОНА НА БАЗЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Рассмотрена возможность использования лесовозных дорог для развития транспортной сети Архангельской области. Показана целесообразность применения современных конструктивных материалов в мостах на этих дорогах.

The possibility of developing transport network of the Arkhangelsk Region based on forest roads is considered. The expediency of using modern constructional materials for bridge erection on these roads is shown.

Вся материковая часть Архангельской области (рис. 1) с различной плотностью покрыта сетью лесовозных автомобильных и железных дорог. По данным, приведенным в работе [1], их протяженность составляет примерно 19 тыс. км, но только 14,7 % автодорог имеют гравийное покрытие, и их можно условно отнести к дорогам круглогодичного действия. Дороги с покрытиями других типов являются или частично круглогодичными, или сезонными.

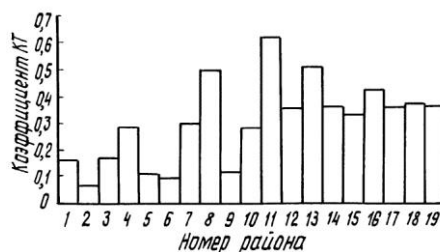
После реконструкции лесовозных дорог до уровня капитальных с твердым покрытием они могут выполнять различные народнохозяйственные функции: транспортную связь между населенными пунктами различной значимости, освоение природных ресурсов и т. д., но в основном они используются для нужд лесопромышленного комплекса.

Важным показателем развития сети дорог по районам области является коэффициент транспортного освоения КТ, представляющий собой отношение протяженности дорог (км) на рассматриваемой территории к ее площади (км²).

Рис. 2. Гистограмма транспортных коэффициентов всех дорог Архангельской области по районам: 1 – Приморский; 2 – Мезенский; 3 – Онежский; 4 – Холмогорский; 5 – Пинежский; 6 – Лешуконский; 7 – Плесецкий; 8 – Виноградовский; 9 – Верхнетоемский; 10 – Каргопольский; 11 – Няндомский; 12 – Шенкурский; 13 – Коношский; 14 – Вельский; 15 – Устьянский; 16 – Красноборский; 17 – Ленский; 18 – Котласский; 19 – Вилегодский



Рис. 1. Разбивка Архангельской области на районы (без НАО)



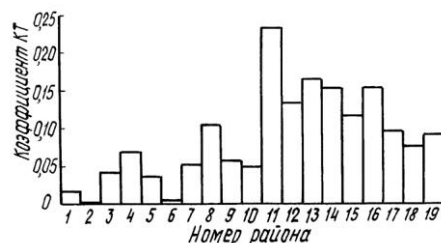


Рис. 3. Гистограмма транспортных коэффициентов лесовозных дорог по районам

На рис. 2 представлена гистограмма транспортных коэффициентов для районов Архангельской области [1]. Она характеризует плотность транспортных путей различного назначения. По отдельным районам КТ изменяется в довольно широком диапазоне: от 0,066 для Мезенского до 0,619 для Няндомского.

Плотность лесовозных дорог по тем же районам представлена гистограммой на рис. 3. Здесь коэффициенты КТ имеют меньшие значения, чем для всех дорог, и отражают освоение территории области при существующей системе лесозаготовок.

Из анализа гистограммы на рис. 3 видно, что для основных районов лесозаготовок (Плесецкий, Каргопольский и т. п.) после соответствующей реконструкции можно использовать сложившуюся сеть лесовозных дорог, тогда как в неосвоенных лесных массивах (Мезенский и Лешуконский районы), где целесообразны рубки промежуточного пользования, лесовозные дороги практически отсутствуют.

На рис. 4 приведена гистограмма протяженности лесовозных дорог.

На рис. 5 дана информация о протяженности мостов на этих дорогах при условии, если все они подлежат реконструкции до уровня автомобильных дорог с твердым покрытием. Данная информация несколько условна, поскольку расчет произведен исходя из среднего по области показателя 2,8 км, представляющего протяженность мостов на 1000 км автодорог.

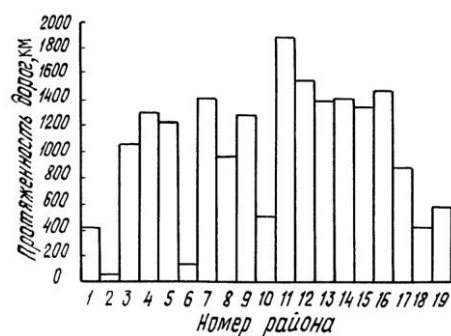


Рис. 4. Гистограмма протяженности лесовозных дорог по районам Архангельской области

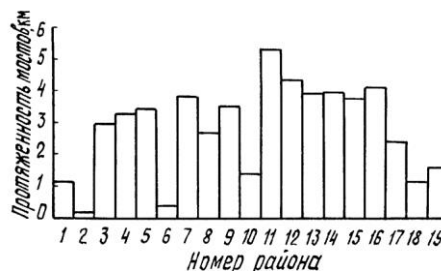


Рис. 5. Гистограмма протяженности мостов на лесовозных дорогах Архангельской области

Конечно, параметры существующих лесовозных дорог не соответствуют нормативам, но при прокладке просек и отчуждении земель уменьшаются объемы вырубki леса и земляных работ, снижается влияние дорожно-строительной техники на окружающую среду и биогеоценоз и т. д. По данным [1], использование лесовозных дорог позволит не менее чем на одну треть сократить затраты за счет уменьшения капитальных вложений на строительство земляного полотна.

Разумеется, что существующие лесовозные дороги будут использоваться далеко не полностью и только для решения конкретных задач после реконструкции. Мосты следует строить капитальными, в ряде случаев под производственные нагрузки более А11 и НК-80.

Если учесть, что для становления современной транспортной сети автодорог, обслуживающих инфраструктуру области до 2000 г., следует выполнить весьма значительные объемы работ [2] и попробовать реально увязать их с традиционно сложившимися поставками мостовых конструкций из железобетона и металла из центральных районов России, то напрашивается вывод о необходимости применения в мостах на реконструируемых дорогах современных конструкционных материалов, изготавливаемых в пределах области. Такими материалами является клееная древесина отдельно или в сочетании с железобетоном.

Развитие сети лесовозных дорог, отвечающих требованиям не только настоящего времени, но и будущего, – первоочередная задача, успешное решение которой даст древесину предприятиям, обеспечит трудоустройство населения, снимет остроту экологических проблем, связанных с лесозаготовками. Эта проблема вполне разрешима вместе с созданием специализированных дорожно-мостостроительных организаций, налаживанием современного производства клееных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Морозов С.И., Морозов В.С. Транспортное освоение территории Архангельской области на базе лесовозных дорог // Научно-техническая политика и развитие новых отраслей экономики Архангельской области: Тез. докл. науч.-практ. конф. – Архангельск, 1998. – С. 93-94. [2]. Программа развития дорожного хозяйства Архангельской области до 2000 года (без Ненецкого автономного округа) // Ведомости Архангел. областн. собрания депутатов. – Архангельск, 1995. - № 1. – С. 31-38.

Поступила 25 декабря 1998 г.

УДК 624.131.276

Н.П. КОВАЛЕНКО, В.Р. ИВКО

Ивко Вячеслав Ростиславович родился в 1958 г., окончил в 1987 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета. Имеет 25 печатных работ в области экологии и инженерных конструкций.

О ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНАХ ИЗ ТОРФА

Уточнены особенности торфяных отложений Северо-Западного региона. Изучены изменения фильтрационных свойств торфа разного ботанического состава под нагрузкой.

The regional character of peat deposits of North-western region has been revised. The changes of filtering properties of peat of different botanic composition under the load have been studied.

Фильтрационные потери жидкой составляющей накопителей отходов промышленных предприятий происходят через тело ограждающих дамб, их основания и дно чаши накопителя. СНиП 2.06.05–84 [2] для экранов и понуров грунтовых плотин допускает применение торфа с защитным покрытием из минеральных грунтов (термин «плотины из грунтовых материалов» соответствует термину «ограждающие дамбы из грунтовых материалов»). Опыт возведения и эксплуатации подобных сооружений широко освещен в литературе. Известны отдельные случаи возведения таких сооружений в Архангельской области, например участок ограждающей дамбы с торфяным ядром на Соломбальском ЦБК (ныне рекультивируемый участок золоотвала). По ряду объективных причин этот опыт не получил распространения.

Тем не менее использование торфа в качестве естественных противофильтрационных экранов чаши накопителей представляет определенный интерес. Это связано с особенностями Северо-Западного региона. К ним относятся распространенность торфяных отложений, конструктивные особен-

ности эксплуатируемых накопителей (низкий класс капитальности, большая протяженность ограждающих дамб, малая их высота и, как следствие, большие площади), высокий уровень осадков и грунтовых вод. В этих условиях устройство противofильтрационных экранов из малопроницаемых материалов (уплотненные глинистые грунты, асфальтобетон и т. п.) является трудоемким и затратным.

В то же время известен ряд фактов, позволяющих рассматривать торфяную залежь как естественный противofильтрационный экран чаши накопителя. Прежде всего, это снижение фильтрации с увеличением нормального давления, высокая сорбционная способность торфа и наличие переходного водоупорного слоя.

Общеизвестно, что коэффициент фильтрации торфа (K_f) при нормальном давлении 0,1 МПа уменьшается в 100 раз и более по сравнению с этим показателем для необжатого торфа, при давлении 0,3 МПа практически равен нулю. С ростом давления K_f уменьшается неравномерно, максимально – на уровне малых давлений, что связано с ликвидацией макропор. После их закупорки снижение водопроницаемости замедляется. Фильтрационные свойства торфа зависят от степени его разложения и ботанического состава, а следовательно, от типологической принадлежности. Торф обладает фильтрационной анизотропностью, нестабильностью фильтрационного потока во времени, начальный градиент проявляется при высоких напорах. Водопроницаемость торфа зависит от степени дисперсности, причем эта связь намного теснее, чем между коэффициентом фильтрации и степенью разложения.

Высокая сорбционная способность торфа позволяет использовать его в торфяных фильтрах, сорбирующих ионы тяжелых металлов, компоненты фенолов, нефтепродуктов, органических масел и т. д.

Особенностью торфяной залежи является наличие на границе перехода от торфа к минеральному грунту горизонта небольшой мощности (2...20 см) с низкими фильтрационными свойствами ($K_f = 1,1 \cdot 10^{-7} \dots 1,1 \cdot 10^{-4}$ см/с), как правило, с ярко выраженным оглеением. Мощность этого горизонта зависит от вида подстилающего грунта. У легких по механическому составу грунтов она ниже, чем у тяжелых.

Для выявления региональных особенностей торфяных отложений были использованы материалы отчетов о детальной разведке ряда торфяников области («Шидровское» Виноградовского района, «Рикасиха» и «Онежский мох» Приморского района и др.), выполненных геологоразведочной экспедицией Северо-Западного территориального управления. Часть исследований проведена нами, в первую очередь на территориях существующих накопителей промышленных отходов целлюлозно-бумажной промышленности.

На основании первоначально проведенного анализа, с учетом литературных данных, было установлено, что болота и болотные массивы

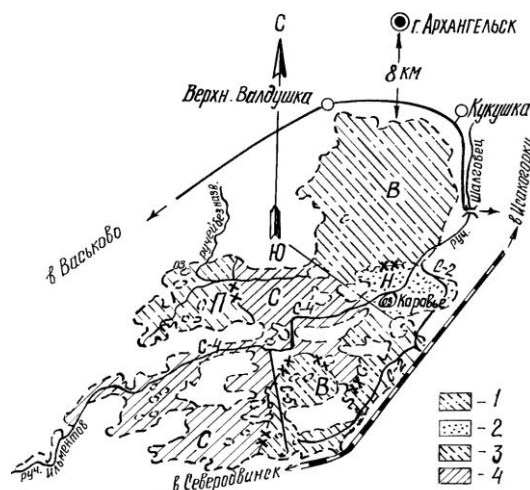


Рис. 1. Карта-схема торфяного месторождения «Онежский мох» Приморского района: 1 – торф верхового типа; 2 – низинного; 3 – переходного; 4 – смешанного

Архангельской области имеют как общеизвестные географические, так и региональные особенности. К региональным особенностям следует отнести распространение низинных жестководногрунтовых болот в местах выхода карбонатных пород на поверхность, а также обилие низинных прирусловых болот, связанное с огромной протяженностью больших и малых рек. При преобладании олиготрофных (верховых) торфяников (до 60 % всех болот) отмечается типологическая пестрота в рамках сравнительно небольших заболоченных территорий. Это проиллюстрировано на рис. 1, где представлена карта-схема торфяного месторождения «Онежский мох» Приморского района. Проведенные полевые исследования подтвердили пестроту подстилающих четвертичных отложений (рис. 2) и, что не менее важно, широкий диапазон изменчивости переходного оглеенного горизонта (от 1,5 до 19,0 см). Минеральное дно имеет уклоны до 6,9 %.

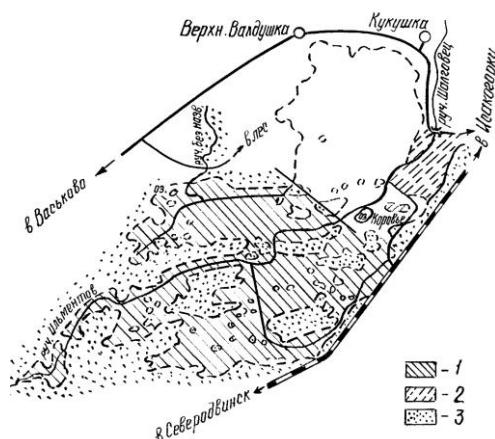
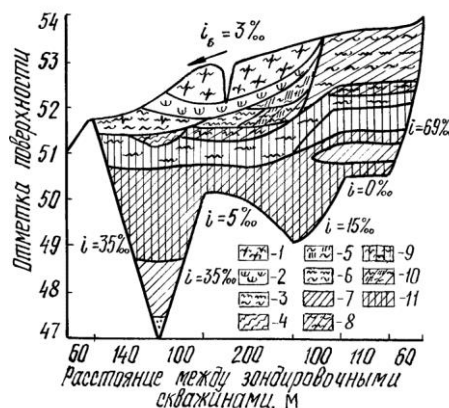


Рис. 2. Карта-схема четвертичных отложений; 1 – озерно-болотные; 2 – озерно-ледниковые; 3 – ледниковые

Рис. 3. Стратиграфический разрез торфяных отложений месторождения «Онежский мох»: 1 – фускум; 2 – ангустифолиум; 3 – комплексный верховой; 4 – пушицево-сфагновый; 5 – шейхцериево-сфагновый; 6 – сфагновый переходный; 7 – осоковый низинный; 8 – осоковый переходный; 9 – древесный переходный; 10 – шейхцериево-переходный; 11 – древесно-осоковый низинный торф



Подобная типологическая пестрота характерна для ряда других мест, в частности участка накопителей промышленных отходов Котласского ЦБК. Накопители Соломбальского ЦБК расположены в основном на низинных торфах по аллювиальным отложениям, отличающихся пестротой подстилающего слоя (аллювиальные глины, суглинки, супеси мощностью от 0,5 до 2,0 м, пески разной зернистости, илы).

Анализ инженерно-геологических условий на площадях возведения накопителей отходов целлюлозно-бумажной промышленности области показал, что они размещались на заболоченных территориях, имеющих холмистое минеральное дно с выходом на поверхность сильнодренирующих аллювиальных и моренных отложений, коэффициент фильтрации которых колебался от $5,7 \cdot 10^{-4}$ до $2,9 \cdot 10^{-2}$ см/с. При выборе секций хранения промышленных отходов эти особенности не учитывались.

Общеизвестна пестрота ботанического состава в стратиграфических разрезах торфяных отложений. Не являются исключением торфяные залежи в Архангельской области. В качестве примера приведен рис. 3. Высокая пестрота ботанического состава торфяных отложений выявлена в районе накопителей Архангельского, Котласского и Соломбальского ЦБК.

При изучении фильтрационных свойств торфяных грунтов мы исследовали влияние на них обжимающей нагрузки, включая фильтрационную анизотропность, а также длительного воздействия (в течение 17 лет) химически активных фильтратов.

Воздействие обжимающей нагрузки на фильтрацию определяли по схеме «двух скважин» Чайдса [1]. Усовершенствованная схема представлена на рис. 4. Она позволяет определять горизонтальную (K_r) и вертикальную (K_v) составляющие коэффициента фильтрации, зависящие от нормального давления в пределах как отдельного торфяного слоя, так и по глубине торфяного массива, а в целом, в первом приближении, моделировать фильтрацию в обжатом торфяном основании накопителя.

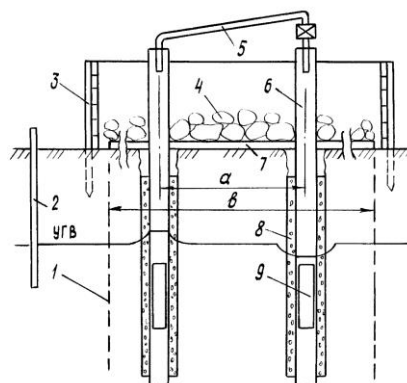


Рис. 4. Схема опыта по определению горизонтальной и вертикальной составляющих коэффициента фильтрации при переменном давлении: 1 – прорез в торфе; 2 – контрольный пьезометр; 3 – опалубка; 4 – нагрузочный материал; 5 – насос; 6 – фильтрующая поляная труба; 7 – жесткая металлическая плита; 8 – гравийная засыпка; 9 – вкладыш

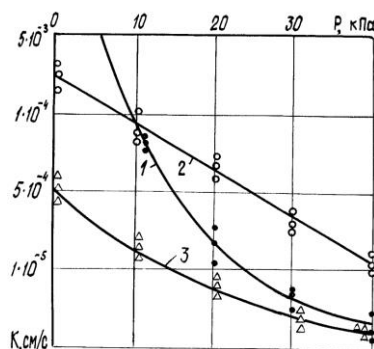
Для проведения опыта выбирали участок торфяной залежи с заранее определенными свойствами. Уровень грунтовых вод на участке должен быть ниже дневной поверхности, что исключало взвешивающее воздействие воды на каменную или другую пригрузку.

В две заранее подготовленные скважины задавливали трубы большого диаметра (d_1), в которые опускали трубы меньшего диаметра (d_2) ($d_1 = 1,1 d_2$). Для предотвращения смятия волокон торфа большие трубы выполняли с острозаточенными кромками. Зазор между стенками труб после центровки заполняли отсеком мелкого гравия. После этого трубу большого диаметра вынимали. На торфяное основание укладывали жесткую металлическую квадратную плиту стороной $b = 3a$. В торфе делали прорез на максимально допустимую глубину, устанавливали опалубку. Плиту нагружали камнем или другим тяжелым материалом, равномерно распределенным по ее площади. С помощью насоса малой производительности воду откачивали из одной скважины в другую. При этом уровень грунтовых вод приобретал очертания, примерно отображенные на рис. 4. За окончание фильтрации принимали момент выравнивания уровня грунтовых вод. Горизонтальную и вертикальную составляющие коэффициента фильтрации определяли по методике работы [1], при этом значение K_v находили по методу Киркхема, основанному на измерении времени, в течение которого поднимается вода лишь со дна скважины. Для этого трубу меньшего диаметра первоначально устанавливали без боковых фильтрационных отверстий.

Зная экспериментальные значения составляющих фильтрации, характеризующей массив в условиях полевого опыта, находили показатель фильтрационной анизотропности (α) по формуле

$$\alpha = K_r/K_v.$$

Рис. 5. Зависимость коэффициента фильтрации K от давления P в слое торфа мощностью 1 м: 1 – комплексный переходный; 2 – ангустифолиум; 3 – древесно-осоковый низинный



Коэффициент фильтрации в слое торфа мощностью 1 м измеряли для трех видов торфа: комплексного переходного (степень разложения 20...25 %), ангустифолиума (30...35 %) и древесно-осокового низинного (45...50 %). Результаты опыта приведены на рис. 5. Установлено изменение значений анизотропности при возрастании давлений на торфяное основание.

Изменение коэффициента фильтрации торфяной залежи, находившейся длительное время под воздействием химически активного фильтрата шлама зеленого щелока, определяли методом откачек в диапазоне малых нагрузок (0...18 кПа). Коэффициент фильтрации изменялся от $4,6 \cdot 10^{-4}$ до $5,7 \cdot 10^{-6}$ см/с. Нижний предел коэффициента фильтрации близок к показателю для суглинка и глины.

Таким образом, анализ литературных источников и результаты полевых исследований показали, что при увеличении нормального давления до 80 кПа (что соизмеримо с обжатием 2–3-метрового слоя шламовых материалов) водонепроницаемость торфа снижается до значений показателя для пылевато-глинистых грунтов. Следовательно, торф можно рассматривать в качестве естественного экрана чаши накопителей низкотоксичных промышленных отходов. Подобная водопроницаемость торфов, подвергавшихся длительному воздействию химически активных фильтратов, была достигнута в диапазоне меньших нагрузок.

В целях надежного экранирования чаши накопителей необходимо разработать технологию разволакивания и выравнивания торфяной залежи, последовательность заполнения накопителя или его секций, делая упор на равномерном обжатии экрана, установить оптимальные градиенты напора, с учетом проницаемости трехслойных оснований (торф–переходный слой – минеральное дно), продолжить исследования сорбционных свойств торфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1.] Винокуров Ф.П., Тетеркин А.Е., Питерман М.А. Строительные свойства торфяных грунтов. - Минск: Изд-во АН БССР, 1962. С. 283. [2.] СНиП 2.06.05–84. Плотины из грунтовых материалов. - М.: Стройиздат, 1984. - 49 с.

Поступила 24 июня 1996 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 671.05:534.1

Т.П. СТУКОВА



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

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Представлены результаты исследований в области динамики деревообрабатывающего оборудования.

The investigation data is given related to the performance of wood-working machinery.

Работоспособность оборудования, стабильность технологических процессов в условиях технического прогресса в деревообработке приобретают особо важное значение [3].

Одним из основных и мало изученных критериев работоспособности современных дереворежущих станков является их виброустойчивость, т. е. способность работать без резонансов во всех рабочих режимах [1].

Для оценки степени приближения к резонансу используют показатель относительной частоты внешнего возмущения p/k (где p – частота внешнего возмущения, k – частота собственных колебаний). При проектировании деталей и узлов станков следует стремиться к тому, чтобы этот показатель не попадал в опасный интервал $0,7 \leq p/k \leq 1,3$ [2].

Наибольшая трудность при определении степени приближения к резонансу связана с вычислением собственных частот изгибных колебаний упругой системы и подготовкой расчетных схем. Метод расчета выбирают в соответствии со структурой упругой системы [2].

Нами проанализированы основные методы определения собственных частот изгибных колебаний рабочих (ножевых) валов деревообрабатывающих станков. Предпочтение отдано методу сил и методам Релея и Дункерлея. В данной работе в основном использован метод сил.

Обоснование расчетных схем

При применении метода сил реальный вал заменяют расчетной схемой невесомого вала с точечными массами, или дисками.

Установлено, что валы фрезерных узлов фрезерно-брусующих и фрезерно-обрезных станков ФБ-2, ФБ-3, ФБС-750, ФБС-750М, Ц2Д1Ф можно представить расчетной схемой невесомого вала с точечными массами, или дисками, и применить метод сил для вычисления низших собственных частот.

Расчет методом сил по схеме (назовем ее основной) невесомого вала с дисками-массами учитывает особенности реальной механической системы: сосредоточенные массы велики по сравнению с распределенными; момент инерции сечения вала по его длине – величина переменная; наличие инерции поворота и гироскопических эффектов вращающихся дисков.

Подготовка исходных данных и решение задачи по этой схеме связаны с определенными трудностями. Поэтому мы поставили перед собой цель – из возможных вариантов различных сочетаний невесомого вала с тремя точечными массами-дисками выбрать такую (или такие) упрощенную схему, которая отвечает следующим требованиям:

подготовка данных и проведение расчета должны быть связаны с минимальными трудозатратами;

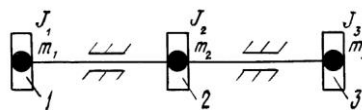
низшая собственная частота для упрощенной схемы должна совпадать с результатами расчета по основной;

должна решаться задача дальнейшего динамического исследования, т. е. определения вынужденных колебаний фрезерного инструмента с учетом конструкции фрезерного узла и эксплуатационных режимов.

За критерий возможности замены основной расчетной схемы на упрощенную принято равенство низших частот собственных колебаний [2].

Влияние упрощения расчетной схемы на значения низших собственных частот проиллюстрировано на примере двухопорного вала фрезерного узла станка ФБС-750 с тремя дисками (рис.1).

Рис. 1. Расчетная схема: 1 – фреза; 2 – тормозной шкив между опорами; 3 – приводной шкив



Частотные уравнения решены с применением пакета MathCAD на персональных ЭВМ.

В результате анализа основной и упрощенных расчетных схем сформулированы выводы и рекомендации по их применению.

1. Основная схема является наиболее точной. В ней учтены особенности рассматриваемой механической системы: переменный момент инерции поперечного сечения вала; небольшое число сосредоточенных масс; малость распределенных масс по сравнению с сосредоточенными; инерция поворота масс и гироскопические эффекты. К достоинствам такой схемы можно отнести высокую точность расчетов, к недостаткам – трудоемкие вспомогательные расчеты моментов инерции и коэффициентов влияния; необходимость составления программы вычисления частот на ЭВМ (или вычисление низших частот приближенными методами, что снижает точность).

2. Пренебрежение инерцией поворота и гироскопическим эффектом первого диска (фрезы) снижает низшую собственную частоту на 20 %. Для повышения точности учет этих параметров обязателен.

3. Пренебрежение инерцией поворота и гироскопическим эффектом второго и третьего дисков почти не изменяет значение низшей собственной частоты. В дальнейшем их учет необязателен, второй и третий диски можно считать точечными массами.

4. Схема невесомого вала с тремя точечными массами является самой простой в подготовке и не требует применения ЭВМ. Точность вычислений k_1 и k_2 ниже, чем по основной схеме, соответственно на 20 и 27 %. Эту схему рекомендуется применять для грубой приближенной оценки низшей собственной частоты, при исследовании влияния сосредоточенных масс и жесткости вала на низшую собственную частоту.

5. Хорошее совпадение низших собственных частот получено по схеме невесомого вала с диском-точечной массой J_1 , m_1 и точечной массой m_3 . Эту схему целесообразно применять при исследовании влияния конструктивных параметров фрезы, жесткости вала, гироскопического эффекта на низшую собственную частоту. Трудоемкость подготовки исходных параметров для расчета по этой схеме намного меньше, чем по основной. Решение частотного уравнения не требует привлечения ЭВМ.

6. Схема невесомого вала с диском учитывает инерцию поворота и гироскопический эффект первого диска. Она дает хорошее совпадение низшей собственной частоты с частотой основной схемы и может быть рекомендована для исследования движения фрезы.

7. Применение той или иной расчетной схемы определяется постановкой задачи и требуемой точностью вычислений.

Исследование влияния массы и конструкции фрезы, жесткости вала, гироскопического момента на низшую собственную частоту

Исследование влияния массы фрезы и жесткости рабочего вала проведено по схеме невесомого вала с тремя точечными массами методом сил. Результаты исследований, выраженные графически, представлены на рис. 2.

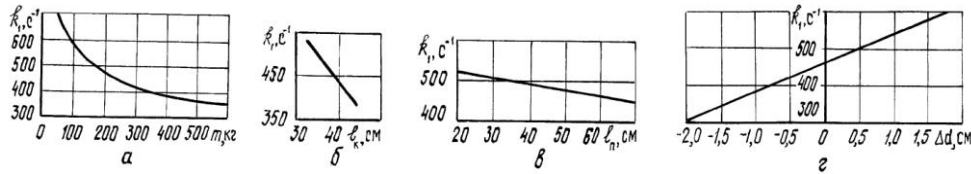


Рис. 2. Изменение низшей частоты собственных колебаний k_1 в зависимости от массы фрезы m (а), длины консоли l_k (б), на которой закреплена фреза, расстояния между подшипниками l_n (в) и диаметра рабочего вала Δd (г)

График рис. 2, а можно применять для быстрой приближенной оценки низшей собственной частоты колебаний рабочих валов фрезерных узлов, изгибная жесткость которых близка к жесткости рабочего вала станка ФБС-750; графики рис. 2, б-г – для рабочих валов фрезерных узлов, геометрические параметры которых изменяются в принятых диапазонах.

Влияния гироскопического момента исследовали методом сил по схеме невесомого двухконсольного вала на двух опорах: на одной консоли закреплён диск-точечная масса, а на другой – точечная масса.

Таблица 1

Марка фрезы	Число ножей z	Момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	
		J_{Cx}	$J_{Cy} = J_{Cz}$
И-702	4	16,390	9,080
	6	20,580	11,290
	8	24,750	13,500
	10	28,920	15,700
	12	33,082	17,859
И-47	3	3,887	2,280
	4	4,960	2,690
	6	6,177	3,438
	8	7,702	4,230
	10	9,227	5,010
И-668	8	24,618	13,750
Фреза станка ФБ-2	8	18,240	12,640

И-663		4		12,640		7,690
-------	--	---	--	--------	--	-------

При учете влияния гироскопического эффекта везде вместо экваториального момента J_{C_y} принята величина I , равная разности экваториального и осевого J_{C_x} моментов инерции фрезы [2].

Моменты инерции фрезы приведены в табл. 1.

Частотное уравнение для принятой расчетной схемы имеет вид:

$$\Delta(Z) = \begin{vmatrix} Z - \alpha_{11}m_1 & -\alpha_{13}m_3 & -\gamma_{11}I_1 \\ -\alpha_{31}m_1 & Z - \alpha_{33}m_3 & -\gamma_{31}I_1 \\ -\beta_{11}m_1 & -\beta_{13}m_3 & Z - \delta_{11}I_1 \end{vmatrix} = 0,$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – коэффициенты влияния;
 m – точечная масса.

Нижние индексы 1 и 3 относятся к первой и третьей точечной массам.

Как видно из приведенной гистограммы (рис. 3), с увеличением массы и момента инерции фрезы (переход от фрезы И-47 к И-668) влияние гироскопического момента увеличивает низшую собственную частоту соответственно на 5,3; 7,6; 20,3; 23,4 %.

На частотах вращения, близких к критическим, учет гироскопического момента при определении низшей собственной частоты обязателен.

Исследование влияния конструкции фрезы на собственную частоту проведено методом сил по схеме невесомого вала с диском-точечной массой на консоли.

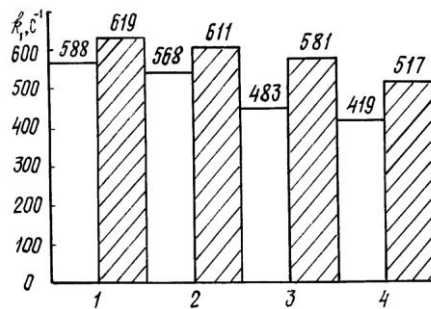


Рис. 3. Гистограмма изменения низшей частоты собственных колебаний рабочего вала с различными фрезами без учета (не заштриховано) и с учетом (заштриховано) гироскопического момента: 1 – фреза И-47 ($z = 3$); 2 – И-47 ($z = 4$); 3 – И-702 ($z = 4$); 4 – И-668 ($z = 8$)

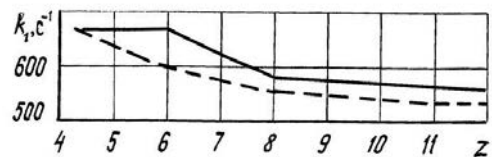


Рис. 4. Изменение низшей частоты собственных колебаний рабочего вала в зависимости от числа ножей z фрез различных конструкций (1 – обычная фреза, 2 – фреза без обода и верхних креплений)

Таблица 2

Число ножей	Масса фрезы, кг	Момент инерции, кг·м ²			Собст- венная частота k_1, c^{-1}	Масса фрезы без обода и верхних крепле- ний, кг	Момент инерции, кг·м ²			Собст- венная частота k_1, c^{-1}
		J_{Cx}	$J_{Cy} = J_{Cz}$	I			J_{Cx}	$J_{Cy} = J_{Cz}$	I	
4	180,00	16,390	9,080	-7,100	663	148,6	10,19	6,07	-4,11	683
6	215,50	20,580	11,296	-8,290	602	181,4	14,30	7,92	-6,38	645
8	251,18	24,750	13,504	-11,250	577	214,1	18,13	10,26	-7,86	599
10	286,77	28,920	15,708	-13,212	543	246,9	22,21	12,10	-10,11	570
12	322,44	33,082	17,859	-15,213	515	279,6	26,16	14,14	-12,02	542

Частотное уравнение имеет вид

$$\Delta(Z) = \begin{vmatrix} Z - \alpha_{11}m_1 & -\gamma_{11}I_1 \\ -\beta_{11}m_1 & Z - \delta_{11}I_1 \end{vmatrix} = 0.$$

Специально для исследований на основе фрезы И-702 были смоделированы фрезы с числом ножей от 6 до 12 без обода и верхних креплений (табл. 2 и рис. 4) и с изменением положения центра тяжести ножей при их неизменной ориентации в пространстве (табл. 3).

При вычислении моментов инерции фрезы относительно трех главных центральных осей инерции ее рассматривали как сложное тело, состоящее из 19 элементов [4].

Схема фрезы И-702 представлена на рис. 5. Для нее были вычислены координаты центров тяжести и массы элементов; моменты инерции всех элементов фрезы относительно осей, проходящих через центры тяжести элементов параллельно осям системы O_{xyz} ; значения $m_i (x_i - x_C)^2$, $m_i y_i^2$, $m_i z_i^2$.

Таблица 3

Расстояние от центра тяжести ножа до оси вращения, см	Наружный радиус пятого элемента, см	Масса фрезы без обода и верхних креплений, кг	Момент инерции, кг·м ²			Собственная частота k_1, c^{-1}
			J_{Cx}	$J_{Cy} = J_{Cz}$	I	
16,25	9,75	115,99	3,10	2,03	-1,07	668,7
22,50	15,75	123,53	4,86	2,96	-1,90	696,9
28,25	21,75	134,63	7,23	4,21	-3,02	696,0
33,80	27,50	148,67	10,79	6,08	-4,71	699,0
40,00	33,50	166,65	15,23	8,02	-7,21	703,2
46,00	39,75	188,26	21,77	11,67	-10,10	696,4
52,00	45,50	213,43	30,17	16,19	-13,98	687,7

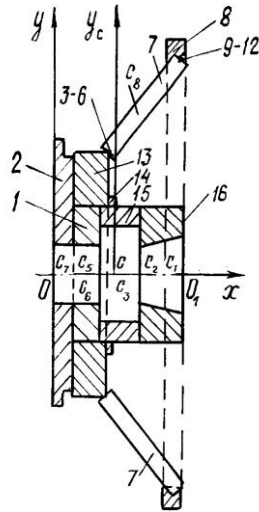


Рис. 5. Схема фрезы И-702: 1 – пильный диск; 2 – пила; 3 – 6, 9 – 12 – крепления ножей; 7 – ножи; 8 – обод; 13 – корпус; 14 – 16 – части ступицы

Моменты инерции фрезы относительно осей системы O_{xyz} равны сумме моментов инерции элементов фрезы относительно тех же осей и определены по следующим формулам ($n = 19$):

$$J_{Cx} = \sum_1^n J_x^{(i)} = \sum_1^n J_{Cx}^{(i)} + \sum_1^n m_i y_i^2 + \sum_1^n m_i z_i^2 ;$$

$$J_{Cy} = \sum_1^n J_y^{(i)} = \sum_1^n J_{Cy}^{(i)} + \sum_1^n m_i (x_i - x_c)^2 + \sum_1^n m_i z_i^2 ;$$

$$J_{Cz} = \sum_1^n J_z^{(i)} = \sum_1^n J_{Cz}^{(i)} + \sum_1^n m_i (x_i - x_c)^2 + \sum_1^n m_i y_i^2 .$$

В результате вычислений находим

$$J_{Cx} = 8,331 + 4,028 + 4,028 = 16,388 = 16,39 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{Cy} = 4,375 + 0,679 + 4,028 = 9,084 = 9,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эта методика расчета моментов инерции фрез И-702, И-668 положена в основу алгоритма и программы для ЭВМ, по которой в дальнейшем найдены моменты инерции фрез, применяемых в действующих агрегатных станках, а также смоделированных для целей исследования (см. табл. 1, 2, 3).

От определения низших собственных частот изгибных колебаний валов перейдем к критическим частотам вращения. Как известно, критическая частота вращения вала равна собственной частоте его поперечных колебаний. Сравнение частот вращения рабочих валов фрезерных узлов перечисленных выше станков и их низших собственных частот показало, что

частоты вращения лежат в докритической зоне, т. е. при разгоне и торможении валов их движение является устойчивым.

Определение расчетного диапазона частот возмущающих сил

Следующий этап определения приближения к резонансу заключается в выяснении возможного диапазона частот возмущающих сил, действующих на упругую систему.

Внешней возмущающей силой, действующей на фрезерный узел агрегатного станка, является периодически изменяющаяся сила резания с основной частотой $p_1 = \omega z$ (где ω – частота вращения).

Значения частот гармонических составляющих внешней возмущающей силы равны $2p_1, 3p_1, 4p_1$ и т. д.

Относительные частоты внешнего возмущения p/k определяют степень приближения к резонансу. Анализ этих данных позволил сделать выводы о виброустойчивости рабочих валов фрезерных узлов станков ФБС-750, ФБС-750М, ФБ-2, ФБ-3, Ц2Д1Ф с различными фрезами во всех рассмотренных режимах.

В качестве примера в табл. 4 приведены рекомендуемые скорости подачи u и частоты вращения ω фрезерного вала станка ФБС-750.

На основании проведенных расчетов сделаны следующие выводы.

Скорости подачи, равные 80 и 90 м/мин, и соответствующие им частоты вращения вала наиболее опасны с точки зрения развития в системе установившихся вынужденных колебаний.

При движении рабочего вала фрезерного узла станка ФБС-750М с фрезой И-7300.00-04 и электродвигателем 4А200Л4У3 основной резонанс близко подходит к границе опасной зоны ($p/k = 1,392$). Так как фреза И-7300.00-04 сконструирована таким образом, что в работе

Таблица 4

Фреза	u , м /мин	ω , с ⁻¹
И-47 ($z = 3$)	24	41,60
	36	62,40
	50	86,66
	65	113,30
И-47 ($z = 4$)	24	31,20
	36	46,80
	50	65,00
	65	85,00
И-702 ($z = 4$)	24	31,20
	36	46,80
	50	65,00
	65	85,04
И-668 ($z = 8$)	24	15,60
	36	23,40

	50	32,50
	65	42,50

могут принимать участие как 4, так и 8 ножей, то была определена степень приближения к резонансу при использовании двигателей, которые удовлетворяли бы обоим условиям сразу: 4A250S8Y3, 4A250M8Y3, 4A280S8Y3, 4A225M6Y3, 4A250S6Y3, 4A250M6Y3, 4A200M4Y3, 4A200L4Y3, 4A225M4Y3. С учетом виброустойчивости по поперечным колебаниям наиболее подходящими признаны двигатели 4A200MY33, 4A200L4Y3, 4A225M4Y3.

При использовании фрез И-702 ($z = 4$) и И-702 ($z = 6$) в станке ФБС-750М возможен основной резонанс, т. е. резонанс по первой гармонике внешнего возмущения, имеющий форму первого главного колебания. Использование этих фрез в станке ФБС-750М не рекомендуется.

Фрезу И-668, сконструированную для станка ФБС-750, можно устанавливать и на станке ФБС-750М.

Вычисление низших собственных частот рабочих валов фрезерных узлов станков ФБ-2, ФБ-3 проведено по схеме невесомого вала с четырьмя точечными массами методом Дункерля.

Установлены места возможных резонансов.

1. По первой гармонике возмущающей силы:

а) вал станка ФБ-2 при частотах вращения 58,9 и 78,5 с^{-1} , что соответствует скоростям подачи 90 и 120 м/мин;

б) вал станка ФБ-3 при частотах вращения 117,8; 157,0 и 196,3 с^{-1} , что соответствует скоростям подачи 90, 120 и 150 м/мин.

2. По второй гармонике возмущающей силы:

а) вал ФБ-2 при частотах вращения 39,3 и 47,1 с^{-1} , что соответствует скоростям подачи 60 и 72 м/мин;

б) вал ФБ-3 при частотах вращения 78,5 и 94,2 с^{-1} , что соответствует скоростям подачи 60 и 72 м/мин.

Так как метод Дункерля дает заниженное значение низшей собственной частоты, то для вала станка ФБ-2 наиболее опасными следует считать частоту вращения 78,5 с^{-1} и скорость подачи 120 м/мин, для вала станка ФБ-3 – соответственно частоты вращения 157,0 и 196,3 с^{-1} при скорости подачи 120 и 150 м/мин.

Вычисление низшей собственной частоты рабочего вала фрезерно-обрезного станка Ц2Д1Ф проведено по схеме невесомого вала с диском-точечной массой методом сил. Установлены места возможных резонансов.

По первой гармонике возмущающего момента возможен резонанс при частоте вращения 340,0 с^{-1} , по второй гармонике – при 146,5 и 167,4 с^{-1} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Грубе А.Э., Санев В.И. Основы теории и расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий.- М.: Лесн. пром-сть, 1973. - 383 с. [2]. Вейц В.Л., Дондошанский В.К., Чиряев В.Н. Вынужденные колебания в металлорежущих станках. - М.; Л.: Машгиз, 1959. - 288 с. [3]. Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр.- СПб.: СПбЛТА, 1998. - 96 с. [4]. Стукова Т.П. Вибрация механизмов резания агрегатного лесопильного оборудования. - СПб: СПбГТУ, 1993. - 104 с. [5]. Стукова Т.П. Теоретические основы динамики дереворежущих станков. Примеры практического применения. - Л.: ЛТА, 1984. - 75 с.

Поступила 22 февраля 1999 г.

УДК 621.935

Г.Ф. ПРОКОФЬЕВ, С.В. ЕРШОВ

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 150 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Ершов Сергей Викторович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации обработки экономической информации Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области лесопиления, исследования круглых пил, маркетинга, инновационного менеджмента.



К ВОПРОСУ ОГРАНИЧЕНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ

Показано, что скорость резания не влияет на устойчивость и изгибную жесткость ленточной пилы; снижение усталостной

прочности пилы является одним из основных ограничений увеличения скорости резания.

The cutting speed has been shown not to influence the stability and bending strength of band saw. Reducing the strength of the saw is one of the main restrictions of increasing the cutting speed.

Скорость резания является важным параметром ленточнопильных станков. С увеличением ее растет допустимая скорость подачи, ограничиваемая шероховатостью поверхности пиломатериалов:

$$u_{ш} = 60V \frac{u_z}{t}, \quad (1)$$

где $u_{ш}$ – скорость подачи, ограничиваемая шероховатостью, м/мин;

V – скорость резания, м/с;

u_z – допустимая подача на зуб, определяемая требуемой шероховатостью поверхности пропила, мм;

t – шаг зубьев пилы, мм.

Такое же влияние оказывает скорость резания на допустимую скорость подачи с ограничением по работоспособности межзубовых впадин [1]:

$$u_{р.в} = 10V \frac{t}{h}, \quad (2)$$

где $u_{р.в}$ – допустимая скорость подачи с ограничением по работоспособности впадин, м/мин;

h – высота пропила, мм.

Однако увеличение скорости резания не только повышает производительность ленточнопильного станка, но и повышает энергозатраты на резание:

$$N_{рез} = P V, \quad (3)$$

где $N_{рез}$ – энергозатраты на резание, кВт;

P – касательная сила резания, кН (методика расчета касательной P и нормальной R сил резания приведена в работе [1]).

При повышении скорости резания растут энергозатраты и на холостую работу станка, доля которых в суммарном энергопотреблении составляет примерно 15 %.

Представляется важным рассмотреть и другие (кроме мощности) ограничения, не позволяющие увеличивать скорость резания.

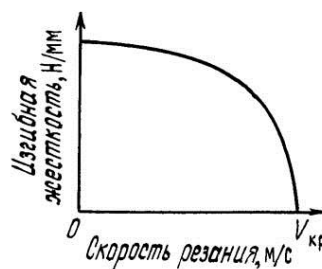


Рис. 1. Влияние скорости резания V на изгибную жесткость ленточной пилы при ее постоянном натяжении

В работе [1] высказано предположение, что значение скорости резания 35...50 м/с лимитируется центробежной силой, возникающей при движении пилы по шкиву. Ряд исследователей считают, что скорость резания ограничивается колебаниями пилы, в результате которых возникает неподвижная волна. Если считать натяжение пилы постоянным $N = \text{const}$, то с увеличением скорости резания ее жесткость и устойчивость будут снижаться, и при достижении определенной скорости, называемой критической, пила потеряет жесткость и устойчивость (рис. 1). Рассмотрим этот случай, изложенный в работах [3, 6, 8], подробнее. Принципиальная схема ленточнопильного станка и система координат, связанных со станком, приведены на рис. 2.

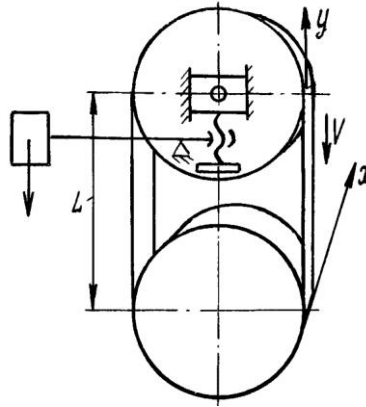


Рис. 2. Принципиальная схема ленточнопильного станка

Согласно принципу Остроградского–Гамильтона, действительное движение пилы выделяется из всех допустимых движений тем, что удовлетворяет условию экстремума интеграла

$$S = \int_{t_0}^{t_1} (T - \Pi) dt, \quad (4)$$

где T , Π – кинетическая и потенциальная энергия пилы при заданных ее положениях в моменты времени t_0 и t_1 .

В системе координат (x_1, y_1) , движущейся вместе с пилой,

$$T = \frac{1}{2} \rho h \iint_F \left(\frac{dw}{dt} \right)^2 dx dy, \quad (5)$$

где ρ – плотность материала пилы;

h – толщина пилы;

F – площадь свободной части пилы;

w – прогиб пилы как функция координат и времени t .

В системе координат (x, y) , связанной со станком, координата y зависит от времени t , поэтому полная производная прогиба по времени определяется формулой

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} = V \frac{\partial w}{\partial y}. \quad (6)$$

Здесь учтено, что $\frac{\partial y}{\partial t} = V$ – скорость резания.

Считая, что форма пилы при потере устойчивости в координатах (x, y) неподвижна, получаем $\frac{\partial w}{\partial t} = 0$.

Уравнение для определения потенциальной энергии имеет вид [8]

$$\Pi = \frac{D}{2} F \iint_F \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dxdy + \frac{h}{2} \iint_F \sigma_y \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 dxdy, \quad (7)$$

где D – цилиндрическая жесткость, $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$;

E – модуль упругости материала пилы;

ν – коэффициент Пуассона;

σ_y – напряжения от натяжения пилы.

Используя выражения (5) и (7), получаем

$$T - \Pi = \frac{V^2 \rho h}{2} \iint_F \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 dxdy - \frac{D}{2} F \iint_F \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dxdy - \frac{h}{2} \iint_F \sigma_y \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 dxdy. \quad (8)$$

Если считать натяжение пилы не зависящим от ее скорости, то из анализа выражения (8) можно сделать вывод о влиянии скорости резания на параметры движения пилы. Действительно, в работе [6] показано существование критической скорости (скорости резания), при которой пила теряет способность сопротивляться внешним нагрузкам, а в работе [8] отмечено, что с увеличением скорости резания изгибная жесткость пилы и ее горизонтальная критическая сила уменьшаются.

Но авторы [6, 8] не учитывают одно обстоятельство: пила при увеличении скорости резания получает дополнительное натяжение, обусловленное центробежными силами при ее движении по шкивам (рис. 3).

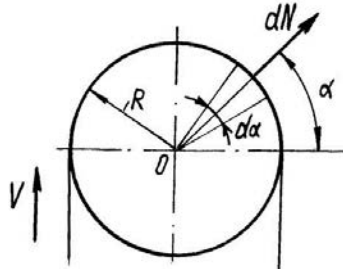


Рис. 3. Натяжение пилы от центробежных сил

Таким образом, для каждой ветви пилы дополнительное натяжение

$$\sigma_{\omega} = \rho V^2, \quad (9)$$

при этом суммарное

$$\sigma_y = \sigma_N + \sigma_{\omega} = \sigma_N + \rho V^2. \quad (10)$$

После подстановки уравнения (10) в (8) имеем:

$$\begin{aligned} T - \Pi = & -\frac{D}{2} F \iint_F \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy - \\ & - \frac{h}{2} \iint_F \sigma_N \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 dx dy. \end{aligned} \quad (11)$$

Следовательно, подынтегральное выражение функционала (1) не зависит от скорости движения пилы, если учитывать ее дополнительное натяжение от центробежных сил при движении по шкивам (слагаемые, содержащие множитель V^2 , взаимно уничтожаются). Это означает, что скорость резания никак не влияет на изгибную жесткость и устойчивость ленточной пилы.

Тем не менее, есть другие ограничения, не позволяющие значительно увеличивать скорость резания. К ним относятся динамические нагрузки на пилу и уменьшение ее сцепления со шкивом вследствие засасывания воздуха.

Погрешности изготовления рабочих поверхностей шкивов, их износ, биение подшипников и валов приводят к изменению силы натяжения пилы N и ее динамической составляющей $\Delta N_{\text{дин}}$, которая зависит от скорости резания и динамических характеристик механизма натяжения. Влияние погрешностей изготовления, монтажа и эксплуатации на динамическую составляющую силы натяжения пилы ленточнопильного станка рассмотрено в работе [2]. С увеличением скорости резания возрастают динамическая составляющая $\Delta N_{\text{дин}}$, число циклов нагружения за период между заточками и натяжение пилы, обусловленное центробежными силами на шкивах, что приводит к снижению ее прочности.

Известно, что разрушение ленточных пил в процессе эксплуатации носит усталостный характер. Прочность пил считается обеспеченной, если коэффициент запаса прочности n не меньше требуемого значения $[n]$. С учетом условий изготовления, подготовки и эксплуатации ленточных пил в работе [4] рекомендовано $[n] = 2$. Коэффициент запаса прочности ленточных пил может быть определен [4] по следующей формуле:

$$n = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_B} \left[\frac{K_3 \sigma_B}{\beta \sigma_{-1N}} \left(\frac{\sigma_n}{2} + \Delta \sigma_n \right) + \left(\frac{\sigma_n}{2} + \sigma_n \right) \right]}, \quad (12)$$

где σ_B – предел прочности материала пилы, МПа;

K_3 – эквивалентный коэффициент концентрации напряжений,

$$K_3 = (K_n \sigma_n + K_r \sigma_r) / (\sigma_n + \sigma_r);$$

K_n – коэффициент концентрации напряжений при изгибе пилы;

K_r – коэффициент концентрации напряжений при растяжении пилы;

β – коэффициент, зависящий от качества обработки межзубовых впадин;

σ_{-1N} – предел ограниченной выносливости материала пилы, МПа,

$$\sigma_{-1N} = 1665 - 204 \cdot \lg \frac{120000 t V}{L_n}; \quad (13)$$

t – время работы пилы между переточками, мин;

L_n – длина пилы, мм;

σ_n – напряжения от натяжения пилы, $\sigma_n = \sigma_N + \sigma_\omega$, МПа;

σ_N – начальные напряжения в пиле от натяжения, МПа;

σ_ω – напряжения в пиле от центробежных сил, $\sigma_\omega = \rho V^2 \cdot 10^{-6}$, МПа;

ρ – плотность материала пилы, $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³;

$\Delta \sigma_n$ – изменение напряжений от натяжения пилы во время работы, МПа;

σ_n – напряжения от изгиба пилы на шкивах, $\sigma_n = \frac{h}{D_{ш}} E$, МПа;

h – толщина пилы, мм;

$D_{ш}$ – диаметр пильных шкивов, мм;

E – модуль упругости материала пилы, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

С увеличением скорости резания возрастает натяжение пилы от центробежных сил σ_ω и динамическая составляющая растягивающих напряжений $\Delta \sigma_n$, уменьшается предел ограниченной выносливости σ_{-1N} . Все это приводит к уменьшению коэффициента запаса прочности пилы n и снижению ее долговечности.

Рассмотрим пример ограничения скорости резания делительного ленточнопильного станка, для чего определим коэффициент запаса прочности при $V = 30; 60$ м/с. Для стали 9ХФ, из которой изготовлены отечественные ленточные пилы, $\sigma_B = 1500$ МПа, $\sigma_{-1N} = 430$ МПа. Диаметр пильных шкивов $D_{ш} = 1250$ мм, толщина пилы $h = 1,2$ мм, длина пилы 7900 мм. Продолжительность работы пилы между переточками $t = 240$ мин. Напряжения от начального натяжения пилы $\sigma_n = 80$ МПа. Согласно [9] принимаем $K_n = 1,26$ и $K_r = 1,65$. Эквивалентный коэффициент концентрации напряжений $K_3 = 1,65$. Коэффициент, учитывающий качество обработки поверхности впадин зубьев, при обычной заточке ленточных пил ($R_{\max} = 20$ мкм) равен 0,7.

По данным работы [2] у ленточнопильных станков, находящихся в эксплуатации, динамическая составляющая натяжения пилы равна 3 ... 20 % от первоначальной силы натяжения. Для $V = 30$ м/с принимаем $\Delta\sigma_n = 0,1$ $\sigma_n = 8$ МПа и для $V = 60$ м/с – $\Delta\sigma_n = 0,1 \cdot 80 \frac{60^2}{30^2} = 32$ МПа. Подставляя принятые и полученные значения исходных данных в формулу (9), для $V = 30$ м/с имеем $n = 2,14$ и для $V = 60$ м/с – $1,67$, что меньше $[n] = 2$. Таким образом при увеличении скорости резания запас прочности пилы окажется недостаточным.

Снижение прочности пилы является одним из основных ограничений при увеличении скорости резания. Этим можно объяснить, что у современных ленточнопильных станков скорость резания обычно не превышает 45 м/с.

Выводы

Скорость резания не влияет на устойчивость и изгибную жесткость ленточной пилы.

При увеличении скорости резания снижается усталостная прочность ленточной пилы, что является одним из основных ограничений ее увеличения для станков традиционной конструкции (с пильными шкивами).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

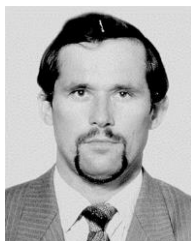
- [1]. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. – Минск: Высшейш. шк. 1975. – 300 с. [2]. Веселков В.И. Теория и конструкция ленточнопильных станков: Учебн. пособие. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1992. – 84с. [3]. Ершов С.В. Влияние скорости резания на устойчивость ленточных пил // Лесн. журн. – 1995. – № 2-3. – С.83-87. – (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с. [5]. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. – М.: Гостехтеориздат, 1955. – 567 с. [6]. Ходерян Б.А., Ершов С.В. Динамическая жесткость ленточных пил. – М., 1985. – 8с. – Деп. в ВНИПИЭИлеспроме, № 1577-лб. [7]. Эльсгольд Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1969. – 423 с. [8]. Юрченко С.К. Об устойчивости полотен ленточных пил // Процессы резания, оборудование и автоматизация процессов деревообработки: Науч. тр. МЛТИ. – М.: МЛТИ, 1987. – Вып.191. – С.85-89. [9]. Thunell B. Stability of the Band Saw Blade // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1970. – № 9. – S. 343-348.

Поступила 19 мая 1997 г.

УДК 504.054:674.048

В.Г. ТУРУШЕВ, Ю.А. ВАРФОЛОМЕЕВ, Н.А. КУРБАТОВА, А.А. ЩЕГОЛЕВ

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



Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета. Имеет около 200 научных трудов в области повышения эксплуатационной надежности деревянных конструкций и защитной обработки древесины экологически безопасными методами.

ПРИРОДООХРАННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ПРИ АНТИСЕПТИРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

На основе действующих базовых нормативов платы за выбросы вредных веществ в атмосферу рассчитан природоохранный экономический эффект от применения отечественных бесхлорфенольных антисептиков нового поколения.

Based on the current basic standard payments for pollutant emission the environmental economic effect has been estimated for application of domestic new non-chlorophenol preservatives.

В отечественной практике объемы антисептирования пиломатериалов для защиты их от поражения плесневыми и деревоокрашивающими грибами во много раз превышают объемы консервирования и других видов химической защитной обработки древесины. Природоохранный экономический эффект от снижения токсичных выбросов в атмосферу за счет внедрения в промышленность разработанных в ЦНИИМОДе бесхлорфенольных антисептиков для древесины ЭОК, К-12, катан* взамен высокотоксичного

* Варфоломеев Ю.А. Антисептирование пиломатериалов: Обзор. информ. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1991. – 80 с.

препарата пентахлорфенолята натрия (ПХФН), применявшегося ранее и представлявшего повышенную опасность, определяли с учетом невозможности полного исключения попадания в окружающую среду вредных выделений при сушке антисептированных пиломатериалов.

Экономический эффект рассчитывали по формуле

$$\mathcal{E} = Y_1 - Y_2, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ – экономический эффект от природоохранного мероприятия, р.;

Y_1 – экономический ущерб от загрязнения атмосферы ПХФН, р.;

Y_2 – экономический ущерб от загрязнения атмосферы разработанными антисептиками.

Экономический ущерб Y , от загрязнения атмосферы, причиняемый в течение года выбросами отдельного источника, определяли по следующей формуле:

$$Y = J G B_n K_3 M, \quad (2)$$

где J – коэффициент, переводящий количественную оценку ущерба в стоимостную, $J = 2,4$ р./усл.т (с учетом индексации курса доллара 10680 р. на период расчета в 1995 г.);

G – коэффициент относительной опасности загрязнения атмосферы, учитывающий ландшафтную структуру территории и плотность ее населения, на основании анализа топографических данных г. Архангельска по зонам опасности принято $G = 2$;

B_n – базовые нормативы платы за выброс загрязняющих веществ в пределах допустимых нормативами выбросов, разработанные в соответствии с постановлением № 632 Правительства РФ от 28.08.92 (в расчетах приняты для основных токсических ингредиентов, входящих в состав антисептиков, р.);

K_3 – коэффициент экологической ситуации и значимости состояния атмосферного воздуха, для Северо-Западного экономического региона России $K_3 = 1,5$;

M – масса годового выброса загрязнений от технологического процесса антисептирования, приведенная к CO , усл.т/год,

$$M = m_i \sum_{i=1}^N A_i ; \quad (3)$$

m_i – масса годового выброса вредных веществ i -го вида, т/год;

N – общее число вредных примесей, выбрасываемых при антисептировании древесины в атмосферу;

A_i – показатель относительной агрессивности рассматриваемого антисептика, усл.т/т,

$$A_i = a_i z_i g_i ; \quad (4)$$

a_i – показатель относительной опасности присутствия примеси антисеп-

тика в воздухе, вдыхаемом человеком, по сравнению с агрессивностью окиси углерода, принятой за единицу,

$$a_i = \left(\frac{\text{ПДК}_{\text{сут CO}} \text{ПДК}_{\text{р.з CO}}}{\text{ПДК}_{\text{сут } i} \text{ПДК}_{\text{р.з } i}} \right)^{1/2} = \left(\frac{3 \cdot 20}{\text{ПДК}_{\text{сут } i} \text{ПДК}_{\text{р.з } i}} \right)^{1/2}; \quad (5)$$

$\text{ПДК}_{\text{сут CO}}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация СО в атмосферном воздухе населенных мест, $\text{ПДК}_{\text{сут CO}} = 3 \text{ мг/м}^3$;

$\text{ПДК}_{\text{р.з CO}}$ – предельно допустимая концентрация СО в воздухе рабочей зоны, $\text{ПДК}_{\text{р.з CO}} = 20 \text{ мг/м}^3$;

$\text{ПДК}_{\text{сут } i}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация антисептика в атмосферном воздухе населенных мест;

$\text{ПДК}_{\text{р.з } i}$ – предельно допустимая концентрация антисептика в воздухе рабочей зоны;

g_i – поправка, учитывающая действие токсиканта на различные реципиенты (кроме человека).

Результаты расчета показателей относительной агрессивности различных антисептиков по формулам (4), (5) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Антисептик	z_i	g_i	$\text{ПДК}_{\text{сут}}, \text{ мг/м}^3$	$\text{ПДК}_{\text{р.з}}, \text{ мг/м}^3$	a_i	$A_i, \text{ усл. т/т}$
ПХФН	1	1,2	0,078	0,39	44,4	53,28
Катан	1	1,2	1,120	2,80	4,4	5,28
К-12	1	2,0	0,210	0,55	22,8	45,60
ЭОК	1	1,2	19,070	38,15	0,3	0,36

Примечание. Предельно допустимые концентрации $\text{ПДК}_{\text{сут}}$ и $\text{ПДК}_{\text{р.з}}$ для антисептиков определены по экспериментальным данным (см. сноску на с. 116).

Для определения массы годового выброса (2), (3) антисептиков в атмосферу (в 1-й климатической зоне сезон длится 5 мес.) использовали результаты санитарно-гигиенических исследований воздуха рабочих зон различных технологических операций процесса антисептирования древесины (см. сноску на с. 116). Результаты расчета выделений вредных веществ в атмосферу при обработке раствором антисептика массой 1 кг приведены в табл. 2.

Таблица 2

Антисептик	Количество выделенных вредных веществ, мг/м^3 , за период времени				
	30 мин	8 ч	24 ч	1 мес.	5 мес.
ПХФН	2,9	46,6	139,2	4 176,0	20 880,0/0,50
Катан	1,4	22,2	66,7	2 000,0	10 000,0/0,25
К-12	2,1	33,6	100,8	3 024,0	15 120,0/0,38
ЭОК	1,9	30,2	90,7	2 720,0	13 600,0/0,34

Примечание. В знаменателе приведены данные в тоннах.

Таблица 3

Антисептик	B_n , р./т	M_p , усл.т/т	Y , млн р.	Σ , млрд р.
ПХФН	5500	26,64	4 694,5	-
Катан	5500	1,32	2 32,6	4,5
К-12	3300	17,33	1 832,3	2,9
ЭОК	3300	0,12	21,2	4,7

Результаты расчета годового экономического эффекта (1) от снижения токсичности выбросов антисептиков в атмосферу (в ценах на I квартал 1995 г.) приведены в табл. 3.

Проведенные нами расчеты подтверждают целесообразность полного отказа от применения для защиты древесины высокотоксичных препаратов на основе ПХФН и других хлорорганических соединений с заменой их на антисептики нового поколения.

Поступила 13 ноября 1995 г.

УДК 630*812

В.И. МЕЛЕХОВ, В.Л. ПОДОЛЬСКАЯ

Мелехов Владимир Иванович родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Архангельского государственного технического университета, действительный член Академии проблем качества РФ, член-корреспондент РАЕН. Имеет около 200 работ по проблемам древесиноведения, технологии обработки древесины, ресурсосбережения и рационального использования древесины.



Подольская Виктория Леонидовна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет. Аспирант кафедры древесиноведения и гидротермообработки древесины. Область научных интересов – изучение новых свойств древесины и способов их применения.



К ВОПРОСУ О ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМАЦИИ И ДЕСТРУКЦИИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СЖАТИИ ПОПЕРЕК ВОЛОКОН

На основании анализа процесса поперечного сжатия древесины сделан вывод о целесообразности исследования глубокой деструкции древесины.

Based on the analysis of crosswise wood compression the conclusion is drawn on expediency of investigating the process of deep destruction of wood.

Области использования древесины как конструкционного и технологического материала настолько обширны, что интерес к ее изучению не уменьшается, особенно это проявляется там, где возникают принципиально новые возможности ее применения в различных технологических процессах, создании высокоэффективных материалов, позволяющих существенно влиять на проблемы ресурсо- и энергосбережения в лесном комплексе.

Многочисленные исследования физико-механических свойств древесины касались, в основном, определения пределов ее прочности и зависимости их от различных факторов. Многие отечественные и зарубежные ученые исследовали такие механические свойства древесины, как растяжение, сжатие вдоль и поперек волокон, изгиб, сдвиг и т.д. Разработка теории резания, сушки, гнутья, прессования, склеивания и др., а также изучение упругости, пластичности, длительного сопротивления и релаксации связано с процессом накопления текущих и остаточных деформаций.

В связи с появлением принципиально новых материалов на основе длинноволокнистых фракций древесины и соответствующих технологий представляет интерес исследовать деление древесины на технологические фрагменты при сжатии.

Процесс сжатия древесины поперек волокон мало изучен, хотя древесина часто подвергается влиянию действия нагрузок в этом направлении. В литературе почти не имеется данных, характеризующих поведение древесины разных пород и неадекватное состояние при сжатии поперек волокон в разных условиях нагружения. Принято рассматривать два случая сжатия древесины поперек волокон:

нагрузка воздействует только на часть поверхности образца (смятие);

нагрузка равномерно распределена по всей поверхности сжимаемого образца (сжатие).

Испытание древесины на смятие поперек волокон проводили Н.Л. Леоньев, С.И. Ванин, Л.М. Перелыгин, А.Х. Певцов и др. Однако результаты этих работ не нашли отражения в таблицах стандартизованных показателей свойств древесины из-за больших противоречий. При смятии

поперек волокон сопротивление древесины характеризовалось не пределом прочности, а пределом пропорциональности, который определяли по диаграмме сжатия, при этом величина нагружения превышала предел пропорциональности. Поведение древесины при дальнейшем увеличении нагрузки исследовал Ю.М. Иванов, который впервые отметил условность понятия предела пропорциональности и предложил новую характеристику прочности – предел пластического течения – такого критического напряжения, величина которого характеризует начало появления в древесине пластических деформаций.

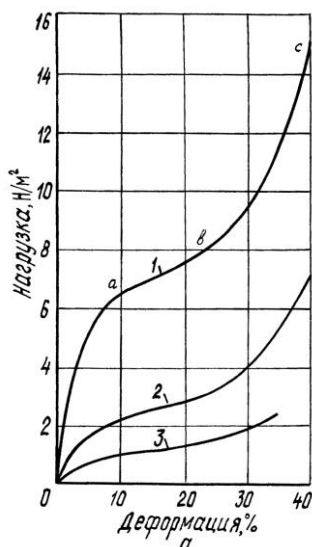
Для изучения процесса сжатия древесины поперек волокон была разработана стандартная методика на основе исследований В.А. Баженова, Л.М. Перельгина, Е.А. Семеновой и других в этом же направлении работали зарубежные исследователи (Ф. Кольман, Л.Д. Амстронг, Т. Лиу и др.).

П.Н. Хухрянский отмечал, что макростроение древесины оказывает большое влияние на степень ее сжатия поперек волокон. Близкие по макростроению породы – дуб и ясень (обе кольцесосудистые), при сжатии поперек волокон ведут себя совершенно по-разному. Древесина дуба при сжатии поперек волокон допускает большее уплотнение в плоскости годовых слоев, чем при сжатии в плоскости сердцевинных лучей; у ясеня наблюдается обратная зависимость. При сжатии древесины березы можно достичь значительной степени уплотнения как в плоскости сердцевинных лучей, так и в плоскости годовых слоев, при этом в плоскости сердцевинных лучей наблюдается расслоение образцов. Древесина хвойных пород при сжатии поперек волокон в плоскости годовых слоев, как правило, односторонне деформируется. Каждый годовой слой при этом представляет из себя брус с кривизной при продольном изгибе от равномерно приложенной нагрузки.

Поскольку при сжатии древесины поперек волокон наблюдается развитие больших деформаций, процесс разрушения образца сопровождается уплотнением. Диаграмма сжатия в этом случае имеет весьма специфическую конфигурацию, позволяющую различать три фазы деформации. При этом, как отмечает В.А. Баженов, не представляется возможным получить диаграммы сжатия, одинаково подробно и четко характеризующие все фазы.

При радиальном сжатии древесины сосны, по предложению П.И. Хухрянского, рассматривают три фазы деформирования (см. рисунок а).

Деформация в первой фазе протекает, в основном, за счет сжатия ранней древесины годовых слоев, которое характеризуется на диаграмме начальным прямолинейным участком $0a$. Он показывает, что в этой стадии деформирования древесина подчиняется закону Гука; в условный предел пропорциональности. Пер-
 до



участком $0a$. Он
 ди деформиро-
 ся закону Гука; в
 условный предел
 вая фаза продол-



Диаграмма сжатия древесины хвойных пород поперек волокон в радиальном (а) и тангенциальном (б) направлениях при влажности 10 (1), 30 (2) и 80 % (3)

наступления предела пластического течения оболочек клеток ранней древесины, включая упругую и остаточную деформации

Переход из первой фазы во вторую отмечен на графике резким перегибом — прямолинейный (почти вертикальный) участок диаграммы переходит в криволинейный. Это соответствует началу пластического течения ранней древесины. Вторая фаза характеризуется участком кривой *ab*. Он расположен горизонтально или с небольшим подъемом. На второй фазе деформация протекает, в основном, за счет смятия оболочек клеток ранней древесины. По мере вовлечения в процесс деформирования клеток поздней древесины вторая фаза постепенно переходит в третью.

Третья фаза на диаграмме описывается прямолинейным участком *bc* с крутым подъемом, в конце которого образец начинает разрушаться, что иногда сопровождается падением нагрузки при испытаниях. Процесс перехода из второй фазы в третью протекает при сжатии клеток поздней древесины в области частичной упругости. Так как стенки клеток поздней древесины более толстые и прочные, а их полости имеют вид щелевидных пустот, то эти клетки сминаются только при значительных напряжениях.

При сжатии в радиальном направлении образец не разрушается внезапно, а постепенно уплотняется. Поэтому нагружение образцов и пребывание их под нагрузкой может продолжаться до любой степени уплотнения древесины.

В процессе деформирования при радиальном и тангенциальном сжатии древесина ведет себя по-разному. В.А. Баженов отмечает следующее:

условный предел прочности для древесины хвойных пород при тангенциальном сжатии выше, чем при радиальном (особенно это характерно для древесины сосны);

кажущийся предел прочности, соответствующий нагрузке, которая вызывает появление заметных следов разрушения древесины, не подчиняется закономерностям предела пропорциональности; для древесины хвойных пород этот кажущийся предел прочности при радиальном сжатии примерно в 6 раз больше, чем при тангенциальном;

изменение влажности древесины влияет на величину предела прочности, но не изменяет закономерностей их соотношений в радиальном и тангенциальном направлениях.

При тангенциальном сжатии древесины наблюдается только одна фаза деформирования. На диаграмме (см. рисунок б) четко виден практически прямолинейный участок, продолжающийся почти до достижения максимальной нагрузки, при которой образец разрушается, после чего нагрузка резко падает. К сожалению, данный процесс, сопровождающийся началом деструкции, практически не изучен и мало освещен в литературе.

При изменении направления приложения нагрузки относительно годового слоя, например под углом 45 °, картина деформации отличается от чисто радиального или тангенциального приложения нагрузки. Это связано с вовлечением в процесс деформации анатомических элементов строения древесины по промежуточной схеме.

Таким образом, можно отметить, что все исследования, связанные с изучением поперечного сжатия древесины, сводятся к определению характера деформации и величины предела прочности древесины без детальной характеристики процесса ее деструкции на последней стадии разрушения. Представляет научный и практический интерес продолжение исследования процесса деструкции древесины при поперечном нагружении в малоизученной области, так как имеются предпосылки для практического использования деструктурированной древесины в качестве исходного компонента при разработке принципиально новых технологий и материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Баженов В.А., Перелыгин Л.М., Семенова Е.А. Об испытании древесины на сжатие поперек волокон // Тр. ин-та леса АН СССР. - М.: АН СССР, 1953. - С. 48-56 [2]. Иванов М.Ю. Изменение микроскопического строения древесины в процессе деформирования и разрушения // Тр. ин-та леса АН СССР. - М.: АН СССР, 1953. - С. 61-69. [3]. Леонтьев Н.Л. Длительное сопротивление древесины. - М.: Гослесбумиздат, 1957. - 242 с. [4]. Хухрянский

П.И. Прочность древесины. - М.: Гослесбумиздат, 1955. - 230 с. [5]. Справочное руководство по древесине. Лаборатория лесных продуктов США. М.: Лесн. промышленность, 1979. - 316 с.

Поступила 24 февраля 1998 г.

УДК 674.023

А.Е.АЛЕКСЕЕВ



Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 80 печатных работ в области лесопиления.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОДУКТИВНОЙ ЗОНЫ БРЕВНА ПРИ ВЫРАБОТКЕ ПИЛОПРОДУКЦИИ

Изложен метод определения объема продуктивной зоны бревна при вариации основных технологических факторов (поставы, обрабатываемого материала, ориентации).

The method of defining the productive area of a log is given under the variation of the main technological factors (delivery, processed material, orientation).

Оценка продуктивной зоны бревна при многоцелевом планировании его раскроя на пилопродукцию предполагает определение ее основных параметров. На объем этой зоны оказывают влияние размеры (диаметр, длина), сбеги и кривизна бревна; ориентация продольной оси относительно направления подачи; положение кривизны; поправки на распиловку. При распиловке бревен одной размерной группы эти параметры можно считать условно-постоянными.

Цель исследований – разработать метод оценки материалоемкости пилопродукции. Размеры, определяющие объем продуктивной зоны: диаметр, длина, сбеги, кривизна бревна, регламентированные ГОСТ 9463–72 «Лесоматериалы круглых хвойных пород». Дробность сортировки по толщине принята в один четный диаметр до 40 см.

Спецификация вырабатываемых пиломатериалов – четырехкантные обзолные брусья. Нормативы выхода таких брусьев установлены для условий производства пиломатериалов по ГОСТ 26002–83, 8486–76, 24454–80.

Ориентация бревна на промежуточном этапе технологического процесса при получении четырехкантных обзолных брусьев предполагает смещение вершинного торца относительно комлевого в диапазоне 0,1 ... 0,4 разности их диаметров Δ [7]. Задано $\Delta_n = 0,35 (D - d)$.

Положение кривизны бревна – вверх или в сторону, противоположную направляющей базе [8]. Обзолные брусья распиливают несимметричными поставами [1, 2, 4]. Ширина и толщина брусьев (расстояние между технологическими базами) регламентируются шириной постава первого и второго прохода с учетом припусков на обработку.

Выход четырехкантных обзолных брусьев $P_{o.б}$ определяли в общем случае по формуле

$$P_{o.б} = \frac{V_{o.б}}{V_{бр}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $V_{o.б}$ – объем обзолного бруса, m^3 ;
 $V_{бр}$ – объем бревна, m^3 .

Объем $V_{o.б}$ находили как разницу объемов бревна $V_{бр}$ и горбыльной части $V_{г.}$, перерабатываемой в щепу:

$$V_{o.б} = V_{бр} - \Sigma V_{г.} \quad (2)$$

Объем горбыля

$$V_{г.} = \int_{l_1}^{l_2} S_{г.} dx, \quad (3)$$

где $S_{г.}$ – площадь поперечного сечения горбыля, m^2 ;

l_1, l_2 – верхний и нижний пределы интегрирования, отражающие длину горбыля в системе xOy .

Определение параметров горбылей с учетом результатов распиловки изложено в работе [3]. Объем горбылей по формуле (3) вычисляли методом Гаусса [9] с использованием ПЭВМ.

В табл. 1 приведены размеры обзолных брусьев из бревен разных диаметров при средней их длине 5,2 м и нормальном сбеге для толщин досок 22, 38, 50, 75 мм и ширин 100, 125, 150, 175, 200, 225 мм. Размеры даны с учетом припуска на зачистку, равного 3 мм на каждую пласт.

Нормативный выход обзолных брусьев (табл. 2) представлен как средневзвешенная величина:

$$H_{o.б} = \frac{\sum Y_i P_{o.б}^i}{\sum Y_i}, \quad (4)$$

Таблица 1

Размеры обзольных брусьев (мм)

Диаметр бревна, см	Ширина	Толщина
14...16	162,2	167,7
18	188,9	192,3
20	214,5	218,8
22	240,0	218,8
24	240,0	270,4
26	265,5	270,4
28	292,2	296,9
30	316,7	327,7
32	343,4	327,7
34	370,1	351,5
36	396,8	372,0
38	396,8	404,5
40	450,2	431,0

Таблица 2

Нормативы выхода обзольных брусьев

Диаметр бревна, см	Выход обзольных брусьев, % от объема бревна при его кривизне, %			Норматив, %
	0	1	2	
14...16	90,64	78,16	58,90	86,30
18	93,46	83,95	64,84	89,80
20	95,39	87,65	71,16	93,02
22	93,48	85,42	69,64	91,20
24	94,45	88,80	76,17	92,75
26	94,13	86,48	73,67	92,73
28	93,54	88,52	77,55	92,04
30	96,49	94,02	84,92	95,73
32	94,64	89,64	79,88	93,71
34	96,57	93,95	85,58	96,39
36	96,57	94,15	86,56	96,40
38	95,83	93,62	86,72	95,68
40	98,31	96,34	90,08	98,10

где $P_{0.6}^i$ – выход обзольных брусьев, % ;

Y_i – содержание бревен по кривизне для каждого диаметра (принято по [6] для распределения еловых бревен в зависимости от диаметра и кривизны).

Вывод

Наиболее рациональный продуктивный объем бревна для выработки пиломатериалов ограничивается образующей обзольного четырехкантного бруса, вписывающегося в бревно. Его построение обусловлено выполнени-

ем условий получения наибольшего выхода пиломатериалов, минимизации отходов древесины бревна в горбыль.

Полученные результаты проверены гидростатическим методом экспериментально и позволяют упростить расчеты баланса древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Алексеев А.Е., Горяева С.Н., Постников Б.М. Формализованный метод расчета поставов // Лесн. и деревообраб. пром-сть: Информ. сб. / ВНИПИЭИлеспром. - 1990. - № 1. - С. 22-24. [2]. Алексеев А.Е., Горяева С.Н. Сборник несимметричных поставов для распиловки еловых бревен на экспортные пиломатериалы // Деревообработка: Информ. сб. / ВНИПИЭИлеспром. - 1991. - № 6. - С. 9. [3]. Алексеев А.Е. Определение параметров горбыля с учетом результатов распиловки // Науч. тр. – М.: МГУЛ, 1996. - С. 213-238. [4]. Алексеев А.Е., Постников Б.М. Расчет поставов при различных способах установки бревна перед раскромом // Совершенствование технологии подготовки сырья к раскрою: Науч. тр.- Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. - С. 87-96. [5]. Алексеев А.Е. Ресурсосберегающие технологии раскромки пиловочного сырья: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - Архангельск, 1998. - 46 с. [6]. Алексеев А.Е. Характер распределения елового пиловочного сырья по кривизне // Резервы использования материальных и трудовых ресурсов: Науч. тр. - Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. - С. 12-19. [7]. А.с. 1355488 СССР, МКИ В 27 В 1/00. Способ распиловки бревен / В.Г. Турушев, А.Е. Алексеев. - № 38611221/29-15; Заявлено 30.12.84; Оpubл. 30.11.87, Бюл. № 44 // Открытия. Изобретения. - 1987. - № 44. - С. 71. [8]. А.с. 1824300 СССР, МКИ В 27 В 1/00. Способ распиловки бревен / В.Г. Турушев, А.Е. Алексеев - № 4837134/15; Заявлено 11.06.90; Оpubл. 30.06.93, Бюл. № 24 // Открытия. Изобретения. - 1993. - № 24. - С. 69. [9]. Дуббель Г. Справочник по математике. - М.; Л.: ОНТИ-НКТП СССР, 1936. - 320 с.

Поступила 17 декабря 1996 г.

УДК 630*812

В.В. ДУНАЕВА, В.Ф. ДУНАЕВ

Дунаева Валерия Викторовна родилась в 1938 г., окончила в 1960 г. Архангельский педагогический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики Архангельского государственного технического университета. Имеет 45 печатных трудов в области совершенствования дереворежущего инструмента и процессов лесопиления.



Дунаев Владимир Федорович родился в 1938 г., окончил в 1970 г. Северо-западный заочный политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет 42 печатных труда в области автоматизации процессов лесопиления.



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Получено уравнение, описывающее силу реакции материала при деформировании с постоянной скоростью в зависимости от сложности структуры и накопленных повреждений; составлены алгоритм функционирования механизма деформирования и программа обработки результатов испытаний на языке Паскаль.

The equation has been set up, describing the reactive force of the material under deformation with constant speed depending on the complexity of structure and damages occurred; the algorithm is developed for functioning the deformation mechanism as well as programme of processing the testing results in Pascal.

Механические свойства пиломатериалов – модуль упругости и прочность – интересуют потребителей в первую очередь. Определение в производственных условиях показателей этих свойств представляет собой сложную теоретическую и техническую задачу.

В первых работах по автоматическому определению механических свойств* использовали следующую теоретическую зависимость между предельной силой реакции y , приложенной нагрузкой P и вызванным ею прогибом x :

$$y = k \frac{P}{x} + c \pm 3\sigma, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, учитывающий породу древесины и сечение пиломатериала;

c – коэффициент, экспериментально определяемый для каждой породы и сечения;

σ – среднеквадратическое отклонение погрешности измерений и вычислений.

* Голяков А.Д. Исследование метода прочностной сортировки для колесных несущих конструкций: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1972. – 20 с.

Коэффициент корреляции r между предельной нагрузкой y и прогибом x изменяется от 0,5 до 0,8. Из-за низкой точности прогноза предельной нагрузки отказались от испытательных механизмов, использующих соотношение (1).

Более высокую точность прогноза обеспечивает следующее эмпирическое соотношение (см. ссылку на с. 128):

$$\begin{cases} y_x = \frac{a}{1 + e^{-b(x-c)}} - d; \\ y_h = \frac{p}{1 + e^{-q(h-r)}} - z, \end{cases} \quad (2)$$

где y_x – поперечная сила при прогибе x ;

y_h – поперечная сила при смятии h в момент изгиба x ;

a, b, c, d, p, q, r, z – эмпирические коэффициенты, характеризующие механические свойства пиломатериала.

Предельную нагрузку $y_{пр}$ выбирают по условию

$$y_{пр} = \min \begin{cases} y_{x=c} + (0,43...0,46)a; \\ y_{h=r} + (0,43...0,46)p, \end{cases}$$

где $y_{x=c}$ – поперечная сила при $x = c$, которой соответствует максимум первой производной y_x по x ;

$y_{h=r}$ – поперечная сила при смятии $h = r$, которой соответствует максимум первой производной y_h по h .

Практика показала, что прогноз предельной нагрузки по формуле (2) справедлив только для поперечного изгиба пиломатериала с той же скоростью деформирования, что и при испытаниях.

Для обеспечения прогноза с ошибкой не более $\pm 5\%$ необходимо деформировать образец до 0,7 ... 0,8 максимально возможной деформации, однако при этом в нем появляются значительные разрушения.

Наибольшая точность прогноза предельной нагрузки была получена после разработки математического описания диаграммы деформирования материалов, отражающей развитие силы реакции образца при деформировании (сжатии, растяжении, изгибе) с постоянной скоростью.

При этом были отмечены следующие особенности деформирования:

1) древесина представляет собой многокомпонентный материал, причем каждый компонент является аддитивной составляющей прочности образца;

2) количество компонентов зависит от структуры и наклона волокон в образце, места выпилки образца из бревна;

3) все компоненты материала разрушаются с одинаковой скоростью, имеют различные деформации и модули упругости;

4) начальный (вогнутый) участок отражает всю предысторию деформирования образца, включая механические воздействия при распиловке, транспортировке, пакетировании и сушке;

5) многокомпонентный материал может иметь параллельную, последовательную и комбинированную структуру;

6) у материала с параллельной структурой из n компонентов деформации равны, а сила реакции является суммой реакций всех компонентов;

7) у материала с последовательной структурой из n компонентов деформация равна сумме деформаций всех компонентов, а сила реакции каждого компонента равна силе реакции образца.

Все перечисленные особенности отражает уравнение для материалов с параллельной структурой:

$$y = y_1 + y_2 + \dots + y_n = \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n k_i z_i e^{-\frac{x_i}{v t_{oi}}} e^{-\frac{x_i + x_{внi}}{x_{oi}}} = \left(1 - e^{-\frac{x_i + x_{внi}}{x_{pi}}} \right), \quad (3)$$

где y_i – сила реакции i -го компонента материала;

k_i – коэффициент пропорциональности (аналог модуля упругости);

$$z_i = \begin{cases} x_i + x_{внi}, & \text{если } x_i + x_{внi} \leq x_{oi}; \\ x_{oi}, & \text{если } x_i + x_{внi} > x_{oi}; \end{cases}$$

x_i – деформация i -го компонента, соответствующая силе y_i ;

$x_{внi}$ – внутренняя деформация i -го компонента;

x_{oi} – постоянная деформирования i -го компонента (резерв деформации);

v – скорость деформирования;

t_{oi} – постоянная времени разрушения i -го компонента;

x_{pi} – размер деформации до испытаний.

Уравнение (3) отражает физический смысл процесса деформирования многокомпонентного материала. Оно содержит такие оценки, которые раньше не были известны: x_p – максимальная деформация, которую имел образец до начала испытаний; $x_{внi}$ – деформация, вызванная внутренними напряжениями (например, от воздействий неравномерности влагосодержания, температурного поля в материале и т. д.). С помощью этого уравнения можно оценить и другие механические свойства (например, постоянные разрушения, которые до сих пор определяли отдельными специальными экспериментами).

Для решения уравнения (3) была составлена программа, основанная на методах экспоненциальной аппроксимации, наименьших квадратов и Гаусса.

Выполнение программы начинается с введения числа измерений и результатов измерений. Программа автоматически определяет до 12 компонентов.

В качестве контрольного примера использовали 25 начальных результатов измерения образца, который разрушился после 62 измерений.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных приведено в таблице.

Сила реакции, Н		Абсолютная погрешность измерения, Н
расчетная	экспериментальная	
6 103,0	6 062,5	- 40,5
7 181,1	7 237,5	+ 56,4
8 117,0	8 212,5	+ 105,5
8 899,8	8 987,5	+ 87,7
9 528,6	9 587,5	+ 58,9
10 009,2	9 987,5	- 21,7
10 351,4	10 225,0	- 126,4
10 452,3	10 250,0	- 202,3

Абсолютная погрешность испытательной установки составила 250,0 Н, максимальное расхождение экспериментальных данных с расчетными – 202,3 Н.

$$\text{Дальность прогноза } d = \frac{N_{\max}}{N_{\text{рас}}} = \frac{62}{25} = 2,48, \text{ т. е. измерения необходи-}$$

мы только на начальном участке нагружения, при этом доля использован-

$$\text{ных данных } D = \frac{1}{d} = \frac{N_{\text{рас}}}{N_{\max}} = 0,4 \text{ без}$$

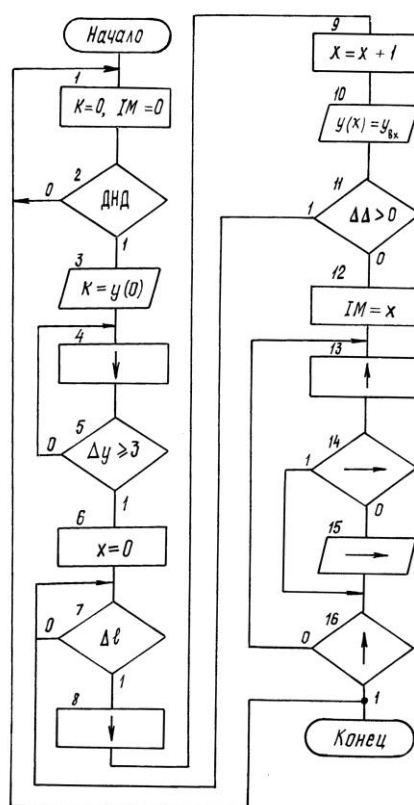
потери точности результата ($N_{\max}$ – число измерений до разрушения; $N_{\text{рас}}$ – число измерений, использованных в расчетах).

Это свидетельствует о том, что эмпирическое уравнение (3) отражает объективную физическую закономерность.

Для использования уравнения (3) на практике можно применять испытательную технику, имеющую стабильную скорость движения механизма нагружения, электронный съем информации о перемещении и силе реакции.

Алгоритм управления приведен на рисунке.

Перед началом цикла измерения очищают регистры УМПК (оператор 1) и ожидают появления доски (ДНД = 0) – оператор 2. При появлении доски на измерительной позиции в регистр K заносят результат измерения силы (оператор 3), включают механизм деформирования (оператор 4) и определяют момент начала дефор-



Алгоритм управления механизмом деформирования и измерения силы реакции и деформации

мирования образца (оператор 5). До тех пор, пока показания силоизмерителя не увеличатся на 3 единицы измерения, регистрацию не производят. Так решается задача автоматизации определения начала координат диаграммы деформирования.

В случае выполнения оператора 5 оператором 6 устанавливают в нулевое состояние счетчик числа измерений ($x = 0$), опрашивают датчик приращения деформации (оператор 7), продолжая деформировать доску (оператор 8), и создают массив пар чисел деформация – сила реакции доски (операторы 9, 10), одновременно проверяя скорость приращения силы по трем измерениям (оператор 11):

$$\Delta\Delta = y_{x-2} + y_x - 2y_{x-1}.$$

В случае $\Delta\Delta = 0$ регистрируют $IM = x$ (оператор 12) и доску разгружают (операторы 13, 16), одновременно передавая данные в ЭВМ для обработки (операторы 14, 15). После окончания подъема оператор 16 переводит выполнение алгоритма на начало.

Значения постоянных уравнения (3) определяют по программе на языке Паскаль за время обратного движения механизма деформирования.

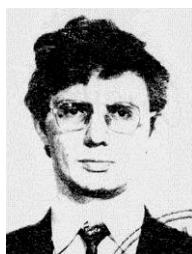
Поступила 26 июня 1996 г.

УДК 674.023

Л.В. ОРЛЕНКО, Е.О. ОРЛЕНКО



Орленко Людмила Владимировна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета. Имеет 20 печатных работ в области исследования процесса резания древесины.



Орленко Евгений Олегович родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета. Имеет 20 печатных работ в области исследования трения и изнашивания зубчатых передач.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РЕЗАНИИ

Предложен алгоритм решения задачи о напряженном состоянии древесины при продольном и торцовом резании, основанный на методе конечных элементов, причем древесина рассматривается как ортогонально анизотропный материал.

The algorithm of problem solving is suggested related to the timber stress under length and butt cutting, based on the method of final elements, timber being viewed as orthogonal anisotropic material.

Исследование напряжений в древесине при ее резании рассмотрено в многочисленных экспериментальных и теоретических работах. Однако в расчетной практике пока используют упрощенные подходы к моделированию процесса резания. Задача по определению напряженного состояния древесины основана на технической теории деформации стержней. При этом отделяемый слой представляют либо как консольную балку [2], либо как балку на упругом основании [8]. Очевидно, что эти расчетные схемы не позволяют полностью оценить напряженное состояние в окрестности внедряемого резца. Кроме того, схемы-балки образуются в результате каких-либо разрушений, при этом из рассмотрения исключается значительная часть процесса нагружения.

В работах [5, 6] задачу о напряженном состоянии древесины решают с помощью метода сеток. Однако решение получено для изотропного материала и результаты расчета являются приближенными.

По нашему мнению наиболее целесообразно для анализа напряженно-деформированного состояния использовать метод конечных элементов в форме перемещений для треугольных элементов с тремя степенями свободы (рис. 1). Ниже мы рассматриваем древесину как ортогонально анизотропный материал. Одна из главных осей анизотропии совпадает с вектором подачи, другая – перпендикулярна ей. Для продольного резания направление волокон совпадает с осью x (a), для торцового – с осью y (r). Нагружение древесины производится перемещением резца, при этом полагается линейная связь между напряжениями и перемещениями. Если определено напряженное состояние области для единичных перемещений резца, то для других перемещений напряжения умножаются на соответствующую величину перемещения. Расчеты выпол-

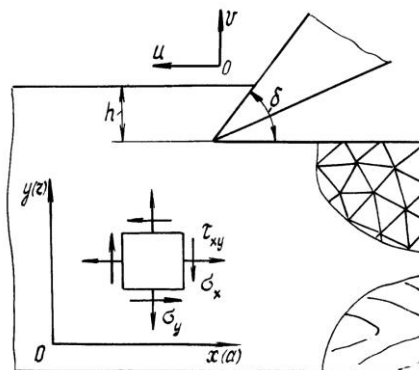


Рис. 1. Расчетная схема ($h = 4$ мм, $\delta = 55^\circ$)

нены для следующих значений упругих характеристик: $E_a = 16\,225$ МПа, $E_t = 400$ МПа, $E_r = 701$ МПа, $G_{ra} = 645$ МПа, $\nu_{ra} = 0,028$, $\nu_{ta} = 0,330$. Приведенные значения приняты по данным работы [1] для еловой древесины влажностью $W = 15\%$.

Для более влажной древесины пересчет упругих характеристик производили по формуле [3]

$$E_W = E_{15} - \alpha (W - 15), \quad (1)$$

где E_{15} – соответствующий модуль упругости для $W = 15\%$;

α – поправочный коэффициент.

При отрицательных температурах (мерзлая древесина) упругие характеристики находили по формуле [4]

$$E_T = E_{20} K_t, \quad (2)$$

где K_t – температурный коэффициент;

E_{20} – соответствующий модуль упругости, определенный при комнатной температуре ($t = 20\text{ }^\circ\text{C}$).

Проведенные расчеты показали следующее.

Для продольного резания древесины при любых ее гидротермических состояниях наибольшим из всех напряжений является σ_x . Непосредственно у лезвия резца имеет место концентрация напряжений. Перед режущей кромкой образуется зона сжатия, за резцом – растяжения (рис. 2). Так как древесина при растяжении в направлении волокон имеет прочность почти в 3 раза выше, чем при сжатии, то эти напряжения не опасны и не могут послужить причиной возникновения актов разрушения. Со стороны передней грани резца характер распределения σ_x по толщине снимаемого слоя не изменяется. В области, расположенной ниже плоскости резания, напряжения быстро убывают по мере удаления от лезвия.

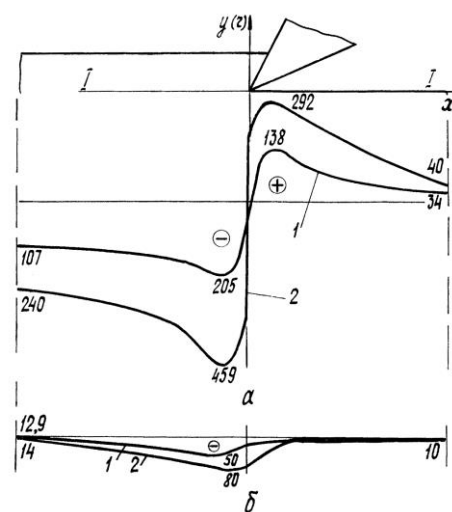


Рис. 2. Распределение напряжений в плоскости резания (сечение I-I) при горизонтальном перемещении резца ($u = 1$ мм) в процессе продольного резания: 1 – талая древесина ($W = 15\%$); 2 – мерзлая древесина ($W = 30\%$, $t = -30\text{ }^\circ\text{C}$); а – σ_x (МПа); б – τ_{xy} (МПа)

Напряжения σ_y по всей области деформации малы (не превышают 2 % от σ_x), характер их распределения аналогичен характеру распределения σ_x .

Наибольшие касательные напряжения возникают в плоскости резания. Их максимальные значения составляют 25 ... 30 % от σ_x .

Увеличение влажности древесины приводит к уменьшению всех напряжений. Однако изменение напряжений не является существенным. Сопротивление древесины резанию по мере увеличения ее влажности снижается, так как происходит снижение показателей прочностных свойств.

При внедрении резца в мерзлую древесину напряжения увеличиваются более чем в 2 раза по сравнению с талой. Качественная картина распределения напряжений при этом не изменяется.

По мере внедрения резца напряжения возрастают. Полученное распределение напряжений сохраняется до появления первых актов разрушения (под разрушениями понимают смятие волокон, потерю ими устойчивости, образование трещин). Все эти явления можно расценивать как наступление предельного состояния. Его описывают уравнением [1]

$$\frac{\sigma_x^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{90}^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{\tau_0^2} - \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_0 \sigma_{90}} = 1, \quad (3)$$

где σ_0 , σ_{90} – пределы прочности древесины в направлении главных осей анизотропии (если ось x направлена вдоль волокон, то $\sigma_0 = \sigma_a$, а σ_{90} есть σ_r или σ_t в зависимости от того, какая плоскость анизотропии рассматривается – ra или ta);

τ_0 – предел прочности древесины на сдвиг.

Размер области вдоль волокон, напряженное состояние которой удовлетворяет (3), в дальнейшем, независимо от вида повреждений, будем рассматривать как длину начальных трещин. Переход их в нестабильный режим развития определим по уравнению [7]

$$\frac{K_I}{K_{Ic}} + \frac{K_{II}}{K_{IIc}} = 1, \quad (4)$$

где K_I , K_{II} – коэффициенты интенсивности напряжений для трещин нормального отрыва и плоского сдвига;

K_{Ic} , K_{IIc} – критические коэффициенты интенсивности напряжений, определяющие способность материала сопротивляться развитию трещин.

При выполнении условия (4) происходит существенное изменение схемы нагружения. Часть материала, отделенная образовавшейся трещиной, начинает скользить по передней грани резца. При этом напряженное состояние будет создаваться вертикальными перемещениями контактирующей с резцом поверхностью древесины.

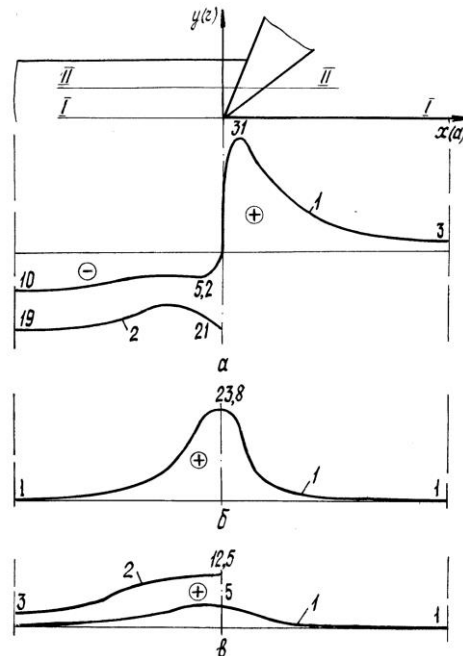


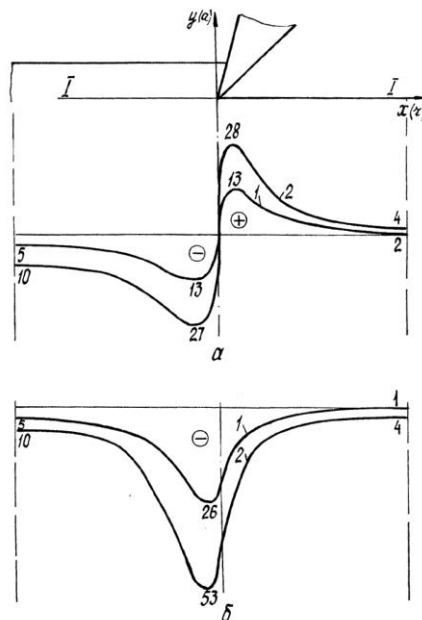
Рис. 3. Распределение напряжений при вертикальных перемещениях контактной поверхности снимаемого слоя ($v = 1$ мм) в процессе продольного резания (такая древесина, $W = 15\%$): 1 – в плоскости резания (сечение I – I); 2 – над плоскостью резания (сечение II – II); а – σ_x (МПа); б – σ_y (МПа); в – τ_{xy} (МПа)

Распределение напряжений, соответствующее этой стадии нагружения, показано на рис. 3. Значения σ_x в этом случае малы и не влияют на разрушение материала. Они будут зависеть от величины σ_y , так как раньше, чем σ_x , и τ_{xy} , достигают предела прочности. Кроме того, эти напряжения оказываются положительными и способствуют раскрытию трещин. Отмеченные ранее упрощенные расчетные схемы соответствуют именно этой стадии нагружения. Очевидно, что силы сопротивления древесины внедрению резца на этой стадии значительно меньше, чем на стадии формирования начальных актов разрушения.

Вид напряженного состояния определяет вид стружкообразования. Если резание происходит с большими углами резания δ , то влияние механизма раскрытия трещин (действие σ_y) оказывается менее значительным. В этом случае стружка образуется либо мелкоэлементная, либо сливная (при $\delta = 90^\circ$) в результате действия σ_x и τ_{xy} .

При торцовом резании древесины эпюры распределения напряжений (рис. 4) принципиально не отличается от аналогичных эпюр при продольном резании (см. рис. 2). Наибольшими из всех напряжений здесь оказываются τ_{xy} . Тем не менее, первыми актами разрушения являются смятие волокон перед резцом и образование трещин разрыва со стороны задней грани резца в области растягивающих напряжений. Эти разрушения не приводят к отделению элементов стружки. Процесс нагружения будет продолжаться до тех пор, пока касательные напряжения не приведут к перерезанию волокон. Перемещение отдельных элементов по передней грани

Рис. 4. Распределение напряжений в плоскости резания (сечение I – I) при торцовом резании ($u = 1$ мм): 1 – талая древесина ($W = 15\%$); 2 – мерзлая древесина ($W = 30\%$, $t = -30^\circ\text{C}$); а – σ_x (МПа); б – τ_{xy} (МПа)



резца не вызывает возникновения напряжений, способствующих отделению последующих элементов стружки. В этом случае силы сопротивления резанию будут определяться условием наступления предельного состояния на первой стадии нагружения.

Изменение гидротермического состояния древесины не приводит к изменению напряженного состояния, однако следует отметить, что величина напряжений при резании мерзлой древесины, так же как и при продольном резании, возрастает более чем в два раза по сравнению с талой.

Проведенные расчеты показывают, что процесс резания следует рассматривать как состоящий из ряда последовательных стадий, каждой из которых соответствуют свой закон распределения напряжений и механизм разрушения материала. Соответственно для каждой стадии должны быть определены и силы сопротивления резанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. - М.: Лесн. пром-сть, 1978. - 224 с. [2]. Воскресенский С.А. Резание древесины. - М.: Гослесбумиздат, 1955. - 200 с. [3]. Древесина. Показатели физико-механических свойств // Руководящие технические материалы. - М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1962. - 48 с. [4]. Курицин В.Н. Особенности резания мерзлой древесины. - М.: Лесн. пром-сть, 1981. - 103 с. [5]. Сопотун А.И., Бець М.Т. О корректности краевых условий при решении задачи Дирихле для случая резания древесины // Лесн. журн. - 1990. - № 4. - С. 62-66. - (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Сопотун А.И., Бець М.Т. Определение компонентов поля напряжений при резании древесины // Лесн.

журн. - 1991.- № 3. - С.70-75.- (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения.- М.: Наука, 1974. - 640 с. [8]. Mckezie, W.M. Fundamental Aspects of the Wood Cutting Process // For Prod. Jnr. - 1960. - 10, N 9. - С. 447-456.

Поступила 6 июня 1997 г.

УДК 674.023

Е.Б. РЮМИНА, Г.Б. УСПЕНСКАЯ



Рюмина Елена Борисовна родилась в 1954 г., окончила в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета. Имеет 43 печатных трудов в области деревянных конструкций.



Успенская Галина Борисовна родилась в 1959 г., окончила в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, менеджер по продажам пилопродукции. Имеет более 30 печатных трудов в области деревянных конструкций.

К ВЫХОДУ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПО ГОСТ 8486 – 86Е

Выполнена оценка возможности расширения сырьевой базы для изготовления конструкционных элементов за счет прочных пиломатериалов, принятых внутренним рынком по ГОСТ 8486–86Е, после отбора экспортных пиломатериалов по ГОСТ 26002–83Э.

The analysis of the possibility of extending the raw material base has been carried out for manufacturing construction parts at the account of high-strength sawn timber accepted for the domestic market according to GOST 8486–86E after selecting export sawn timber according to GOST 26002–83E.

Внедрение и продвижение товара на рынке в значительной степени определяется возможностью обеспечения потребительских требований. Для конструктивных элементов к таким требованиям относятся обеспечение заданной номенклатуры длин и объемов элементов сортов SS и GS.

Цель работы – определить выход конструктивных элементов по Британскому стандарту BS 4978:1988 «Сорта пиломатериалов хвойных пород для строительных целей» из пиломатериалов по ГОСТ 8486 – 86Е «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия», предназначенных для внутреннего рынка.

Выход конструктивных элементов определяли по результатам опытных сортировок двух партий еловых пиломатериалов сечением 50 × 125 мм. Первая выборка (356 шт.) состояла из досок, взятых с линии торцовки и сортировки пиломатериалов после отбора экспортных досок по ГОСТ 26002–83Э, вторая (381 шт.) – доски, отобранные из пакетов готовой продукции.

Доски этих выборок сортировали одновременно: по ГОСТ 8486 – 86Е фиксировали их первоначальную длину и определяли сорт (сорта 0–2, 3, 4 и древесный брак); по BS 4978:1988 определяли длину элемента, соответствующего сортам SS, GS, и «отпад». Минимальную длину элемента при условной торцовке принимали равной 2,7 м. Для каждой доски отмечали сортообразующий порок.

Качественная характеристика пиломатериалов внутреннего рынка, предназначенных для изготовления конструктивных элементов по BS 4978:1988, приведена в табл. 1.

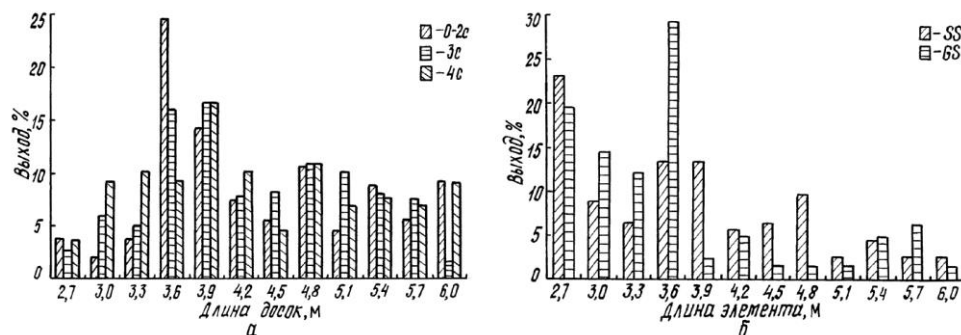
Распределения длин досок по ГОСТ 8486 – 86Е и конструктивных элементов по BS 4978:1988 приведены на рисунке, из которого следует, что в совокупности пиломатериалов для внутреннего рынка несколько преобладают доски длиной 3,6 и 3,9 м, а остальные длины (2,7...6,6 м) представлены примерно в равном процентном соотношении. Это позволяет обеспечить широкую номенклатуру длин конструктивных элементов согласно требованиям покупателя.

Худшее посортное распределение пиломатериалов первой выборки связано с более низким качеством исходного сырья (в основном из-за

Таблица 1

Сорт досок по ГОСТ 8486–86Е	Объем досок в выборке	
	I	II
0 – 2	1,50/15	2,05/19
3	3,61/38	4,85/45
4	2,64/27	3,01/28
Древесный брак	1,94/20	0,86/8
Всего	9,69/100	10,77/100

Примечание. В числителе приведены данные в кубометрах, в знаменателе – в процентах.



Диаграммы распределения длин досок по ГОСТ 8486–86Е (а) и конструкционных элементов по BS 4978:1988 (б)

наличия червоточин), а также с технологическими дефектами (обзолами, покоробленностями, дефектами обработки).

Выборки пиломатериалов неоднородны, поэтому их сортировали по BS 4978:1988 отдельно, исходя из двух условий, которые связаны с контрактами на их покупку.

Первое условие определяется намерением покупателя иметь конструкционные элементы обоих сортов (SS и GS). Поэтому первый вариант сортировки состоял в условной дообработке пиломатериалов для получения максимального выхода конструкционных элементов. Второе условие отражает возможный запрос покупателя только на конструкционные элементы высшего визуального сорта SS. По второму варианту сортировки добивались их максимального выхода.

В табл. 2 приведены результаты сортировок досок внутреннего рынка по BS 4978:1988 из условия максимального выхода конструкционных элементов SS и GS по первому варианту.

При сортировке совокупности досок внутреннего рынка из условия максимального выхода конструкционных элементов получено 34...55 % сорта SS, 9...13 % сорта GS, 23...49 % отпада и около 9 % отрезков.

Таблица 2

Сорт досок по ГОСТ 8486–86Е	Выход элементов по BS 4978:1988, %			
	SS	GS	Отпад	Отрезки
Общая совокупность досок	34/55	9/14	49/23	8/8
В том числе по сортам:				
0 – 2	85/80	13/14	-/4	2/2
3	45/65	12/16	34/10	9/9
4	12/31	4/15	76/46	8/8
древесный брак	6/13	8/7	77/70	9/10

Примечание. Здесь и далее, в табл. 3, в числителе приведены данные для выборки I, в знаменателе – для выборки II.

Таблица 3

Сорт досок по ГОСТ 8486–86Е	Выход элементов по BS 4978:1988, %			
	SS	GS	Отпад	Отрезки
Общая совокупность досок	36/60	6/6	49/23	9/11
В том числе по сортам:				
0 – 2	87/89	10/2	-/4	3/5
3	47/71	8/10	34/10	11/9
4	14/36	2/3	76/46	10/15
древесный брак	9/15	5/4	77/64	9/17

В табл. 3 приведены результаты сортировки досок внутреннего рынка по BS 4978:1988 из условия максимального выхода конструктивных элементов сорта SS по второму варианту.

Из общей совокупности досок внутреннего рынка по ГОСТ 8486 – 86Е конструктивных элементов сорта SS получено 36...60 %, сорта GS – 6 %. При этом из досок 0 – 2-го сортов по ГОСТ 8486–86Е к сорту SS могут быть отнесены 87... 89 % конструктивных элементов, GS – 2...10 %; из досок 3-го сорта – соответственно 47...71 % и 8...10 %; из досок 4-го сорта – соответственно 14...36 % и 2...3 %. Из древесного брака можно отсортировать 9...15 % конструктивных элементов сорта SS и около 4 % сорта GS.

Выводы

1. Номенклатура длин досок внутреннего рынка по ГОСТ 8486–86Е позволяет обеспечить широкий диапазон длин изготовленных из них конструктивных элементов.

2. В случае поставки покупателю конструктивных элементов обоих сортов (SS и GS) из общей совокупности досок внутреннего рынка можно отсортировать 43...68 % такой продукции.

3. В случае поставки покупателю только элементов сорта SS из общей совокупности досок внутреннего рынка получается 36...60 % объема. Около 6 % элементов сорта GS остаются невостребованными и 9 ...11 % досок общей совокупности при раскрое переводится в отрезки.

4. При обоих вариантах сортировки конструктивных элементов отпад примерно в равных долях составляют, в основном, доски 4-го сорта по ГОСТ 8486 – 86Е и древесный брак.

Поступила 10 октября 1997 г.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 661.183.2 (088.8)

Р.С. ШЕВЧЕНКО, Н.И. БОГДАНОВИЧ, Л.Н. КУЗНЕЦОВА, Г.В. ДОБЕЛЕ

Шевченко Роман Сергеевич родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесохимических производств Архангельского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ в области изучения пиролиза отходов переработки древесины с получением ферромагнитных адсорбентов.



Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесохимических производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 180 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.

**ФОРМИРОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ АДСОРБЕНТОВ
ПРИ ПИРОЛИЗЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ
В ПРИСУТСТВИИ ГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III)**

Предложен метод синтеза ферромагнитных адсорбентов; отражены преимущества данного метода по отношению к уже существующим; установлена зависимость магнитных и сорбционных характеристик от условий синтеза адсорбентов; показана возможность использования данных адсорбентов для очистки сточных вод ЦБП.

The synthesis method for ferromagnetic adsorbents has been proposed. The advantages of the given method to the ones already

existing are reflected. The dependence of magnetic and sorption characteristics on the synthesis conditions of adsorbents are stated. The possibility of using the adsorbents in question for purification waste water of pulp-and-paper production.

Ферритизированные активные угли можно использовать в качестве магнитоуправляемых адсорбентов, что позволит интенсифицировать процесс отделения твердой фазы от жидкости обычными методами магнитной сепарации [18]. При этом магнитные и сорбционные свойства модифицированных адсорбентов зависят от количества и состава введенных железосодержащих частиц, условий получения и вида исходного сырья [2,15].

Существующие способы синтеза ферромагнитных адсорбентов можно условно разделить на два основных типа: первый – модификация промышленных активных углей соединениями железа с последующим восстановительным отжигом, второй – пиролиз металлополимеров на основе синтетических смол и других органических материалов, импрегнированных солями железа.

К методам синтеза адсорбентов по первому типу относится получение ферритизированных активных углей [10] на основе высокопористых углеродных сорбентов СУА, СКС, СКН из макросетчатых сополимеров стирола и дивинилбензола. К этому типу относится и синтез железосодержащих адсорбентов, основанный на пропитке промышленных адсорбентов КАД-йодный, АГ-3, САУ растворами солей железа с последующим отжигом в инертной атмосфере [13]. Основой для получения железосодержащих адсорбентов служит синтетический уголь сферической грануляции типа СУА [16]. Для введения соединений железа в поры активного угля проводят многократную обработку исходного угля растворами оксалата железа (III) с последующим термическим разложением осажденных в порах соединений до оксидов железа.

Синтез ферромагнитных адсорбентов по второму типу осуществляют пиролизом металлополимеров на основе высокодисперсного электролитического железа и двух полимеров: органического – фенолформальдегидной смолы, кремнийорганического – полидиметилфенилсилсеквиоксана [8]. Синтезированы [12] углеродные волокна, содержащие биметаллическую фазу железо (III) – кобальт (II) путем пропитки гидратцеллюлозы растворами хлоридов железа (III) и кобальта (II), а также хлорида железа и нитрата кобальта с последующим пиролизом в токе инертного газа. Методом пиролиза гидратцеллюлозы, обработанной солями железа, получены железоугольные волокна [5].

Таким образом, в настоящее время существует достаточно большое количество методов синтеза адсорбентов, обладающих магнитными свойствами. Однако практическая реализация большинства из них затруднена в связи с высокой стоимостью исходных реагентов и сложностью технологического оформления процессов.

Нами предложен способ получения ферромагнитных адсорбентов на основе отходов переработки древесины [14], который включает в себя обработку органического материала солями железа (III) и щелочью с последующей отмывкой водорастворимых соединений и пиролиз в среде парогазов.

В качестве исходного сырья использовали гидролизный и сульфатный лигнины, измельченные древесные материалы (опилки, мука), осадки сточных вод. Органический материал обрабатывали сульфатом железа (III), pH корректировали гидроксидом аммония. Образующиеся при реагентной обработке гидроксиды и другие активные окислительно-восстановительные системы на основе железа могут взаимодействовать с функциональными группами органического материала (особенно лигнина) уже на стадии подготовки к пиролизу. На данный процесс значительное влияние оказывает pH среды: с его увеличением прочность связи между аморфным гидроксидом железа (III) и функциональными группами органической части возрастает [21]. При термообработке вводимые соединения железа активируют углеродную матрицу, а сами превращаются в смесь оксидов и восстановленного железа. Для получения магнитовосприимчивых адсорбентов необходимо, чтобы железосодержащая часть была представлена веществами, проявляющими сильные магнитные свойства (ферро-и ферримагнетизм). Такими свойствами обладают α -Fe и Fe_3O_4 (γ - Fe_2O_3). Магнетит (Fe_3O_4) и маггемит (γ - Fe_2O_3) имеют сходную кристаллическую структуру типа шпинели. Другие оксиды железа (вюстит – FeO, гематит – α - Fe_2O_3) проявляют слабые магнитные свойства и относятся к антиферромагнетикам [17]. При температуре выше 727 °C в системе железо – углерод возможно образование неферромагнитной фазы – аустенита (γ -Fe) [4]. Установлено [11], что величина магнитного поля, в котором достигается насыщение, увеличивается при уменьшении размеров частиц, и насыщение намагниченности ансамбля частиц ферромагнетиков различной дисперсности контролируется частицами наименьшего размера. Как известно [12], восстановление оксидов железа протекает с участием углеродного остатка в интервале температур 400...600 °C, дальнейшее повышение температуры до 900 °C приводит к увеличению частиц восстановленной фазы, совершенствованию ее структуры. Одновременно с возникновением фазы α -Fe происходит формирование турбостратного (двумерно-упорядоченного) углерода и упорядочение углеродного скелета [6].

Пиролиз целлюлозных материалов в присутствии гидроксида железа (III) при температуре до 600 °C сопровождается образованием в продуктах карбонизации только Fe_3O_4 . Дальнейшее увеличение температуры до 800...900 °C приводит к восстановлению железа до FeO и Fe⁰, причем в продуктах карбонизации зафиксированы все три фазы. Очевидно, в данном случае проявляется дефицит органической углеродной составляющей для полного восстановления магнетита.

Для препаратов лигнина, содержащих гидроксид железа (III) и карбонизованных при температуре до 600 °C, Fe-составляющая также пред-

ставлена Fe_3O_4 , который уже при 700°C полностью восстанавливается до FeO . Повышение температуры пиролиза до 900°C приводит к дальнейшему восстановлению железа до Fe^0 (в форме мартенсита) [7]. При карбонизации лигнина металлическое железо представляет собой пересыщенный раствор $\alpha\text{-Fe-C}$ в тетрагональной форме (в отличие от кубической формы, отмеченной у целлюлозных систем), что указывает на специфичность поведения лигнина при карбонизации и формировании кристаллических структур железа.

Нами была прослежена взаимосвязь магнитной восприимчивости A образцов (определенной по методу магнитных моментов) и температуры пиролиза T (интервал $640\ldots 840^\circ\text{C}$), при дозировке сульфата железа от 10 до 30 % (в пересчете на Fe_2O_3 для адсорбентов на основе древесных опилок, гидролизного и сульфатного лигнинов. Образцы обработаны в режиме осаждения из аммиачного буферного раствора (рис. 1, а) и пропитки (рис. 1, б).

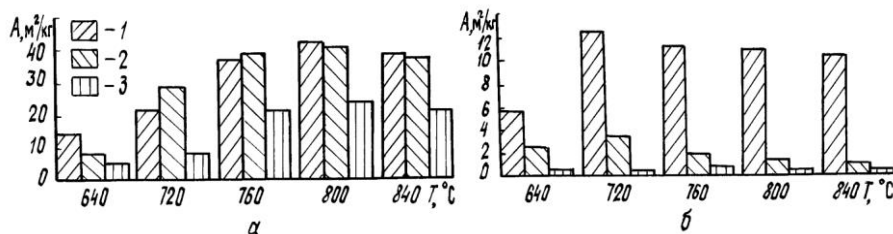


Рис. 1. Зависимость магнитной восприимчивости A от температуры пиролиза T (мас. доля сульфата железа 30 %) для образцов, полученных в режиме осаждения (а) и пропитки (б): 1 – древесные опилки; 2 – гидролизный лигнин; 3 – сульфатный лигнин

Как видно из представленных на рис. 1 графиков, синтез ферромагнитных адсорбентов в режиме пропитки показал свою несостоятельность. Введение гидроксидов железа в сырье в режиме осаждения резко повышает как магнитные, так и сорбционные свойства адсорбентов [19]. Существенное влияние оказывает вид сырья. Магнитная восприимчивость уменьшается в ряду опилки – гидролизный лигнин – сульфатный лигнин, причем с увеличением дозировки сульфата железа до 30 % и температуры пиролиза до $760\ldots 840^\circ\text{C}$ разница между магнитными свойствами адсорбентов на основе опилок и гидролизного лигнина нивелируется. Возрастание дозировки железосодержащей составляющей в угле до 20...30 % или температуры пиролиза до $760\ldots 840^\circ\text{C}$ приводит к росту магнитной восприимчивости (рис. 1, а), что связано с восстановлением оксидов железа до $\alpha\text{-Fe}$ [12].

Для определения областей условного оптимума формирования сорбционных и магнитных свойств и изучения совместного влияния независимых переменных дальнейшее исследование вели методом планированного эксперимента с применением центрального композиционного ротатбельного равномерного плана второго порядка. В качестве варьируемых факторов использовали следующие режимные параметры: pH обработки, дозировка сульфата железа, температура пиролиза. Поверхности отклика (рис. 2) получены при фиксированном значении температуры пиролиза (древесная мука

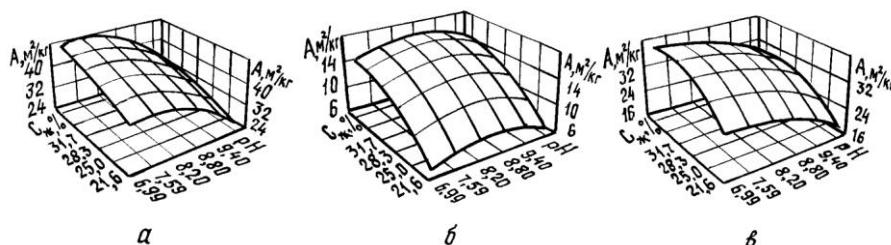


Рис. 2. Зависимость магнитной восприимчивости A от условий получения образцов: a – ДМ, b – АИ, v – ГЛ

(ДМ) – 860 °С, активный ил (АИ) и гидролизный лигнин (ГЛ) – 840 °С) и напряженности магнитного поля 4000 Гс (дальнейшее увеличение напряженности не приводило к росту магнитной восприимчивости).

Как видно из представленных на рис. 2 поверхностей, увеличение дозировки сульфата железа $C_{\text{ж}}$ во всех случаях приводит к росту магнитной восприимчивости. Изменение pH обработки оказывает неоднозначное влияние: в случае использования древесной муки и гидролизного лигнина (рис. 2, a , v) при увеличении pH магнитная восприимчивость уменьшается, в случае применения активного ила проходит через максимум (рис. 2, b).

При синтезе ферромагнитных адсорбентов путем восстановительного отжига активных углей, пропитанных солями железа (III), и пиролиза органического материала (древесных опилок, лигнинов, полимерных соединений) в присутствии гидроксида железа (III) распределение агломератов железа в науглероженном материале различно. В первом случае дисперсное железо будет располагаться на поверхности пор активного угля [10], во втором, скорее всего, распределится в объеме углеродной матрицы. Соответственно и влияние железосодержащей составляющей на формирование пористой структуры сорбентов в этих случаях неодинаково. Так, в работах [13, 19] делается вывод о блокировании железосодержащими частицами части объема микропор. Однако при высоких температурах, начиная с 450...470 °С, становится возможным взаимодействие образующихся в порах активных углей гидроксидов железа, частиц Fe_2O_3 и Fe_3O_4 с углеродом матрицы, приводящее к появлению газообразных оксидов углерода [9]. Кроме того, образующиеся при восстановительном отжиге частицы железа катализируют реакции взаимодействия углерода с водородом и продуктом восстановления оксидов железа – молекулами воды [20], что вызывает увеличение объема пор у ферритизированных углей по сравнению с исходными. При этом обнаруживается характерная для каталитических процессов зависимость эффекта от количества и дисперсности частиц катализатора.

Вводимый нами в образцы гидроксид железа, как уже отмечалось, в процессе карбонизации приводит к химической активации углеродной матрицы, что увеличивает сорбционную активность науглероженного материала. Полученные адсорбенты по известным методикам анализировали на сорбцию йода и метиленового голубого (рис. 3).

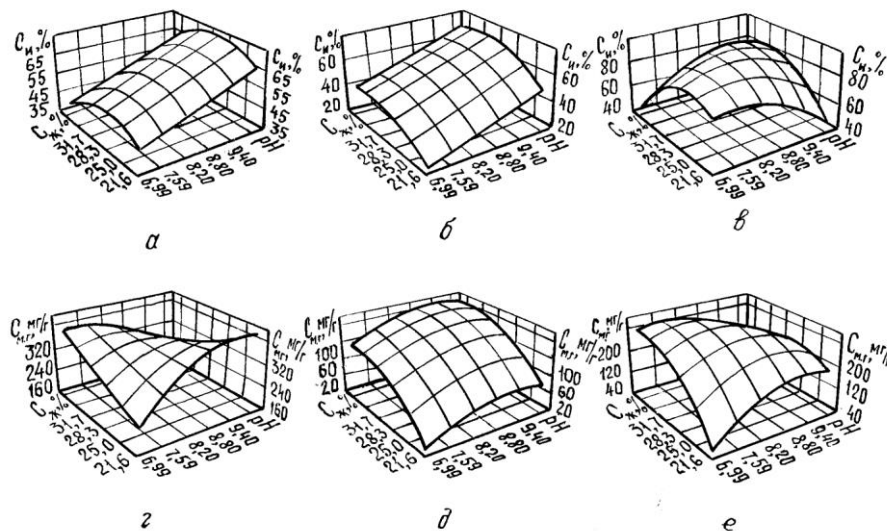


Рис. 3. Зависимость сорбции йода C_i (а – в) и метиленового голубого $C_{м.г}$ (г – е) от условий получения образцов: а – ДМ, б – АИ, в – ГЛ

Как видно из приведенных поверхностей отклика, отражающих зависимость сорбционных свойств от условий получения, для образцов, синтезированных из древесной муки и активного ила, увеличение pH обработки приводит к росту сорбции йода C_i (рис. 3 а, б) и метиленового голубого $C_{м.г}$ (рис. 3, д). При возрастании дозировок сульфата железа в этих случаях сорбционная активность по йоду (рис. 3, а, б) проходит через максимум, а по метиленовому голубому (рис. 3, д) достигает максимума в области высоких pH. Поверхность отклика, характеризующая сорбцию метиленового голубого образцов на основе древесной муки (рис. 3, г), имеет седловидный характер с максимумом в области высоких значений pH и низких дозировок. Для образцов на основе гидролизного лигнина сорбция йода имеет максимум в центре плана (рис. 3, в), а сорбция метиленового голубого (рис. 3, е) – в области высоких дозировок железа при нейтральном pH.

Полученные адсорбенты также применяли для очистки промышленных стоков Соломбальского ЦБК. Степень очистки оценивали по снижению ХПК и БПК₅ сточной воды после обработки ее адсорбентом (расход адсорбента 1 г/дм³). Исходные сточные воды имели следующие показатели загрязненности: ХПК – 373 мг/л, БПК₅ – 128 мг/л. В качестве образца сравнения использовали промышленный уголь марки ОУ-А [1, 3]. Увеличение дозировки сульфата железа в образцах привело к возрастанию степени очистки сточных вод по БПК₅ и ХПК (рис. 4).

Увеличение pH обработки на стадии подготовки неоднозначно влияет на формирование сорбционных свойств: при использовании древесной муки (рис. 4, а) степень очистки по ХПК имеет максимум, степень очистки по БПК₅ возрастает в области высоких дозировок сульфата железа и уменьшается в области низких (рис. 4, г); для образцов из активного ила (рис. 4, б, д)

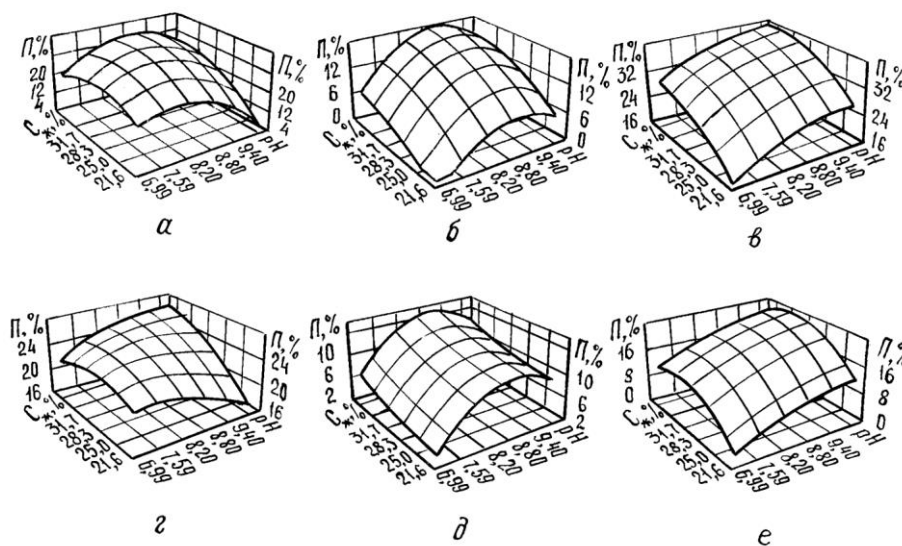


Рис. 4. Зависимость степени очистки P по ХПК (а – в) и БПК₅ (г – е) от условий получения образцов: а – ДМ, б – АИ, в – ГЛ

степень очистки по ХПК и БПК₅ имеет максимум и возрастает с увеличением дозировки железа. При использовании гидролизного лигнина (рис. 4, в, е) повышение дозировки сульфата железа и pH обработки приводит к росту степени очистки по ХПК, при этом степень очистки по БПК₅ (рис. 4, е) имеет максимум.

Очевидно, что использовать данные по сорбции метиленового голубого и йода для косвенной оценки степени очистки сточных вод нельзя, так как данные сорбаты по своей природе отличаются от загрязнений, присутствующих в промышленных стоках.

Адсорбционные и магнитные характеристики получаемых ферромагнитных адсорбентов в зависимости от условий обработки изменяются разнонаправленно, за исключением образцов из активного ила (см. рис. 2, б и рис. 4, б, д). Оптимальный адсорбент должен обладать магнитной восприимчивостью, достаточной для извлечения его магнитной сепарацией. Это значение определяется мощностью применяемого сепаратора. Пористая структура адсорбента зависит от условий обработки и режима пиролиза и варьируется в достаточно широких пределах.

Полученные нами образцы ферромагнитных адсорбентов снижают загрязненность сточных вод по ХПК и БПК₅ на уровне промышленно выпускаемых сорбентов ОУ-А и могут быть использованы в связи с возможностью их легкого отделения от очищаемой среды методами магнитной сепарации. Лучшие образцы характеризуются следующими показателями: сорбция метиленового голубого – до 360 мг/г, йода – до 120 %; магнитная восприимчивость при напряженности магнитного поля 4000 Гс – до

38 А·м²/кг; объем адсорбирующих пор по данным низкотемпературной адсорбции азота – 0,58 см³/г (из них объем микропор – 0,26 см³/г); общая поверхность по БЭТ для отдельных образцов – более 600 м²/г, поверхность мезопор – 200 м²/г.

Следовательно, ферромагнитные адсорбенты можно рекомендовать к применению на стадии подготовки сточных вод к биологической очистке для извлечения загрязнений, ингибирующих процесс, а также для очистки в режиме биосорбции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Богданович Н.И., Шевченко Р.С., Кузнецова Л.Н. Очистка сточных вод ферромагнитными адсорбентами на основе гидролизного лигнина // Тез. докл. Росс. научн.-техн. конф. «Экология - 98». - Архангельск, 1998. - С. 58. [2]. Богданович Н.И., Шевченко Р.С., Кузнецова Л.Н. Ферромагнитные адсорбенты из технических лигнинов // Матер. IV Всерос. симп. «Актуальные проблемы сорбционных процессов». - М.: ИФХ РАН, 1998. - С.50. [3]. Богданович Н.И., Шевченко Р.С., Соколов О.М. Синтез и применение ферромагнитных адсорбентов из отходов для очистки сточных вод ЦБП // Тез. докл. III Всероссийского совещания «Лесохимия и органический синтез». - Сыктывкар, 1998. - С.157. [4]. Дьяченко С.С. Образование аустенита в железоуглеродистых сплавах. - М.: Металлургия, 1982. - 128 с. [5]. Ермоленко И.Н., Гулько Н.В., Сафонова А.М. Влияние вида противоиона на термическое разложение железосодержащей гидратцеллюлозы // Химия древесины. - 1986. - № 2. - С.83-88. [6]. Ермоленко И.Н., Сафонова А.М., Малашевич Ж.В. Исследование структуры металлоугольных волокон, полученных на основе солей окисленной целлюлозы // Изв. АН БССР. Сер. хим. наук, 1972. - №6. - С.60-66. [7]. Идентификация оксидов железа в продуктах карбонизации целлюлозы и лигнина / Г.В. Добеле, Н.И. Богданович, Н.А. Миронова и др. // Химия древесины. - 1991. - № 6. - С.47-50. [8]. Магнитные свойства ферромагнитных адсорбентов / Т.В. Чубарь, М.М. Хворов, Ф.Д. Овчаренко, Ю.И. Химченко // Коллоид. журн. - 1981. - № 3. - С.535-539. [9]. Механизм и кинетика восстановления металлов / Под ред. А.М. Самарина - М.: Наука, 1970. - 248 с. [10]. Пастушенко О.Н., Шкловская Н.И. Изменение пористой структуры ферритизированных активных углей // Журн. физ. химии. - 1993. - Т.67, № 10. - С.2073-2076. [11]. Петров Ю.И. Физика малых частиц. - М.: Наука, 1983. - 360 с. [12]. Сафонова А.М., Титова Л.В., Щуревич О.А. Формирование структуры и свойств углеродных волокон, содержащих биметаллическую фазу: Co-Fe // Журн. прикладн. химии. - 1997. - Т.70, вып.2. - С.237-239. [13]. Свядош Ю.Н. Синтез и исследования ферромагнитных адсорбентов // Тр. ГНИИПИ по обогащению руд цветных металлов. - Алма-Ата, 1971. - С.166-168. [14]. Синтез магнитовосприимчивых углеродминеральных адсорбентов на основе отходов переработки древесины / Н.И. Богданович, Г.В. Добеле, Р.С. Шевченко, Л.Н. Кузнецова // Теоретические основы сорбционных процессов: Матер. III Национал. симп. - М.: ИФХ РАН, 1997. - с. 46. [15]. Синтез ферромагнитных адсорбентов на основе измельченных древесных материалов / Р.С. Шевченко, Н.И. Богданович, Л.Н. Кузнецова, О.М. Соколов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. научн. тр. АГТУ. - Архангельск: РИО АГТУ, 1998. - Вып. IV. - С.97-103. [16]. Ставицкая О.Н., Оранская Е.И.,

Имшенник В.К. Фазовый состав и магнитные свойства железосодержащих адсорбентов на основе сферического углеродного адсорбента // Журн. прикладн. химии. - 1996. - Т. 69, вып. 9. - С.1455-1457. [17]. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества. - М.: Мир, 1983. - 304 с. [18]. Углеродные адсорбенты и их применение в промышленности / Т.В. Чубарь, Ф.Д. Овчаренко, Ю.И. Химченко и др.// М.: Наука, 1983. - 200 с. [19]. Dobele G., Bogdanovich N., Dizhbite T. Fe-containing carbon materials on the basis of various lignins // Biomass for energy, environment, agriculture and industry: Proceedings of the 8th European Conf. Pergamon.- Vienna, Austria, 1994. - Vol.3. - P.1884-1888. [20]. Mc Kee D.W. Chemistry and physics of carbon. N.Y.: Marcell Dekker. Ed. by P.L. Walker, P.A.Thrower, 1981. - Vol. 16. - P.1-121. [21]. Yamashita H., Tomita A. Local structures of metals dispersed on coal // Ind. Eng. Chem. Res.-1993.-Vol. 32, N 3.-P.409-415.

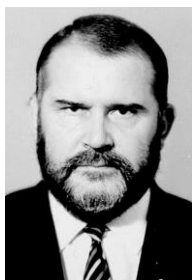
Поступила 20 января 1999 г.

УДК 676.017

И.Б. ФИЛИППОВ, В.И. КОМАРОВ



Филиппов Илья Борисович родился в 1969 г., окончил в 1992 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 научных работ в области деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 160 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ БДМ И СУПЕРКАЛАНДРА НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ БУМАГИ ДЛЯ ОФСЕТНОГО СПОСОБА ПЕЧАТИ

Установлено, что изменения структуры, возникающие в процессе производства бумаги, оказывают избирательное влияние на величину показателей, описывающих механическое поведение на различных этапах нагружения, и их корреляцию с динамической прочностью материала.

It has been stated that changes of structure occurring in paper making process exert some selective influence on the value of indices describing mechanical behavior at different loading stages and their correlation to dynamic strength of material.

Эффективное управление качеством целлюлозно-бумажной продукции является одним из важнейших аспектов технологии. При этом особое значение приобретают вопросы оценки качества, так как целлюлозно-бумажные материалы по своей природе обладают высокой неоднородностью [1,13], что затрудняет перенос данных, полученных в лаборатории, в производственные условия [13]. Поэтому изучение факторов, влияющих на качество продукции, непосредственно в условиях производства представляется необходимым. Кроме того, это позволяет критически оценить действующий режим производства, найти пути его улучшения. Отметим и проблему, имеющуюся на сегодняшний день в области оценки качества целлюлозно-бумажных материалов – это методы и характеристики, применяемые для отражения потребительских свойств бумаги и картона. Так, стандартными показателями качества для офсетной бумаги являются разрывная длина, сопротивление излому и стойкость поверхности бумаги к выщипыванию (СПВ). Указанные характеристики оценивают поведение материала в момент разрушения, а величина их в значительной степени зависит от дефектности структуры испытываемого образца. В реальном печатном процессе бумажное полотно претерпевает нагрузки, составляющие порядка 1/3 от разрушающей, а его поведение во многом определяется упругими свойствами [7, 9]. Увеличение абсолютных значений таких характеристик бумаги, как начальный модуль упругости и предел упругой деформации, повышает устойчивость полотна к образованию морщин и биению. Однако эти характеристики для оценки качества офсетной бумаги в настоящее время на практике не используют. Кроме того, сведения о законах формирования деформационных свойств в процессе производства бумаги весьма ограничены и носят разрозненный характер [3,14,15]. Таким образом, исследование влияния производственных факторов на вязкоупругие свойства бумаги весьма актуально.

Данная публикация является шестой из серии работ, посвященных исследованию влияния технологических факторов производства на деформативность и прочность книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати [4, 5, 10–12]. В ней рассмотрена зависимость деформационных и прочностных характеристик офсетной бумаги с высоким содержанием различных механических масс от некоторых параметров работы БДМ и суперкаландра.

При выполнении исследований были выделены два этапа. На первом этапе проводили пассивный эксперимент, главными задачами которого являлись:

а) исследование стабильности параметров работы БДМ, выбранных для текущего контроля технологического процесса;

б) оценка стабильности стандартных и перспективных показателей качества офсетной бумаги;

в) исследование корреляции параметров работы БДМ и характеристик качества бумаги;

г) изучение динамики изменения свойств деформативности в ряду напорный ящик – накат БДМ – суперкаландр;

д) оценка влияния изменений структуры на корреляцию характеристик деформативности и прочности.

На втором этапе путем активного воздействия исследовали влияние на деформационные свойства офсетной бумаги таких переменных факторов процесса производства, как соотношение скоростей струи массы и сетки БДМ, массы 1 м² бумаги и натяжения сушильного сукна в третьей сушильной группе.

Первый этап (пассивный эксперимент). Одно из важнейших условий повышения качества продукции – стабильность параметров работы БДМ. В ЦБП принято считать стабильными те технологические параметры и характеристики, коэффициент вариации которых не превышает 5 %. При проведении эксперимента статистической обработке подвергались данные производственного контроля, соответствующие по времени отборам проб для изучения фундаментальных [2], деформационных и прочностных свойств бумажной массы и готовой бумаги. В течении квартала было произведено 20 отборов проб с одновременной регистрацией параметров работы БДМ. Результаты статистической обработки полученных данных представлены в табл.1, из которой следует, что большинство из контролируемых в данном эксперименте параметров имеют коэффициенты вариации выше 5 %. Обращает на себя внимание низкая стабильность величины вакуума в камерах формующего и гауч-вала. Нестабильность качества исходных полуфабрикатов [4], параметров работы РПО [11,12] и БДМ обусловила высокое варьирование характеристик качества бумаги как на накате, так и после суперкаландрирования. Наибольший коэффициент вариации наблюдался у начального модуля упругости E_1 , что обусловлено наибольшей чувствительностью этой характеристики к изменениям, вносимым в структуру материала при нестабильной работе БДМ. Некоторый рост степени изменчивости начального модуля упругости после суперкаландрирования объясняется увеличением разброса значений исследуемой характеристики (2260 и 3560 МПа – соответственно до и после суперкаландрирования). Это свидетельствует о неоднозначном влиянии процесса обработки в суперкаландре на бумагу машинной гладкости, обладающую различными исходными свойствами, а также о низкой стабильности работы суперкаландра. Значительное уплотнение структуры бумажного полотна после суперкаландрирования обусловило увеличение начального модуля упругости несмотря на пластические деформации, возникающие в поверхностных слоях под воздействием валов.

Таблица 1

Основные технологические параметры работы БДМ

Параметры	$\bar{X}$	max	min	СКО	$V, \%$
Скорость дуоформера, м/мин	770	810	730	27,0	3,5
Соотношение скоростей струя массы–сетка БДМ	0,95	0,99	0,95	0,01	1,4
Вакуум, бар:					
а) формующий вал по вакуум-камерам:					
1	0,30	0,80	0,23	0,13	44,1
2	0,22	0,28	0,15	0,05	22,9
б) гауч-вал по вакуум-камерам:					
1	0,22	0,30	0,13	0,01	32,1
2	0,43	0,51	0,36	0,01	9,6
3	0,50	0,63	0,40	0,12	24,8
Давление прессования по зонам, кН/м:					
1	64,0	65,5	61,0	1,5	2,3
2	81,0	84,5	75,0	4,4	5,5
3	111	124	96	11,0	10,2
Температура общего пара, °С	141	145	135	14,0	10,3
Давление общего пара, бар	3,0	3,2	2,1	0,3	9,2
Давление пара в 5-й сушильной группе, бар	2,2	2,7	1,2	0,4	19,5
Характеристики качества бумаги:					
$L, \text{ м}$	<u>5650</u> 5230	<u>7050</u> 6470	<u>4040</u> 3830	<u>825</u> 746	<u>14,6</u> 14,3
$P_{zg}, \text{ м/с}$	<u>2,10</u> 1,38	<u>2,42</u> 1,42	<u>1,36</u> 1,22	<u>0,22</u> 0,05	<u>10,5</u> 3,5
$P_{zc}, \text{ м/с}$	<u>2,44</u> 1,99	<u>2,60</u> 2,06	<u>2,00</u> 1,80	<u>0,17</u> 0,05	<u>6,8</u> 2,7
$E_1, \text{ МПа}$	<u>3860</u> 5340	<u>5300</u> 7520	<u>3040</u> 3960	<u>650</u> 922	<u>16,8</u> 17,3

Примечание. В числителе приведены данные для бумаги на накате, в знаменателе – после суперкаландра.

Стойкость поверхности к выщипыванию (СПВ) с внешней стороны листа P_{zg} отличается более высокой степенью изменчивости, чем с сеточной P_{zc} . Это явление представляется вполне закономерным. Внешняя сторона бумаги, имея большее содержание коротких волокон и большую однородность поверхности, наиболее чувствительна к колебаниям фракционного состава по длине волокна и изменениям условий отлива в отличие от сеточной стороны, где происходит промой короткого волокна. Значительное снижение вариации СПВ после суперкаландрирования обусловлено падением абсолютных величин прочности поверхности, которое возникает в результате ослабления межволоконных связей в поверхностных слоях бумаги и выглаживания ее поверхности. Причем прочность поверхности как с внешней, так и с сеточной стороны листа во всех отборах снижалась практически до одинакового уровня.

Таблица 2

**Корреляция технологических параметров работы БДМ
и показателей качества бумаги**

Параметры	L	P_{zb}	P_{zc}	E_1	EI
Скорость дуоформера	<u>-0,490</u>	<u>-0,608</u>	<u>-0,574</u>	<u>-0,769</u>	<u>-0,662</u>
	-0,602	-0,303	0,404	-0,726	-0,690
Соотношение скоростей струя массы– сетка БДМ	...	<u>0,230</u>	<u>0,350</u>	<u>-0,193</u>	<u>-0,241</u>
	-0,483	-0,129	-0,188	-0,092	-0,008
Вакуум на гауч-валу по вакуум-камерам:					
1	<u>0,269</u>	<u>-0,283</u>	<u>-0,290</u>	<u>0,554</u>	<u>0,676</u>
	0,468	0,185	0,123	0,396	0,681
2	<u>-0,504</u>	<u>-0,069</u>	<u>-0,036</u>	<u>0,080</u>	<u>0,222</u>
	-0,100	0,159	0,293	-0,066	0,292
3	<u>-0,158</u>	<u>0,157</u>	<u>0,020</u>	<u>0,207</u>	<u>-0,178</u>
	0,019	0,095	-0,164	-0,120	-0,040
Давление прессования по зонам:					
1	<u>0,328</u>	<u>-0,195</u>	<u>-0,131</u>	<u>0,274</u>	<u>-0,442</u>
	0,094	0,305	-0,622	-0,028	-0,052
2	<u>-0,576</u>	<u>-0,344</u>	<u>-0,286</u>	<u>0,442</u>	<u>0,459</u>
	0,354	-0,328	0,230	0,129	-0,036
3	<u>-0,662</u>	<u>-0,424</u>	<u>-0,390</u>	<u>-0,700</u>	<u>-0,884</u>
	-0,793	-0,302	0,153	-0,778	-0,778
Температура общего пара	<u>-0,407</u>	<u>-0,234</u>	<u>-0,219</u>	<u>-0,457</u>	<u>-0,067</u>
	-0,395	-0,416	0,430	-0,016	-0,496
Давление общего пара	<u>-0,186</u>	<u>-0,118</u>	<u>-0,098</u>	<u>-0,077</u>	<u>0,639</u>
	0,021	-0,420	0,694	-0,054	0,504
Давление пара в 5-й сушильной группе	<u>0,245</u>	<u>0,028</u>	<u>0,612</u>	<u>0,071</u>	<u>0,869</u>
	0,270	0,313	0,612	0,208	0,531

Примечания. 1. В числителе приведены данные для бумаги на накате; в знаменателе – после суперкаландра. 2. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции ($r \geq 0,662$).

Одной из задач эксперимента являлось исследование возможности прогнозирования качества продукции при контроле технологических параметров работы БДМ, представленных в табл. 1. Для этого были рассчитаны коэффициенты корреляции параметров, выбранных для контроля, со стандартными (L , P_{zc} , P_{zb}) и некоторыми деформационными (E_1 , EI) характеристиками бумаги. Из приведенных в табл. 2 данных следует, что ни один из контролируемых при производстве бумаги параметров не имеет значимой корреляции с такой важной для офсетной бумаги характеристикой, как стойкость поверхности к выщипыванию.

Для прочности при растяжении L значимая связь обнаружена лишь с величиной линейного давления прессования на последнем прессе. Обработка бумаги в суперкаландре способствует увеличению тесноты корреляции этих характеристик.

Величина начального модуля упругости E_1 , кроме того, значимо коррелирует со скоростью дуоформера, что можно объяснить изменениями в структуре листа, в частности ростом степени ориентации волокон в машинном направлении при увеличении скорости сетки. Теснота данной корреляции после суперкаландрирования незначительно снижается.

Жесткость бумаги при изгибе EI значимо связана не только с указанными выше параметрами, но и с величиной вакуума в первой камере гауч-вала и давлением пара в пятой (последней) сушильной группе. В последнем случае это обусловлено увеличением толщины и пухлости материала при интенсификации режима сушки. Однако суперкаландрирование делает эту связь незначимой.

С точки зрения прогнозирования деформативности и прочности бумаги определенный интерес представляет динамика изменения свойств исследуемого материала в ряду напорный ящик–накат–суперкаландр, а также влияние возникающих при этом изменений в структуре материала на корреляцию характеристик деформативности и прочности.

В табл. 3 представлены усредненные по 20 отборам данные, характеризующие динамику изменения фундаментальных, прочностных и деформационных характеристик при прохождении бумаги через БДМ и суперкаландр. Отметим, что представленные в табл. 3 образцы имеют

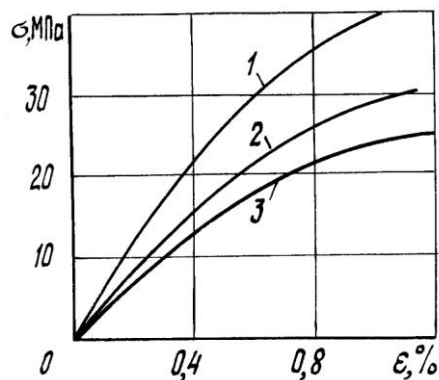
Таблица 3

**Изменение физико-механических характеристик бумажной массы
и бумаги в процессе производства**

Характеристики	Численные значения характеристик					
	Масса из напорного ящика		Бумага на накате БДМ		Бумага после суперкаландра	
	$\bar{X}$	$V, \%$	$\bar{X}$	$V, \%$	$\bar{X}$	$V, \%$
Фундаментальные:						
$V, \text{см}^3/\text{г}$	1,79	3,61	1,87	4,6	1,23	5,9
$F_z, \text{Дж}/\text{м}^2$	145	10,0	143	13,7	141	13,0
Деформационные:						
$E_1, \text{МПа}$	3390	15,0	3860	16,8	5340	17,3
$E_3, \text{МПа}$	1930	13,5	2490	24,8	3400	18,4
$E_2, \text{МПа}$	830	20,3	1080	22,4	1620	36,1
$\sigma_1, \text{МПа}$	12,2	12,5	15,3	17,0	21,5	31,8
$\sigma_3, \text{МПа}$	17,1	13,4	23,4	19,6	30,2	17,6
$\sigma_p, \text{МПа}$	25,5	11,1	30,3	16,6	41,2	17,3
$\varepsilon_1, \%$	0,37	9,7	0,41	13,8	0,40	9,1
$\varepsilon_3, \%$	0,59	11,7	0,68	17,2	0,64	10,9
$\varepsilon_p, \%$	1,36	6,9	1,16	14,9	1,14	12,0
$EI, \text{мН} \cdot \text{см}^2$	30,6	26,3	67,4	25,8	38,5	36,3
Прочностные:						
$L, \text{м}$	4510	7,8	5650	14,6	5230	14,3
$A_p, \text{мДж}$	30,6	12,8	37,0	24,1	33,0	22,8
$P_{zc}, \text{м/с}$	2,36	4,0	2,44	6,8	1,99	2,7
$P_{z6}, \text{м/с}$	2,03	7,7	2,10	10,5	1,38	3,5

значительные отличия в структуре. Так, из-за промоя мелких волокон и воздействия процесса сушки образцы бумаги на накате отличаются более высокой пухлостью по сравнению с образцами бумажной массы из напорного ящика. Кроме того, бумага машинной выработки обладает преимущественной ориентацией волокон в машинном направлении. Для суперкаландрированной бумаги характерны более плотная структура и наличие необратимых пластических деформаций (возникающих при прохождении бумаги через суперкаландр) в поверхностных слоях.

Как видно из табл. 3 и рисунка, способность сопротивляться внешней растягивающей нагрузке у образцов бумаги машинной гладкости выше по сравнению с образцами лабораторного изготовления (бумажная масса из напорного ящика).



Влияние процессов производства бумаги на БДМ и суперкаландрирования: 1 – бумага после суперкаландрирования; 2 – бумага на накате; 3 – бумажная масса из напорного ящика

Волокон в продольном направлении. По той же причине наблюдается значительный прирост жесткости при изгибе. Известно [6], что с ростом пухлости однородность и гладкость поверхности бумаги снижаются. Результат этого – сокращение площади контакта между поверхностями образца и печатной формы при испытаниях, и, как следствие, возникновение массового выпивания происходит при более высоких скоростях.

Результатом уплотнения структуры и снижения толщины бумажного листа после суперкаландрирования является рост величины пороговых напряжений, возникающих в образце в процессе приложения к нему нагрузки, при практически не меняющихся деформациях на различных этапах нагружения, т. е. наблюдается увеличение жесткости при растяжении (см. рисунок).

Необходимо отметить значительное снижение после суперкаландрирования жесткости бумаги при изгибе и прочности ее поверхности. В первом случае это обусловлено сокращением толщины материала при

образцы бумаги на накате, несмотря на более высокую пухлость, отличаются большей величиной пороговых напряжений (σ_1 , σ_3 , σ_p) и модулей упругости на различных этапах нагружения (E_1 , E_3 , E_2) по сравнению с лабораторными отливками. Абсолютные значения упругой ϵ_1 и эффективной ϵ_3 деформаций у этих образцов также выше. В тоже время, при развитии интенсивных пластических деформаций на завершающем этапе нагружения разрушение образцов происходит при меньшей величине деформации. Рост жесткости и прочности при растяжении в данном случае можно отнести на счет возникающей при машинном отливе ориентации во-

уплотнении структуры бумаги. Снижение величины СПВ происходит как из-за уменьшения пухлости и выглаживания поверхности бумаги, так и из-за частичного разрушения межволоконных связей в поверхностных слоях.

Отметим, что при прохождении бумаги через БДМ коэффициент вариации возрастает практически у всех представленных характеристик. Это может быть обусловлено недостаточно высокой стабильностью параметров работы БДМ и свидетельствует о важности правильного выбора технологических параметров, непрерывный контроль и регулирование которых позволяют производить бумагу стабильного качества. Обработка бумаги в суперкаландре в целом незначительно сказывается на величине коэффициента вариации исследуемых характеристик. Исключение в данном случае составляют модуль упругости в области предразрушения E_2 , предел упругости σ_1 , жесткость при изгибе EI (коэффициенты вариации для этих характеристик возрастают) и СПВ (снижение степени изменчивости обусловлено значительным падением прочности поверхности).

В целях определения влияния структуры бумаги на взаимосвязь основных физико-механических характеристик был проведен корреляционный анализ, в ходе которого оценена теснота связи между наиболее важными прочностными и деформационными свойствами исследуемых материалов. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 4.

Из данных табл. 4 следует, что коэффициенты корреляции характеристик прочности поверхности с характеристиками деформативности незначимы.

Таблица 4

Корреляция характеристик прочности и деформативности

Характеристики	E_1	E_3	E_2	σ_1	σ_3	σ_p	ε_p	EI
Бумажная масса из напорного ящика								
L	0,655	0,706	0,348	0,648	0,570	0,814	0,249	0,444
A_p	0,379	0,237	-0,288	0,621	0,625	0,715	0,678	0,478
P_{zc}	-0,140	-0,167	-0,261	0,090	0,227	0,035	0,074	-0,074
P_{zg}	0,066	0,251	0,446	0,001	0,086	0,138	-0,262	-0,085
Бумага на накате								
L	0,627	0,733	0,429	0,431	0,669	0,821	0,250	0,388
A_p	0,090	0,182	0,112	0,210	0,634	0,780	0,843	0,268
P_{zc}	0,064	0,072	-0,208	0,256	0,256	0,173	0,046	0,110
P_{zg}	0,195	0,210	-0,180	0,279	0,324	0,292	0,073	0,208
Бумага после суперкаландра								
L	0,785	0,715	0,549	0,404	0,714	0,859	0,282	0,603
A_p	0,545	0,533	0,488	0,310	0,502	0,829	0,795	0,415
P_{zc}	0,304	0,169	-0,042	-0,022	-0,089	-0,209	-0,128	-0,554
P_{zg}	-0,231	-0,179	0,023	-0,325	0,010	-0,088	-0,030	-0,475

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции ($r \geq 0,627$).

Прочность при приложении растягивающей нагрузки определяли по двум характеристикам: разрывной длине L , учитывающей массу образца, и работе разрушения A_p , оценивающей динамическую прочность бумаги. Обращает на себя внимание, что образцы, отобранные на разных стадиях производства, имеют различные коэффициенты парной корреляции. Кроме того, исследуемые характеристики прочности либо не коррелируют с характеристиками деформативности, либо коррелируют избирательно. Так, характеристики прочности не обнаруживают значимой корреляции с модулем упругости в области предразрушения и жесткостью при изгибе. Разрывная длина во всех случаях значимо коррелирует с начальным и эффективным модулями упругости и разрушающим напряжением. Для лабораторных образцов, в которых отсутствует ориентация волокон, характерна значимая корреляция с пределом упругости, а для бумаги машинного изготовления, отобранной на накате, – с эффективным напряжением. У исследуемых материалов обнаружена значимая корреляция работы разрушения с деформацией разрушения и пороговыми напряжениями на различных этапах нагружения. Характер и теснота корреляции последних претерпевают изменения при переходе от одного вида материала к другому. Для лабораторных образцов отмечена значимая корреляция со всеми пороговыми напряжениями; для бумаги, отобранной на накате, – с эффективным и разрушающим напряжениями, для суперкаландрированной бумаги – с разрушающим напряжением. Это свидетельствует об избирательности влияния механического поведения материалов различной структуры на их динамическую прочность.

Второй этап (активный эксперимент). Известно, что качество производимой бумаги в значительной степени зависит от соотношения скоростей поступающей бумажной массы и сетки БДМ [13]. При выработке большинства видов бумаги (на плоскосеточных машинах) рекомендуемое соотношение скоростей струи массы и сетки БДМ (K_n) составляет 0,94 ... 0,98.

При проведении эксперимента соотношение варьировали от 0,97 (отставание скорости струи на 25 м/мин) до 1,02 (скорость струи опережает скорость сетки на 15 м/мин). Такие пределы были определены условиями эксплуатации БДМ с двухсеточной системой формования. Изменение относительной скорости поступления массы на сетку осуществляли изменением скорости струи массы при постоянной скорости сетки, равной 770 м/мин. Остальные параметры были стабилизированы. В табл. 5, 6 представлены результаты микроскопических исследований и испытаний образцов суперкаландрированной бумаги, отобранной при различных соотношениях скоростей струи массы и сетки. Возрастание K_n вызывает изменение условий формования бумажного полотна и ориентации волокон, о чем свидетельствует сокращение промоя мелкого волокна (возрастает относительное содержание фракций с длиной волокна менее 1,8 мм и уменьшается средняя длина волокна l_{cp}) и снижение пухлости V . Изменения в ориентации волокон приводят к снижению нулевой разрывной длины L_0 . Величина межволоконных сил связи, характеризуемая в данном эксперименте адгезией по Скотту F_z , практически не изменяется.

Таблица 5
**Относительное содержание (%) фракций волокон
 в структуре бумаги**

Размер фракции, мм	Коэффициент напуска		
	0, 97	0, 99	1, 02
Менее 0,6	6,5	6,2	7,6
0,6...1,2	52,5	57,1	51,4
1,2...1,8	26,3	26,9	32,9
1,8...2,4	6,3	4,9	4,7
2,4...3,0	5,4	2,7	2,9
3,0...3,6	2,7	1,6	0,5
3,6...4,2	0,2	0,7	0,0
Более 4,2	0,0	0,0	0,0

При постоянстве скорости сетки и концентрации массы в напорном ящике увеличение скорости струи приводит к тому, что количество абсолютно сухого вещества, поступающего на сетку, возрастает. Этим объясняется тенденция к росту массы 1 м^2 при увеличении соотношения скоростей K_n .

Описанные выше изменения в структуре бумаги приводят к росту жесткости при растяжении, о чем можно судить по численным значениям модулей на различных этапах нагружения. В упругой области это явление объясняется повышением предела упругости, обусловленного уплотнением структуры и снижением степени ее анизотропности. В вязкоупругой и пластической областях увеличение способности материала сопротивляться внешней нагрузке, по всей видимости, вызвано как уплотнением структуры, так и сокращением относительного содержания длинноволокнистых фракций волокон.

Максимальная величина жесткости бумаги при изгибе наблюдалась при $K_n = 0,99$. Можно предположить, что в этом случае наиболее благоприятным оказалось сочетание факторов, влияющих на жесткость при изгибе (таких как пухлость и ориентация волокон в машинном направлении).

Обращает на себя внимание то, что, несмотря на рост жесткости, величины прочностных характеристик, полученных при испытаниях на растяжение, снижаются. Вероятнее всего, это обусловлено, во-первых, сокращением числа волокон, ориентированных вдоль оси приложения нагрузки и способных наиболее эффективно воспринимать ее (о чем свидетельствует и характер изменения нулевой разрывной длины, т. е. прочности волокна), во-вторых, увеличением дефектности структуры, связанной с «набеганием» массы на сетку при увеличении скорости струи. В пользу последнего утверждения свидетельствует тот факт, что при $K_n = 1,02$ коэффициенты вариации подавляющего большинства представленных в табл. 6 характеристик максимальны.

Сопротивление офсетной бумаги излому с ростом K_n снижается. Этот факт представляется вполне закономерным, если учесть, что доля

Таблица 6

Влияние величины K_n на характеристики офсетной бумаги

Характеристики	Численные значения характеристик при различных значениях K_n					
	0,97		0,99		1,02	
	$\bar{X}$	$V, \%$	$\bar{X}$	$V, \%$	$\bar{X}$	$V, \%$
Фундаментальные:						
F_z , Дж/м ²	136	4,3	135	6,5	140	2,3
V , см ³ /г	1,46	5,7	1,39	3,6	1,35	4,4
L_o , м	6540	1,9	6060	9,9	5550	13,2
l_{cp} , мм	1,26	7,9	1,19	1,4	1,17	5,7
d_{cp} , мкм	34,1	4,0	33,6	5,9	32,3	1,1
M^* , г	55,1	4,0	55,6	3,0	56,4	0,6
Деформационные:						
E_1 , МПа	8410	3,9	8720	3,1	9080	15,7
E_3 , МПа	3470	6,8	3810	2,4	4030	17,3
E_2 , МПа	1440	10,9	1660	7,2	1780	21,1
σ_1 , МПа	11,4	1,9	11,8	4,6	12,1	11,3
σ_3 , МПа	16,4	1,3	15,7	7,0	16,7	17,3
σ_p , МПа	35,5	2,8	34,5	10,7	35,5	13,4
ε_1 , %	0,14	3,3	0,14	5,8	0,14	5,8
ε_3 , %	0,28	7,4	0,24	7,2	0,25	24,4
ε_p , %	1,18	4,0	1,09	11,6	1,03	10,7
EJ , мН·см ²	28,7	2,0	29,6	13,6	26,1	0,8
Прочностные:						
P , Н	45,0	3,1	42,7	9,4	42,7	10,9
L , м	5440	2,3	5110	7,5	5060	11,2
A_p , мДж	33,1	5,4	29,2	20,3	27,1	21,0
N , ч. д. п.	22	4,2	19	15,5	18	7,9
P_{z6} , м/с	1,73	11,9	1,50	14,4	...	...
$P_{zс}$, м/с	2,13	15,5	2,13	4,4	...	...

* Здесь и далее, в табл. 8, M – масса 1 м² бумаги.

длинных волокон и степень их ориентации в машинном направлении с увеличением скорости струи уменьшаются.

СПВ с внешней стороны бумажного листа с увеличением относительной скорости поступления массы на сетку (в силу роста доли коротких волокон и уплотнения структуры) имеет тенденцию к снижению. С сеточной стороны изменения величины СПВ не наблюдается.

Представленные выше данные свидетельствуют об избирательности воздействия исследуемого фактора на характеристики деформативности и прочности, что позволяет путем варьирования K_n целенаправленно воздействовать на ту или иную группу характеристик.

Отметим, что выделить оптимальные (с точки зрения величин прочности и деформативности материала) условия напуска массы на сетку достаточно трудно, так как во всех трех случаях величины начального модуля упругости и разрывной длины значительно превышали нормируемые или минимально допустимые значения, которые составляют 4000 МПа для

начального модуля [9] и 3700 м для разрывной длины [8]. Это делает приемлемыми все три варианта напуска массы. Однако, как видно из табл. 6, вариация представленных характеристик по ширине бумажного полотна возрастает по мере увеличения относительной скорости поступления массы на сетку БДМ, причем, когда величина K_n составляет 0,99 и, особенно, 1,02, коэффициенты вариации характеристик деформативности и прочности значительно выше 5 % (что можно считать нормой). Таким образом, с точки зрения стабильности свойств бумаги по ширине полотна оптимальным вариантом является выработка бумаги при относительной скорости поступления массы на сетку БДМ, равной 0,97.

Определенный интерес для управления качеством офсетной бумаги имеет динамика прочности и деформативности при варьировании массы 1 м^2 бумаги в рамках, допускаемых требованиями технических условий и технологического регламента. При проведении эксперимента изменение величины исследуемого параметра достигалось путем варьирования величины массы 1 м^2 в автоматической системе регулирования Аккурей.

Из табл. 7, где представлены результаты испытаний образцов бумаги с различной массой 1 м^2 , видно, что увеличение этого показателя (даже в небольшом интервале) сопровождается значительными структурными изменениями. Об этом свидетельствует снижение величины таких характеристик, как пухлость материала, средняя длина и ширина волокна. Прочность межволоконных связей, характеризуемая в данном эксперименте адгезией по Скотту, также снижалась. Эти факты представляются вполне закономерными, так как с увеличением массы 1 м^2 бумаги возрастает толщина папки волокон на сетке БДМ, через которую происходит фильтрация воды в подсеточное пространство. Это приводит к интенсификации удержания мелких волокон, основную массу из которых, по всей видимости, составляет слабо фибриллированная мелочь механических масс (ХТММ и ТММ).

Несмотря на последнее обстоятельство, увеличение числа контактов между волокнами, имеющее место при снижении пухлости, способствует росту большинства характеристик деформативности и прочности бумаги. Исключение составляют жесткость при изгибе, имеющая максимум при массе 1 м^2 , равной 57 г, и сопротивление излому (величина убывает).

Из-за повышенного содержания коротковолокнистых фракций, более низкой прочности межволоконных связей и пониженной пухлости образцы с массой 60 г/м^2 имели наиболее низкие значения СПВ, причем с внешней стороны листа значение этой характеристики оказалось меньше минимально допустимого.

Однозначной зависимости для динамики степени изменчивости исследуемых характеристик обнаружено не было. Отметим лишь, что минимальные значения коэффициентов вариации в большинстве случаев наблюдаются у образцов с массой 57 г/м^2 .

Таблица 7

Влияние массы 1 м² на физико-механические характеристики офсетной бумаги

Характеристики	Численные значения характеристик при массе 1 м ² , г					
	55		57		60	
	$\bar{X}$	$V, \%$	$\bar{X}$	$V, \%$	$\bar{X}$	$V, \%$
Фундаментальные:						
F_z , Дж/м ²	170	...*	160	...	145	...
V , см ³ /г	1,50	...	1,47	...	1,20	...
L_0 , м	6740	...	7000	...	6190	...
l_{cp} , мм	1,12	...	1,14	...	1,03	...
d_{cp} , мкм	33,4	...	29,5	...	30,4	...
Деформационные:						
E_1 , МПа	7352	12,5	7770	6,6	8550	11,5
E_3 , МПа	3280	15,4	2840	-	3790	13,0
E_2 , МПа	1540	10,0	1250	-	1740	15,5
σ_1 , МПа	10,3	10,4	10,5	7,7	11,8	8,9
σ_3 , МПа	13,6	9,9	14,4	2,4	15,7	10,8
σ_p , МПа	30,9	11,0	34,1	1,6	41,3	6,7
ε_1 , %	0,15	7,4	0,14	6,2	0,14	4,7
ε_3 , %	0,23	13,9	0,26	-	0,24	22,6
ε_p , %	1,20	17,1	1,42	8,5	1,48	10,0
EI , мН·см ²	31,9	...	35,5		31,1	...
Прочностные:						
P , Н	40	9,1	45	5,0	47	5,8
L , м	4940	9,0	5240	4,5	5220	3,1
A_p , мДж	30,4	26,6	40,0	13,9	42,7	15,4
N , ч. д. п.	42	...	41	...	35	...
P_{z6} , м/с	1,60	...	1,70	...	1,30	...
$P_{zс}$, м/с	2,10	...	2,10	...	1,90	...

* Вариацию в данном эксперименте оценивали у характеристик, полученных при испытаниях на растяжение.

Представленные данные свидетельствуют о неоднозначном влиянии массы 1 м² бумаги на характеристики, определенные при приложении различных видов нагрузки. В частности, увеличение жесткости и прочности при растяжении сопровождается снижением прочности поверхности бумажного листа (вплоть до значений ниже нормируемых). Таким образом, выработка бумаги с повышенными показателями деформативности и прочности, обеспечиваемая увеличением массы 1 м² (в допустимых технических условиях рамках), требует принятия дополнительных мер по повышению прочности поверхности.

В качестве таковых могут быть предложены различные варианты проведения подготовки бумажной массы к отливу: размол целлюлозных полуфабрикатов при повышенных концентрациях и присадках, т. е. в условиях наиболее сильной фибрилляции [12]; размол механических масс при пониженных концентрациях и средних присадках [11]; некоторое увеличение в

композиции относительного содержания ТММ и снижение расхода флокулянта [13]. Последние три мероприятия приведут к повышению пухлости, следствием чего будет снижение площади контакта между поверхностью бумаги и печатной формы, что и будет способствовать повышению СПВ.

Наряду с условиями отлива существенное влияние на механическое поведение готовой бумаги оказывают условия ее сушки. При стабильном температурном режиме особый интерес представляет влияние факторов, ограничивающих усадку бумаги, а именно натяжение бумажного полотна и сушильных сукон. Автор монографии [13], ссылаясь на работы А.Д. Абрамовича, Н.Г. Штольца, А.М. Рацкера и др., отмечает, что создание условий, ограничивающих усадку бумаги при сушке, приводит к снижению деформации разрушения (растяжимости бумаги), а также увеличению прочности при растяжении и снижению прочности при других типах нагружения (излом, продавливание).

При проведении эксперимента исследовали влияние натяжения сушильного сукна в третьей сушильной группе (исследуемая сушильная часть имеет 5 сушильных групп). Сухость бумажного полотна на этом участке превышает 60 %, т. е. процесс межволоконной усадки на данном этапе уже завершен. Усадка отдельных волокон вносит наиболее существенный вклад в общую усадку бумажного полотна и наиболее сильно проявляется в поперечном направлении. Таким образом, нам представилась возможность оценить влияние фактора, ограничивающего усадку бумаги в поперечном направлении и снижающего вклад усадки отдельных волокон в общий показатель.

Принимая во внимание этот факт, а также то, что в композиция исследуемой бумаги на 75 % состоит из механических масс (в литературе представлены результаты исследования бумаг из целлюлозы) и интервал варьирования натяжения сушильного сукна был небольшой, можно было предположить получение результатов, отличных от описанных в литературе.

По данным работы [14] усадка бумаги способствует наиболее полному проявлению всех видов связи между волокнами. Поэтому ужесточение условий, ограничивающих усадку полотна, должно ослаблять межволоконные связи в бумаге, что, хотя и в незначительной степени, имело место в данном эксперименте (табл. 8). Однако снижение прочности межволоконных связей не привело к адекватному снижению прочности при растяжении. Величины разрушающего усилия и разрывной длины остались практически неизменны и даже имели тенденцию к росту. Можно предположить, что последнее обстоятельство обусловлено ростом собственной прочности волокна. Соппротивление офсетной бумаги излому с увеличением степени натяжения сукна снижалось, что согласуется с данными других авторов. Прочность поверхности при более сильном натяжении сушильного сукна оказалась выше. Значимый рост имеет и величина работы разрушения, что объясняется ростом деформации разрушения.

Таблица 8

**Влияние натяжения сушильного сукна в третьей сушильной группе
на физико-механические характеристики офсетной бумаги**

Характеристики	Численные значения характеристик при натяжении сукна, кН/м			
	1,3		1,5	
	$\bar{X}$	$V, \%$	$\bar{X}$	$V, \%$
Фундаментальные:				
F_z , Дж/м ²	140	1,4	135	2,8
V , см ³ /г	1,33	1,9	1,34	2,2
L_0 , м	5960	5,3	6630	7,3
l_{cp} , мм	1,24	1,9	1,19	5,5
M , г	58,0	1,1	58,0	0,9
Деформационные:				
E_1 , МПа	8870	5,4	7630	5,8
E_3 , МПа	3470	6,2	3228	9,5
E_2 , МПа	1500	6,6	1410	14,7
σ_1 , МПа	11,6	3,8	11,6	2,9
σ_3 , МПа	15,3	2,0	15,1	2,3
σ_p , МПа	34,5	2,3	34,8	1,6
ε_1 , %	0,14	3,5	0,16	8,7
ε_3 , %	0,23	10,5	0,25	9,0
ε_p , %	1,23	1,6	1,39	2,3
EI , мН·см ²	25,8	9,6	30,8	6,7
Прочностные:				
P , Н	42	2,3	43	2,2
L , м	4850	1,9	4990	2,0
A_p , мДж	32,9	3,1	37,9	4,1
N , ч. д. п.	23	8,6	18	18,1
$P_{z\theta}$, м/с	1,30	5,8	1,80	2,3
P_{zc} , м/с	1,50	8,3	1,90	5,4

Снижение жесткости, наиболее ярко проявляющееся в упругой области, и рост доли пластической деформации представляются закономерными. Снижение числа межволоконных связей, которое может и, скорее всего, имеет место при ограничении усадки волокон (о чем свидетельствует снижение величины адгезии по Скотту), а также возникающие в процессе ограниченной усадки волокон напряжения в структуре бумажного листа привели к большей податливости связей и, как следствие, к снижению жесткости в начальный период нагружения.

Известно, что процесс пластической деформации обусловлен смещением структурных элементов относительно друг друга. Сокращение числа межволоконных контактов делает волокна более подвижными и дает им возможность в большей степени перемещаться относительно друг друга до наступления предела прочности при возникновении пластических деформаций. Увеличение прочности волокон усиливает этот эффект. Этим, видимо, объясняется увеличение общей деформации образцов до разрушения.

Кроме того, представленные в табл. 8 данные, характеризующие степень изменчивости исследуемых характеристик, свидетельствуют о снижении стабильности величин большинства показателей. Скорее всего, это связано с неравномерностью натяжения различных участков сукна по длине сушильных цилиндров БДМ, обрезная ширина которой составляет 8400 мм.

Как и в предыдущих случаях, изменение степени натяжения сушильного сукна вызывает различные по характеру изменения свойств деформативности и прочности.

Проделанная работа позволяет сделать следующие выводы.

1. Установлено высокое варьирование характеристик качества бумаги как на накате БДМ, так и после суперкаландрирования. Наибольший коэффициент вариации наблюдается у начального модуля упругости, который дополнительно возрастает после суперкаландрирования бумаги.

2. Показано, что стойкость поверхности к выщипыванию с внешней стороны листа имеет более высокий коэффициент вариации по сравнению с сеточной стороной.

3. Установлено, что в условиях заданного регламента производства значимо коррелируют следующие характеристики: разрывная длина – линейное давление прессования на последнем третьем прессе, начальный модуль упругости – линейное давление прессования на том же прессе и скорость дуоформера, жесткость при изгибе – два перечисленных выше показателя и вакуум в первой камере гауч-вала.

4. Показано, что у образцов, отобранных на накате БДМ, коэффициент вариации возрастает практически у всех исследуемых характеристик деформативности и прочности по сравнению с образцами, отобранными из напорного ящика, что свидетельствует о важности научно обоснованного выбора параметров производства, непрерывный контроль и регулирование которых позволят производить бумагу стабильного качества.

5. Суперкаландрирование бумаги вызывает возрастание коэффициентов вариации таких характеристик деформативности, как начальный модуль упругости, предел упругости и жесткость при изгибе. У остальных исследуемых характеристик коэффициент вариации изменяется незначительно.

6. Установлено, что изменения структуры, возникающие в процессе производства бумаги, оказывают избирательное влияние на характер и тесноту корреляции динамической прочности, характеризуемой работой разрушения, с показателями описывающими механическое поведение материала на различных этапах нагружения, что необходимо учитывать при переносе данных, полученных в лаборатории, в условия реального производства.

7. Разрывная длина вне зависимости от типа структуры обнаруживает значимую корреляцию с разрушающим напряжением, начальным и эффективным модулями упругости. Прочность поверхности значимо не коррелирует ни с одной из исследованных деформационных характеристик.

8. Установлено, что для повышения характеристик деформативности офсетной бумаги величина K_n должна возрастать (в пределах от 0,97 до 1,02), а для повышения характеристик прочности – снижаться.

9. Показано, что увеличение массы 1 м^2 с 55 до 60 г способствует повышению жесткости при растяжении, прочностные характеристики при этом изменяются слабо.

10. Повышение степени натяжения сушильного сукна в третьей сушильной группе ведет к снижению жесткости и незначительному росту прочности при растяжении.

11. Показана избирательность влияния параметров работы БДМ на характеристики деформативности и прочности, что позволяет осуществлять целенаправленное воздействие на ту или иную группу характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Иванов С.Н. Технология бумаги. - М.: Лесн. пром-сть, 1970. - 696 с.
[2]. Кларк Дж. Технология целлюлозы. - М.: Лесн. пром-сть, 1983. - 456 с. [3]. Комаров В.И. Влияние технологических факторов на характеристики деформативности и прочности сульфатной небеленой целлюлозы // Учеб. пособие. - Архангельск: РИО АГТУ, 1994. - 71 с. [4]. Комаров В.И., Филиппов И.Б. Деформативность и прочность полуфабрикатов, используемых для производства бумаги для офсетной печати// Лесн. журн. - 1995. - № 4 – 5. - С. 104 - 121. - (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Комаров В.И., Филиппов И.Б. Смеси волокнистых полуфабрикатов и их влияние на деформативность и прочность бумаги для офсетной печати// Лесн. журн. - 1997. - № 5. - С. 45-54. - (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Остреров М.А., Гончарова Т.И., Федорова Т.А. Стойкость поверхности бумаги к выщипыванию // Целлюлоза, бумага и картон. - 1994. - № 7 - 8. - С. 20-21. [7]. Силенко П. М. Динамика бумажного листа в транспортных системах полиграфических машин: Дис. ... д-ра техн. наук. - М., 1993. - 155 с. [8]. ТУ 13-0281020-111– 91. Бумага книжно-журнальная для офсетного способа печати. [9]. Факторы, определяющие качество прохождения бумаги через печатную машину/ М. А. Остреров, А. Б. Курятников, Т. И. Кудряшова и др. // Целлюлоза, бумага и картон. - 1993. - № 1. - С. 26-29. [10]. Филиппов И.Б., Комаров В.И. Влияние компонентов бумажной массы на деформативность и прочность книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати // Лесн. журн. - 1998. - № 1. - С. 66-83. - (Изв. высш. учеб. заведений). [11]. Филиппов И.Б., Комаров В.И. Влияние процесса размола на деформативность и прочность механических масс, используемых для производства книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати // Лесн. журн. - 1996. - № 6 - С. 111-123. - (Изв. высш. учеб. заведений). [12]. Филиппов И.Б., Комаров В.И. Влияние процесса размола на деформативность и прочность целлюлозных полуфабрикатов, используемых для производства книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати // Лесн. журн. - 1996. - № 3 - С. 96 - 113. - (Изв. высш. учеб. заведений). [13]. Фляте Д.М. Свойства бумаги. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Лесн. пром-сть, 1986. - 680 с. [14]. Фролов М.В. Структурная механика бумаги (бумажных

текстильных материалов из химических и натуральных волокон).- М.: Лесн. пром-сть, 1982.- 272 с. [14]. Шустов А.Д. Процессы деформации бумажного полотна.- М.: Лесн. пром-сть, 1969.- 200 с.

Поступила 7 мая 1998 г.

УДК 533.9:630*86

О.М. СОКОЛОВ, М.Н. ВАСИЛЬЕВ, Д.Г. ЧУХЧИН

Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, ректор, заведующий кафедрой биотехнологии Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-корреспондент МИА. Имеет более 170 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.



Васильев Михаил Николаевич родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Московский физико-технический институт, кандидат технических наук, заместитель проректора МФТИ по научной работе. Имеет более 80 печатных трудов в области физики и химии плазмы.



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры стандартизации, метрологии и сертификации Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных трудов в области химической переработки древесины.



ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ НИЗКОЭНТАЛЬПИЙНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМОЙ

Изучено воздействие низкоэнтальпийной электронно-пучковой плазмы на древесину и ее компоненты; предложены пути использования продуктов обработки в промышленности.

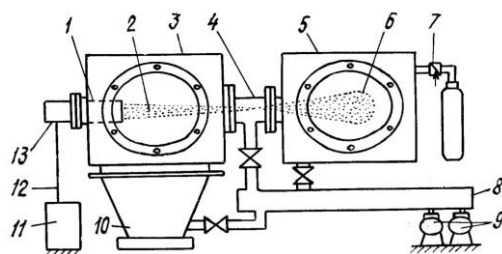
The influence of low-enthalpy electron-beam plasma on wood and its components has been analyzed and ways of utilization of products in industry have been suggested.

Современные технологии химической переработки древесины протекают при повышенных температурах и участии реагентов, что приводит к инициированию побочных реакций и образованию отходов.

В отличие от традиционных химических, физические способы воздействия, базирующиеся на использовании радиационных технологий, не требуют применения агрессивных реагентов и нагрева материала до высоких температур. К наиболее изученным методам радиационной обработки древесины можно отнести ее облучение потоками жестких γ -квантов и ускоренных электронов. Однако в реальных технологиях эти воздействия не нашли широкого применения из-за присущих им высокой энергоемкости процессов, ограниченности диапазона изменения условий обработки, сложности и дороговизны ускорительной техники, особенностей эксплуатации промышленных радиоизотопных источников γ -излучения.

Цель настоящей работы – используя нетрадиционные воздействия на древесину потоков частиц, создать достаточно простую плазмохимическую технологию, обеспечивающую увеличение коэффициента полезного использования древесины, повышение экологической безопасности ее последующей переработки, например, в гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности.

Нами предложено вместо радиационных процессов модификации древесины использовать радикально-термическое воздействие на материал, в котором сочетается умеренный нагрев образца (порядка нескольких десятков градусов) с плазмохимической обработкой химически активными ионами и радикалами, нарабатываемыми в сверхравновесных концентрациях в некоторых типах низкотемпературной плазмы, например в газоразрядной или инжекционной [1, 2, 8, 9]. Наиболее подробно нами изучена модификация древесины в низкоэнтальпийной электронно-пучковой плазме (ЭПП), генерируемой при инжекции электронного пучка (ЭП) в газообразную среду. Эксперименты по радикально-термической обработке древесины проведены на установке кафедры физической механики МФТИ. Принципиальная схема установки представлена на рисунке.



Принципиальная схема установки для плазмохимической обработки древесины и ее компонентов: 1 – электронно-лучевая пушка; 2 – электронный пучок; 3 – вакуумная камера; 4 – выводное устройство; 5 – рабочая камера; 6 – зона энерговыведения пучка; 7 – натекающий газ; 8 – вакуумный коллектор; 9 – форвакуумные насосы; 10 – высоковакуумный насос; 11 – высоковольтный источник питания; 12 – кабель; 13 – изолирующий ввод

Сфокусированный цилиндрический ЭП (2), формируемый размещенной в высоковакуумной камере 3 электронно-лучевой пушкой 1, через выводное устройство 4 инжектируется в заполненную плазмообразующим газом рабочую камеру 5. При прохождении через плазмообразующий газ ЭП рассеивается в упругих столкновениях, а энергия быстрых электронов постепенно расходуется в различных неупругих процессах взаимодействия со средой (ионизация, возбуждение атомов и молекул, диссоциация и др.). В результате формируется плазменное облако 6, имеющее характерную каплевидную форму. Часть энергии ЭП идет на нагрев плазмообразующей среды и обрабатываемых образцов, если таковые помещены в плазменное облако. Образцы могут представлять собой либо компактные твердые тела, либо частицы мелкодисперсного аэрозоля.

Свойства ЭПП и геометрия плазменного облака определяются параметрами ЭП (энергией электронов E_b , полным током пучка I_b и плотностью тока j_b), свойствами плазмообразующей среды (химическим и фазовым составом, давлением P_m , температурой T). Эффект обработки зависит также от места расположения образца в плазменном облаке, продолжительности обработки, влажности материала, размеров образца, а для образцов в виде аэрозоля – плотностью аэрозоля и размерами отдельных его частиц [4, 7].

В условиях проводившихся экспериментов ($E_b = 10 \dots 40$ кэВ, $I_b = 10^{-3} \dots 10^{-1}$ А, $j_b = 10^2 \dots 10^5$ А/м²) при транспортировке ЭП в разреженном газе (с давлением менее 1 мм рт. ст.) пучок рассеивается незначительно: на всей длине рабочей камеры плазменное облако представляет собой тонкий шнур с высокой плотностью энергии. Хотя в этих условиях концентрации активных частиц плазмы высоки, эффект плазменной модификации сводится к обычному пиролизу древесины в ограниченной по площади зоне воздействия ЭП на образец. При давлениях плазмообразующего газа более 100 мм рт. ст. энергия ЭП практически полностью идет не на наработку ионов и радикалов, а на нагрев газа. В этих условиях состав плазмы приближается к равновесному, а концентрации химически активных частиц, участвующих в модификации древесины, уменьшаются. В результате, эффекты, связанные с плазмохимическими процессами, практически не наблюдаются на фоне изменений свойств образца, вызванных тепловыми процессами.

Нами экспериментально установлено, что для осуществления контролируемой деструкции древесины за счет радикально-термических процессов в ЭПП оптимальным является диапазон давлений 5 ... 30 мм рт. ст. В этих условиях в объеме плазменного облака происходит интенсивная наработка ионов и радикалов, которые, диффундируя на поверхность и в глубь образца, вызывают изменения макромолекул компонентов древесины и древесной матрицы. Нагрев поверхности образца, находящейся в контакте с ЭПП, существенно влияет на результат обработки через температурные зависимости констант скоростей плазмохимических реакций. Нельзя полностью исключить и прямую деструкцию полимерных молекул за счет бомбардировки образца быстрыми электронами, значительное количество кото-

рых присутствует в плазменном облаке. Однако контрольные эксперименты по облучению древесины электронами с энергиями 20 ... 40 кэВ в условиях глубокого вакуума (когда плазмохимические процессы исключены) показали, что β -облучение дает вклад не более 2 ... 5 % в интегральный эффект модификации.

Большая эффективность плазмохимических процессов объясняется на несколько порядков (в 10–10 000 раз) большей концентрацией вторичных активных частиц плазмы по сравнению с концентрацией породивших эти частицы первичных электронов. Иными словами, для достижения заданной степени модифицирования древесины, задействовав радикально-термические механизмы в ЭПП, можно использовать ЭП мощностью, в сотни раз меньшей, чем в случае непосредственной обработки быстрыми электронами.

Важным фактором обработки является состав плазмообразующего газа. У целлюлозы, обработанной ЭПП с плазмообразующим газом кислородом, содержание карбоксильных групп в 2 раза больше, чем у целлюлозы, обработанной ЭПП в парах аммиака и воды [4]. Показано, что плазма водяного пара обладает высокой деструктирующей способностью по отношению к древесине и простотой в применении.

Другой важный фактор обработки – влажность материала. Содержание водорастворимых веществ у образцов с 7 %-й влажностью возрастало с 2 до 10 % и более, в то время как у образцов с 70 %-й влажностью оно оставалось на исходном уровне. Вероятно при большей влажности энергия плазмы расходуется не на деструкцию древесины, а на нагрев и фазовый переход воды. Поэтому дальнейшие исследования нами проведены с воздушно сухими образцами.

Определение глубины проникновения ЭПП в древесину

С поверхности обработанных плазмой брусков из древесины осины последовательно срезали слои толщиной (30 ± 5) мкм. Для каждого слоя определяли содержание водорастворимых веществ (ВР) в процентах и записывали ИК-спектры. Экспериментально установлено, что содержание водорастворимых веществ убывает обратно пропорционально расстоянию от поверхности (в интервале 0,03 ... 0,80 мм) и выражается зависимостью

$$ВР = 1,66 + 1,65/x,$$

где x – глубина срезанного слоя обработанной древесины, мм.

На глубине 0,70...0,80 мм и более ВР в слое практически не отличается от ВР в исходной древесине. Изменения в ИК-спектрах наблюдаются на глубине до 1,50 мм.

Другие исследователи, обрабатывая древесину γ -лучами или ускоренными электронами ($E > 0,5$ МэВ), измеряли потери энергии γ -квантов или электронов при их прохождении сквозь обрабатываемые образцы, т. е. учитывали только ту часть затраченной энергии, которая была поглощена материалом. Применить такой метод при использовании ЭПП невозможно, так как глубина воздействия плазмы ограничена поверхностным слоем дре-

весины. В табл. 1 представлены расчетные данные о всей энергии, затраченной на получение плазменного облака.

Таблица 1

**Расчетные энергозатраты на деструкцию древесины, обработанной ЭПП
в различных зонах мишени**

Зона	1	2	3	4	5
Расположение зоны, мм	0...44	44...63	63...77	77...89	89...100
Энергозатраты, МДж/кг	2,43	1,17	0,81	0,63	0,52

Примечание. Нумерация зон идет от центра к периферии.

*Определение химического состава обработанной ЭПП
древесины и ее компонентов*

Для исследования был взят образец осиновых опилок с размерами частиц от 0,090 до 0,315 мм. Химический состав древесины, обработанной ЭПП в различных зонах мишени, определен по известным методикам [5]. Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Состав древесины (% от абс. сухой древесины), обработанной ЭПП
в различных зонах мишени**

в различных зонах мишени										
Зона	Эфирорастворимые вещества	Водорастворимые вещества				Вещества, извлекаемые кислотами				Лигнин
		Всего	РВ		Доля COOH-групп	2 %-й соляной		72 %-й серной		
			до инверсии	после инверсии		Всего	РВ	Всего	РВ	
1	1,7	20,4	3,8	10,0	0,9	49,1	32,1	87,4	72,5	12,6
2	-	18,1	2,4	-	0,9	46,9	-	86,6	-	13,4
3	-	16,1	2,3	6,0	0,7	46,2	28,4	86,4	67,1	13,6
4	-	15,9	3,2	5,4	0,7	45,3	27,0	86,0	65,7	14,0
5	1,8	16,1	0,5	6,8	0,9	46,0	28,3	86,1	68,1	13,9
ИО	1,7	3,1	0,0	0,0	0,1	37,0	25,6	85,1	72,3	14,9

Примечание. РВ - редуцирующие вещества; ИО – исходный образец.

При пересчете полученных данных после удаления водорастворимых веществ из древесного остатка, можно отметить, что его состав практически не отличается от состава исходной древесины. Параллельно по количеству пентозанов было определено содержание в древесине гемицеллюлоз до и после экстракции пентозанов водой. После обработки ЭПП образец из зоны 3 содержал 12,4 %. После удаления водорастворимой части обработанной древесины доля пентозанов в остатке составила 12,5 %. Таким образом, подобно трудногидролизуемым полисахаридам и лигнину гемицеллюлозы переходят в водорастворимое состояние пропорционально их содержанию в древесине. Поэтому в исследуемом диапазоне удельных энергозатрат ЭПП не проявляет селективности по отношению к различным компо-

нентам древесины и переводит в водорастворимое состояние как лигнин, так и углеводы.

Исследование воздействия ЭПП на целлюлозу

Для оценки изменений, происходящих в целлюлозе при воздействии ЭПП, были исследованы образцы лиственной сульфатной бленой целлюлозы марки ЛБ-0. Необходимо отметить, что после обработки целлюлоза теряла волокнистую структуру и становилась хрупкой.

В образцах определяли (табл. 3) содержание водорастворимых веществ, в остатке после водной экстракции – щелочерастворимых веществ (5 %-й раствор NaOH), в остатке после щелочной экстракции – вискозиметрическим методом степень полимеризации (СП).

При анализе ИК-спектров целлюлозы, обработанной ЭПП (образец 3,7 МДж/кг), и водорастворимых веществ, выделенных из этого образца, необходимо отметить, что по составу полос спектры в целом идентичны, однако в спектре водорастворимых веществ наблюдается резкое увеличение интенсивности полосы 1600 см^{-1} , которая соответствует колебаниям С=О-связей карбоксильных групп. Это свидетельствует о том, что водорастворимая часть целлюлозы содержит больше карбоксильных групп, чем обработанная целлюлоза до экстракции.

Водорастворимые вещества, выделенные из целлюлозы после обработки ЭПП, представляют собой фрагменты целлюлозы с низкой молекулярной массой, содержащие большое количество карбоксильных и карбонильных групп.

Таблица 3

Состав сульфатной лиственной бленой целлюлозы, обработанной ЭПП

Доза обработки, МДж/кг	Водорастворимые вещества, %	Щелочерастворимые вещества, %	Остаток после водной и щелочной экстракции	
			Всего, %	СП
3,7	77,4	100,0	0,0	-
1,9	22,7	45,3	54,7	460
0,0	1,8	5,0	93,2	960

Исследование воздействия ЭПП на лигнин

Исследования проводили на препарате диоксанлигнина березы. Изменение состава лигнина определяли методами химического анализа, эксклюзионной хроматографии, УФ- и ИК-спектроскопии (табл. 4). При удельных энергозатратах на обработку 3,7 МДж/кг в лигнине снижается количество ароматических структур (в ИК-спектрах уменьшается интенсивность полосы поглощения 1500 см^{-1} , в УФ-спектрах – 280 нм).

Обработка ЭПП лигнина, выделенного из древесины, практически не влияет на размер макромолекул. При этом не наблюдается отщепления от

макромолекул мономерных фрагментов, о чем свидетельствуют практически идентичные хроматограммы обработанного и исходного лигнинов.

Таблица 4

**Химический состав лигнина, обработанного ЭПП
в различных зонах мишени**

Зона	Содержание функциональных групп, %		
	—ОСН ₃	—СООН	—ОН _ф
1	13,7	7,6	2,06
2	15,3	6,9	—
3	14,8	5,9	—
4	15,3	5,2	—
5	16,9	4,2	3,01
Исходный образец	19,0	4,5	2,98

*Оценка возможности применения компонентов древесины
обработанных ЭПП в производстве бумаги*

После обработки ЭПП полисахариды древесины по своим свойствам во многом напоминают гемицеллюлозы (растворимость в щелочах и низкая молекулярная масса). Исследователи давно обратили внимание на то обстоятельство, что древесные целлюлозы, с большим (до определенного предела) содержанием гемицеллюлоз быстрее размалываются и имеют большую прочность, чем целлюлозы с низким содержанием гемицеллюлоз. Ранее нами изучено поведение обработанных ЭПП препаратов в качестве связующих веществ при производстве бумаги [6].

При введении в качестве добавок веществ, полученных из целлюлозы и древесины обработкой ЭПП, значительно снижаются энергозатраты на размол (до 17 %). Добавка их ведет себя как инертный наполнитель, ухудшая прочность бумаги. При добавлении 1 % этих веществ сопротивление продавливанию увеличивается на 36...46 %, разрывная длина имеет тенденцию к улучшению, незначительно снижается сопротивление раздиранию. При введении более 5 % экономия энергии при размоле составляет 0,10 МДж/кг целлюлозы, что превышает энергозатраты, связанные с обработкой ЭПП и измельчением древесины, на 0,02 МДж/кг.

*Оценка возможности применения
плазмохимической предобработки древесины в гидролизном производстве*

Гидролитическую деструкцию предварительно обработанной ЭПП древесины можно проводить разбавленными кислотами при температуре 100 °С и малом гидромодуле по бессточной схеме, принцип которой предложен в работе [3]. Особенностью этой схемы является «гемицеллюлозный» гидролиз при низкой температуре (менее 130 °С). При этом вместо фурфурола, оксиметилфурфурола, лигногуминовых и других веществ, ингибирующих рост дрожжей, из углеводов древесины (кроме моносахаридов) обра-

зуются различного рода кислоты, легкоусваиваемые дрожжами. Схема позволяет практически полностью исключить сброс сточных вод и вредных парогазовых выбросов. Однако выход товарных дрожжей на тонну древесины, по сравнению с традиционным перколяционным методом, несколько ниже. Применение в этой схеме предобработки древесины ЭПП позволит повысить долю извлекаемых из древесины и ассимилируемых микроорганизмами органических веществ и существенно увеличить выход дрожжей (с 130 до 440 кг/т древесины при гидромодуле 2 и концентрации серной кислоты 5 %), тем самым резко сократить удельные затраты на их производство при повышении коэффициента использования древесного сырья.

Можно отметить следующие преимущества предлагаемой технологической схемы перед существующими промышленными схемами: уменьшение температуры гидролиза до 100 °С приводит к упрощению технологического оборудования и предотвращает разложение образующихся моносахаридов; исключение перколяции и применение тонко измельченной древесины позволяет проводить гидролиз при малом гидромодуле (1–3 вместо 16–18). При этом энергозатраты на нагрев варочной кислоты можно снизить в 28 раз, а расход серной кислоты и нейтрализующих реагентов – в 2,5 раза; дополнительные энергозатраты, связанные с сушкой, измельчением и обработкой опилок ЭПП, полностью компенсируются снижением других затрат.

Выводы

1. Обработка ЭПП в диапазоне 0,5...2,4 МДж/кг отличается отсутствием селективности по отношению к различным компонентам древесины, в результате чего лигнин, гемицеллюлозы и целлюлоза переходят в водорастворимое состояние в количестве, пропорциональном их содержанию в древесине.
2. Препарат целлюлозы, выделенный из древесины, более подвержен деградации, чем целлюлоза в древесной матрице; препараты лигнина проявляют относительную устойчивость к плазмохимическому воздействию.
3. Метод обработки древесины ЭПП может быть применен в гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Александров И.В., Васильев М.Н., Гаврилов Ю.А. Закономерности взаимодействия электронно-пучковой неравновесной плазмы с целлюлозой // Журн. приклад. химии. - 1996. - Т. 69, вып. 12. - С. 2042 - 2047. [2]. Бычков В.Л., Васильев М.Н., Коротеев А.С. Электронно-пучковая плазма. Генерация, свойства, применение. - М.: МГОУ, АО «Росвузнаука», 1993. - 168 с. [3]. Гельфанд Е.Д. Концепция создания экологически безопасных гидролизных производств // Лесн. журн. - 1995. - № 2-3. - С. 147-150. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Модифицирование целлюлозосодержащих материалов в электронно-пучковой плазме / М.Н. Васильев, Д.А. Сухов, О.М. Соколов и др. // Лесн. журн. - 1997. - № 6. - С. 83-88. - (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Оболенская А.В. и др. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. - М.: Лесн. пром-сть, 1965. - 411 с. [6]. Чухчин Д.Г., Казаков Я.В. Исследование возможности

применения в производстве бумаги компонентов древесины, обработанных электронно-пучковой плазмой // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр./АГТУ. - 1997. - Вып.3. - С. 82-84. [7]. Чухчин Д.Г., Соколов О.М., Васильев М.Н. Взаимодействие электронно-пучковой плазмы (ЭПП) с древесиной // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр./АГТУ. -1996.-Вып.1. -С. 85-88. [8]. Электронно-лучевые технологии в гетерофазных средах / И.В.Александров, В.Л.Бычков, М.Н. Васильев, Ю.В.Гаврилов // I Межд. конф. по электромеханике и электротехнологии, Суздаль, 12 - 16 сент. 1994 г. - Ч.1. - С. 140. [9]. The application electron beam treatment for surface hardening of titanium alloys / A.A.Shipko , I.L.Pobol, I.J.Urban, M.N.Vasiliev // 5-th Int.Conf. on Welding and Melting by Electron and Laser Beams, La Baule, France, 14 -18 June 1993. - Vol. 2. - P.513 - 519.

Поступила 22 апреля 1999 г.

УДК 676.2.017

Н.В. КОРЯКОВСКАЯ

Коряковская Наталья Владимировна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский технологический институт, кандидат технических наук, заведующая кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет 4 печатных труда в области исследования оптических свойств бумажного полотна.



РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ-ЭТАЛОНОВ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА

Приведены варианты построения моделей-эталонов структурной неоднородности бумажного полотна, реализуемые путем численного моделирования на ЭВМ. Показаны преимущества их использования в задачах выбора эффективных количественных оценок просвета бумаги.

Variants of creating the standards for structural heterogeneity of paper sheet are given, being realized through digital modelling on PC. The advantages of their use are shown in the tasks of choosing the efficient quantitative estimates of the look-through paper.

Основная причина неудач в разработке количественных методов оценки структурной неоднородности бумажного полотна заключается, по-

видимому, в оперировании лишь с реальными образцами бумаги. До настоящего времени структурную неоднородность полотна оценивали субъективно, экспертным путем. Однако исследования психофизиологических

механизмов зрения показали, что данные оценки существенно зависят от общей оптической плотности и освещенности исследуемого объекта. Так, например, при одной и той же структурной неоднородности, но при различной освещенности, один и тот же образец бумаги оценивается по-разному: при относительно малой или очень большой освещенности он представляется более однородным, чем при средней. Подобное наблюдается в случае, когда при одной и той же структуре бумажного листа меняется его толщина или поверхностная плотность. Таким образом, использование метода экспертных оценок для характеристики качества просвета бумаги нельзя считать эффективным.

Один из путей преодоления указанных трудностей заключается в создании физических эталонов структурной неоднородности. Однако это достаточно трудная и дорогостоящая задача, требующая разработки технологии изготовления образцов с различными пространственными структурами и оптическими плотностями участков.

Большой и нерешенной к настоящему времени проблемой является создание пространственных структур с заданными свойствами, что, по-видимому, связано с методами контроля неоднородности бумажного полотна по длине только в одной точке.

Появление высокоточных оптических средств измерения, в частности систем технического зрения, позволяющих получать пространственное изображение объекта, а также использование быстродействующих ЭВМ, и новых информационных технологий предопределили пути решения данной задачи.

Основные преимущества создания на ЭВМ моделей-эталонов структурной неоднородности: снижение затрат; возможность создания практически неограниченного числа эталонов без разработки технологии их изготовления (кроме «технологии программирования»); большая наглядность по сравнению с математическими моделями, что делает эти эталоны доступными операторам и технологам; воспроизводимость.

Многими исследователями предлагались количественные методы оценки просвета бумаги, но ни один из них не был включен в стандарты. Основная причина кроется в том, что данный показатель важен не сам по себе, а важна его связь как с параметрами технологического процесса, так и с потребительскими свойствами бумаги. Установление подобных зависимостей необходимо для создания системы управления процессом формования бумажного полотна, а также для разработки неразрушающих методов контроля потребительских свойств бумаги.

Выбор наиболее эффективного метода количественной оценки неоднородности (если не установлены закономерности) можно производить на моделях-эталонах. При их построении целесообразно двигаться от простого к сложному (с учетом простоты исходной формулировки задачи и возможности ее решения).

Прежде всего дифференцируем основные свойства объекта с точки зрения неоднородности структуры. При рассмотрении листа бумаги в про-

ходящем свете отчетливо видны более плотные участки – флокулы и менее плотные – «поры». Хаотичное расположение флокул и пор обуславливает неравномерную структуру листа. На первом этапе разработки была выбрана достаточно простая модель решеточной структуры типа «шахматная доска».

Среди многообразия предлагаемых различными авторами оценок показателей просвета можно выделить две основные группы. К первой группе относятся показатели, характеризующие колебания оптической плотности бумажного листа относительно ее среднего значения, ко второй – характеризующие топологию и размер флокул и пор. Подобная классификация показателей делает очевидным тот факт, что модель «шахматная доска» может быть полезной лишь для исследования второй группы оценок.

При изменении размеров (и формы) клеток «шахматной доски» (флокул и пор) получены достоверные результаты для большинства существующих методов. Однако не все оценки «сработали» при незначительной модификации модели, в частности при ее повороте на 90° , т. е. когда клетки представлены в виде ромбов. Инвариантным относительно поворота оси симметрии модели оказался такой показатель, как коэффициент формы, который предложено вычислять по формуле [3]

$$a = \frac{mS_{\phi}}{P_{\phi}}, \quad (1)$$

где m – коэффициент, зависящий от выбранной в качестве модели осредненной формы неоднородностей (при представлении неоднородностей (флокул или пор) в виде квадрата или круга $m = 4$);

S_{ϕ} и P_{ϕ} – периметр и площадь флокул на рассматриваемой области образца бумаги.

Авторы работы [1] предлагают использовать два показателя оптической неоднородности бумаги. Такой подход позволяет получать информацию как о среднем размере неоднородностей, так и о контрастности бумаги, отчетливо наблюдаемой в проходящем свете. Однако для исследования первой группы оценок эта модель не пригодна.

За точки отсчета при моделировании оптических плотностей участков эталона были приняты известные эталоны оптической плотности, опробованные в ряде задач оптики.

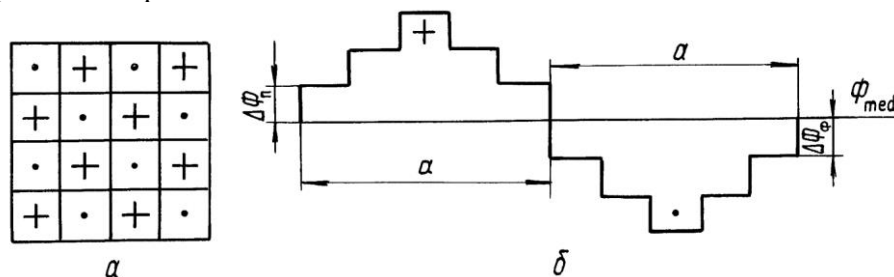


Иллюстрация процесса формирования модели-эталона структурной неоднородности бумажного полотна

В качестве исходных при построении пространственной структуры были выбраны точки, соответствующие центрам флокул (обозначено точками на рисунке *а*) и пор (обозначено крестиками на рисунке *а*). Для простоты рассматривали регулярные структуры, когда размеры флокул и пор совпадают и равны первому параметру поля *a*. Следующий шаг заключается в присвоении модели-эталону определенной контрастности. Пусть границы клеток имеют яркость Φ_{med} , равную медиане функции, характеризующей прошедший через лист бумаги световой поток. Отметим, что функция светопропускаемости $\Phi(x, y)$ [1] определяет зависимость светового потока, прошедшего через лист с координатами *x, y* исследуемого участка образца. В качестве характеристики контрастности используют выборочное среднее квадратическое отклонение светового потока.

Как показали экспериментальные проверки [1], функция светопропускаемости является реализацией стационарного эргодического случайного процесса с нормальной функцией распределения. На рисунке *б* проиллюстрировано представление структурной неоднородности в выбранной пространственной модели. Высота ступени соответствует перепаду яркости на флокуле $\Delta\Phi_{\text{ф}}$ и поре $\Delta\Phi_{\text{п}}$ (второй и третий параметры поля, которые могут задаваться в виде векторов значений). При таком представлении неоднородностей центр поры будет иметь максимальное значение яркости:

$$\Phi_{\text{max}} = \Phi_{\text{med}} + \sum_1^k \Delta\Phi_{\text{п}}, \quad (2)$$

а центр флокул – минимальное:

$$\Phi_{\text{min}} = \Phi_{\text{med}} - \sum_1^n \Delta\Phi_{\text{ф}}, \quad (3)$$

где *k, n* – число возможных перепадов яркости.

Углы наклона пирамид отражают скорость изменения (градиент) оптической плотности на элементах неоднородности.

Основным преимуществом предлагаемой модели является возможность целенаправленного изменения как линейного размера флокул, так и контрастности «исследуемого образца».

Для оценки адекватности выбранной модели реальным объектам был разработан метод идентификации распределения волокнистого вещества в объеме бумажного листа. Суть его заключается в выявлении зависимости средних линейных размеров неоднородностей от величины оптической плотности. Алгоритм обработки изображения включает последовательность его сегментаций с изменением порога яркости от минимального Φ_{min} до максимального Φ_{max} значения функции светопропускаемости и вычисления средних размеров выделяемых участков.

Эксперименты проводили как на моделях, так и на образцах (14 шт.) различных видов бумаги.

Полученные в результате этого кривые были аппроксимированы квадратическими функциями [2], при этом коэффициент множественной

корреляции для всех исследованных образцов бумаг превышал 0,9, а для моделей-эталонов был равен 1,0.

На основании анализа полученных данных были сделаны следующие выводы.

1. Принятая эталонная структура адекватно отражает усредненную форму оптической неоднородности.

2. Подтверждена правомерность выбора медианы функции яркости в качестве порога на этапе сегментации изображения при выделении на нем флокул и пор.

3. Флокулы занимают около 50 % общей площади поверхности листа.

4. Выявленная закономерность позволяет ввести интегральный показатель оптической неоднородности [2], чувствительный к изменению как контрастности объекта, так и среднего линейного размера флокул.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Бойков С.П. и др. Бумага. Неоднородность просвета. Номенклатура показателей: Отраслевой стандарт. - Л.: ЛТА, 1987. - 43 с. [2]. Коряковская Н.В. Контроль неоднородности просвета бумажного полотна с помощью системы технического зрения: Дис. ... канд. техн. наук.- СПб, 1995.- 150 с. [3]. Коряковская Н.В., Леонтьев В. Н. Выбор оценок неравномерности бумажного полотна на просвет // Машины и аппараты ЦБП: Межвуз. сб. науч. тр. – СПб: СПб ГТУРП. - 1995. - С.91-94.

Поступила 26 февраля 1997 г.

УДК 630*863.5

Е.В. НОВОЖИЛОВ

Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета, лауреат премии им. М.В. Ломоносова Архангельской областной комсомольской организации. Имеет свыше 100 научных трудов в области технологии целлюлозы и переработки сульфитных щелоков.



ОЦЕНКА БИОРЕСУРСА СУЛЬФИТНЫХ ЩЕЛОКОВ КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Рассмотрены варианты оценки предельного выхода дрожжей из сульфитных щелоков различных типов варок.

The alternatives of maximum output of yeast are analyzed produced from sulfite liquors of different cooking types.

В решении задачи рационального и комплексного использования компонентов сульфитных щелоков важное место принадлежит биохимической переработке. Биохимические цеха имеются на большинстве сульфит-целлюлозных заводов России. Выпуск продукции – этанола и кормовых дрожжей – в течение многих лет сохраняется практически на одном уровне [2].

Состав органической части различных сульфитных щелоков зависит от породы древесины, способа варки и выхода волокнистого полуфабриката [5, 8]. Органические вещества, входящие в состав щелоков, можно разделить на следующие группы:

углеводы (12 ... 42 %), в том числе моносахариды (сахара) и олигосахариды сульфитного и бисульфитного щелоков, щелока двухступенчатой варки, а также гемицеллюлозы нейтрально-сульфитного щелока;

органические кислоты (11 ... 38 %), в том числе летучие органические кислоты (муравьиная, уксусная, пропионовая), нелетучие оксикислоты (альдоновые, уроновые и углеводсульфоновые);

лигносульфонаты (30 ... 66 %);

экстрактивные вещества, фурфурол, цимол, метанол, различные альдегиды и другие соединения (1 ... 3 %).

Две первые группы органических веществ, за исключением гемицеллюлоз, представлены низкомолекулярными соединениями и относятся к биологически легкоокисляемым компонентам в отличие от лигносульфонатов, которые окисляются с большим трудом и в течение длительного периода времени. Вещества, входящие в четвертую группу, присутствуют в щелоках в небольшом количестве, но могут оказать существенное влияние на их последующую переработку.

Условимся под биоресурсом сульфитных щелоков понимать суммарное содержание в них органических веществ, используемых микроорганизмами типа дрожжеподобных грибов в качестве источника углеродного питания. Определение биоресурса сульфитных щелоков важно как с точки зрения рационального использования содержащихся в них ценных компонентов, так и с точки зрения снижения сброса загрязнений при производстве волокнистых полуфабрикатов сульфитными способами.

Действующая технология была предназначена для биохимической переработки щелока кислой сульфитной варки. В кислой среде идет глубокий гидролиз легкогидролизуемых полисахаридов, углеводы щелока представлены практически полностью сахарами, которые легко ассимилируются дрожжами. Одновременно дрожжи достаточно активно усваивают уксусную кислоту, доля которой в составе летучих органических кислот сульфитных щелоков составляет примерно 90 % [7, 8].

Для других компонентов из группы легкоокисляемых веществ (олигосахаридов, гемицеллюлоз, оксикислот) требуется предварительная подготовка. Предлагались различные методы (инверсия, озонирование), использование которых доказало возможность такой трансформации этих соединений, что они становились доступными для усвоения микроорганизмами в процессе биохимической переработки сульфитного щелока.

Биоресурс определяется составом сульфитного щелока. В качестве исходных данных для его расчета могут служить сумма сахаров и уксусной кислоты; сумма углеводов и летучих органических кислот; сумма углеводов и органических кислот (летучих, уоновых, альдоновых).

Вариант 1. Определение биоресурса сульфитных щелоков по сумме сахаров и уксусной кислоты.

По ассимиляции сахаров и уксусной кислоты, определяемых методами газо-жидкостной хроматографии, ведут контроль процесса биохимической переработки на австрийской фирме «Фогельбуш». Применение этого способа требует соответствующей аппаратуры.

Вариант 2. Определение биоресурса сульфитных щелоков по сумме углеводов и летучих органических кислот.

В биохимическом производстве контроль за содержанием сахаров в щелоке ведут по РВ (как по общим, так и по сахарным РВ, доля несакхарных РВ в кислом сульфитном щелоке составляет 10 ...15 % от общих [7]). Метод определения сахарных РВ из-за значительной погрешности [6] не может быть рекомендован в качестве основного. При расчете биоресурса по данному варианту целесообразно использовать общепринятый метод анализа щелока на общие РВ после предварительной инверсии олигосахаридов до моносахаридов, что позволяет определить биоресурс щелока конкретного предприятия, а также дает возможность сравнивать с данными других заводов в сопоставимых условиях.

В табл. 1 приведены результаты анализа различных сульфитных щелоков и сульфитно-спиртовой барды нескольких предприятий отрасли, в табл. 2 – щелоков после варки целлюлозы высокого выхода и полуцеллюлозы. Эти образцы щелоков представляют все разновидности сульфитной варки, применяемые в России, с диапазоном выхода волокнистого полуфабриката 43 ... 80 % от древесного сырья. В основном это щелока промышленных варок, полученные по режимам указанных ЦБК. Часть щелоков была отобрана в ходе производственных испытаний и внедрения бисульфитного способа варки*. Анализы щелоков выполнены нами, за исключением двух образцов Камского ЦБК (сульфитного щелока и щелока двухступенчатой варки, данные для которых были взяты из работы [1]). Результаты анализа щелоков были использованы для оценки их биоресурса. Выход дрожжей на барде и щелоках по нормам технологического проектирования составляет соответственно 40 и 45 % от общих РВ.

* Варки проведены сотрудниками ЦНИИБа под руководством М.Г. Мутовиной.

Таблица 1

Результаты анализа и оценка биоресурса сульфитных щелоков и барды

Целлюлозно-бумажный комбинат	Выход целлюлозы, %	Основание варочного раствора	Плотность, кг/м ³	Массовая доля сухих веществ, %	Зольность, %	Массовая доля , %			Выход, кг/т целлюлозы		
						общих РВ		летучих органических кислот	общих РВ	углеводов и летучих органических кислот	БПК ₅
						до инверсии	после инверсии				
Сульфитный щелок											
Светогорский	43	NH ₄	1025	6,82	2,90	2,01	2,15	0,37	354	427	329
Котласский	46	Na	1046	10,60	13,2	3,10	3,30	0,33	348	408	292
	46	NH ₄ – Na	1046	11,52	5,56	3,25	3,45	0,52	309	377	292
Архангельский	48	Na	1040	9,95	12,8	2,78	2,90	0,49	305	372	269
Камский	48	Na	1050	12,60	10,3	3,55	4,07	0,47	299	383	269
Таллиннский	50	NH ₄	1029	7,73	1,60	2,35	2,35	0,50	268	324	248
Щелок двухступенчатой бисульфит-сульфитной варки											
Камский	50	Na	1050	12,30	14,9	2,40	2,75	0,59	202	281	248
Сульфитно-спиртовая барда											
Котласский	46	Na	1043	13,20	17,2	0,91	1,01	0,40	111	171	213
Архангельский	48	Na	1032	8,10	15,4	1,14	1,34	0,41	107	174	196

Таблица 2

Результаты анализа и оценка биоресурса щелоков после варки целлюлозы высокого выхода и полуцеллюлозы

Целлюлозно-бумажный комбинат	Выход целлюлозы или полуцеллюлозы, %	Основание варочного раствора	Плотность, кг/м ³	Массовая доля сухих веществ, %	Зольность, %	Массовая доля , %			Выход, кг/т целлюлозы	
						общих РВ		летучих органических кислот	общих РВ	углеводов и летучих органических кислот
						до инверсии	после инверсии			
Бисульфитный щелок после варки целлюлозы										
Камский	51	Na	1055	12,33	24,5	1,73	2,53	0,42	157	268
Красноярский	53	Mg	1056	11,79	11,2	1,52	2,04	0,47	113	187
	53	Mg	1057	12,23	9,0	1,69	2,16	0,46	118	184
Кондопожский	56	Na	1055	11,18	26,5	1,77	2,70	0,25	149	248
Выборгский	56	Na	1056	12,10	30,3	2,06	2,80	0,26	169	251
Щелок двухступенчатой бисульфит-сульфитной варки										
Соликамский	56	Na	1029	6,87	21,0	1,41	1,72	0,30	174	250
Бисульфитный щелок после варки полуцеллюлозы										
Красноярский	62	Mg	1040	8,83	10,5	1,00	1,65	0,61	68	154
	69	Mg	1050	9,25	17,5	0,55	1,78	0,55	29	122
Нейтрально-сульфитный щелок										
Архангельский	75	Na	1026	5,84	39,9	0,30	1,03	1,09	24	177
Котласский	80	Na	1027	6,13	41,4	0,60	1,10	1,05	37	132

Таблица 3

Реализация биоресурса сульфитных щелоков и барды при действующей технологии биохимической переработки

Целлюлозно-бумажный комбинат	Выход целлюлозы, %	Выход общих РВ	Выработка товарных дрожжей*	Биоресурс по сумме углеводов и летучих органических кислот		Биоресурс по БПК ₅	
		кг/т целлюлозы	Потенциальная выработка дрожжей, кг/т целлюлозы	Реализация ресурса, %	Потенциальная выработка дрожжей, кг/т целлюлозы	Реализация ресурса, %	
Сульфитный щелок							
Светогорский	43	354	155	194	80	272	57
Котласский	46	348	152	179	85	241	63
	46	309	135	165	82	241	56
Архангельский	48	305	134	163	82	222	60
Камский	48	299	131	167	78	222	59
Таллиннский	50	268	117	142	82	205	57
Сульфитно-спиртовая барда							
Архангельский	48	107	42	68	61	176	24
Котласский	47	111	43	66	65	162	27
Бисульфитный щелок после варки целлюлозы							
Камский	51	157	69	117	59	177	39
Красноярский	53	111	48	82	59	164	29
Кондопожский	56	149	65	108	60	145	45
Выборгский	56	169	74	109	68	145	51
Щелок двухступенчатой бисульфит-сульфитной варки							
Соликамский	56	174	76	109	70	145	52
Камский	50	202	88	129	72	184	48

* При выходе товарных дрожжей для барды и щелоков соответственно 40 и 45 % от общих РВ.

Выход дрожжей от летучих органических кислот принят, как и на углеводах, равным 45 % (при выращивании дрожжей на уксусной кислоте в смеси с сахаром (ксилозой) он составляет в среднем 45,6 % [4]), степень отбора сухих веществ щелоков условно принята за 100 %. Выход товарных дрожжей (кг/т воздушно-сухой целлюлозы), которые могут быть получены при переработке щелока по стандартной технологии, рассчитывали по следующей формуле:

$$D = \frac{45 \cdot 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,95 \cdot B_{\text{РВ}}}{100 \cdot 0,90},$$

где 45 – проектный выход дрожжей, %;

0,95 – коэффициент, учитывающий потери летучих органических веществ при варке (5 %);

0,97 – коэффициент, учитывающий потери сухих веществ щелока при подготовке (3 %);

0,95 – коэффициент, учитывающий потери дрожжей при сгущении и сушке (5%);

0,90 – коэффициент, учитывающий влажность товарных дрожжей (10%);

$B_{\text{РВ}}$ – выход дрожжей по РВ на 1 т воздушно-сухой целлюлозы.

Как видно из табл. 3, существует довольно четкое разделение по видам щелоков. В наибольшей степени к использованию в биотехнологии, как и следовало ожидать, готовы органические вещества сульфитного щелока после варки в кислой среде. Их биоресурс может быть в основном (на 78 ... 85 %) реализован при существующей схеме биохимической переработки. Более низкая степень реализации биоресурса щелока двухступенчатой варки (70 ... 72 %) связана с повышенным содержанием олигосахаридов, доля которых по сравнению с сульфитным щелоком увеличивается с 4 ... 7 до 15 ... 22 %. Еще выше доля олигосахаридов в бисульфитном щелоке – 28 ... 52 %. Кроме того, при бисульфитной варке значительная часть сахаров окисляется до альдоновых кислот, что тоже снижает долю углеводов в щелоке. Поэтому степень реализации биоресурса по существующей технологии для щелока бисульфитной варки при выходе целлюлозы 51 ... 56 % оценена в 59 ... 60 %, что на 10 ... 13 % ниже, чем при двухступенчатой варке целлюлозы того же выхода. Сульфитно-спиртовая барда занимает по этой классификации положение рядом с бисульфитным щелоком.

От целлюлозных щелоков резко отличаются полуцеллюлозные щелока: в нейтрально-сульфитном щелоке Котласского ЦБК прирост РВ после инверсии составил 183 %, в щелоке Архангельского ЦБК – 343 %, в щелоке Красноярского ЦБК после бисульфитной варки – 324 %.

При полном использовании в процессе выращивания углеводов и летучих органических кислот выход дрожжей от общих РВ, определенных до инверсии, должен быть следующим: для сульфитного щелока – 55 ... 58 %, для щелоков двухступенчатой варки – 62 ... 65 %, для бисульфитных щелоков после варки целлюлозы – 76 ... 77 %, для сульфитно-спиртовой барды – 62 ... 65 %. В целом по отрасли этот показатель значи-

тельно ниже. На большинстве предприятий, обследованных нами, он меньше нормативного выхода, равного 40 ... 45 % от общих РВ.

Вариант 3. Определение биоресурса щелоков по сумме углеводов и органических кислот.

При расчете биоресурса по этому варианту предлагается учитывать кроме углеводов и летучих органических кислот низкомолекулярные нелетучие органические оксикислоты: альдоновые, уроновые, углеводсульфоновые. Содержание указанных кислот в щелоках зависит от состава сульфитного варочного раствора и выхода полуфабриката. Все они появляются в щелоке в результате реакций деструкции углеводной части древесины, в основном легкогидролизуемых гемицеллюлоз. Для расчета по этому варианту не хватает данных о содержании указанных кислот в различных сульфитных щелоках, особенно в щелоках новых видов варок. Получение недостающих данных – достаточно сложная и трудоемкая задача. Таким образом, оценка биоресурса по данным химического анализа щелоков связана с определенными трудностями.

Загрязненность бражки составляет примерно половину от БПК₅ исходного сульфитного щелока. Для сульфитно-щелочных сред предложено для доочистки бражки использовать биоокисление, успешно применяемое предприятиями гидролизной промышленности. По данным Пермского НИИБ, полученным в лабораторных условиях и в ходе опытно-промышленных испытаний, эта стадия позволяет уменьшить БПК₅ бражки в среднем на 57 % [3] и получить дополнительное количество биомассы. Это подтверждает тот факт, что биоресурс сульфитного щелока при выращивании дрожжей реализован не полностью.

Нами предложена следующая научная концепция о биоресурсе сульфитных щелоков, в рамках которой проведено обобщение данных анализов сульфитных щелоков, предсказан возможный выход кормовых дрожжей и обозначены перспективы его увеличения.

Основные положения концепции.

Биоресурс сульфитных щелоков определяется наличием в них органических соединений, способных ассимилироваться дрожжеподобными грибами в качестве источника углеродного питания (сахара, олигосахариды, частично разрушенные гемицеллюлозы), и продуктов их деструкции (летучие органические кислоты, альдоновые и уроновые кислоты).

Все перечисленные соединения в том или ином количестве содержатся во всех видах сульфитных щелоков, поэтому в принципе возможно вырабатывать дрожжи на любых видах сульфитных щелоков.

В качестве критерия для оценки биоресурса щелока и максимально возможного выхода дрожжей выбран показатель БПК₅, который суммирует всю относительно легко поддающуюся ассимиляции органическую часть щелоков, при этом значение показателя БПК₅ позволяет оценить максимально возможную выработку дрожжей на данном виде сульфитного щелока.

Сопоставление значений БПК₅ щелоков различных варок и различных предприятий с реально достигнутыми на этих предприятиях выходами дрожжей показывает степень реализации биоресурса данного вида сульфитного щелока.

Степень загрязненности бражки по мере совершенствования технологии биохимической переработки должна снижаться пропорционально выходу дрожжей, приближаясь в идеале к уровню, который обеспечивается биологической очисткой с помощью активного ила.

С учетом вышеизложенного нами предложено вести оценку биоресурса сульфитных щелоков на основе показателя БПК₅.

Вариант 4. Оценка биоресурса щелока по показателю БПК₅.

Для этого необходимо знать выход БПК₅ на 1 т целлюлозы и выход биомассы от БПК₅. Для проведения расчетов принято: БПК_{полн} кислого сульфитного щелока – 0,415 г О₂/г органических веществ [7], доля БПК₅ от БПК_{полн} – 0,68 [7]. Известно [7], что при сбраживании кислого сульфитного щелока на спирт показатель БПК₅ снижается на 37 %, при переработке на спирт и дрожжи или только на дрожжи – на 44 ... 54 % (в среднем на 50 %). Тогда при нормативной выработке дрожжей их выход от снятого БПК₅ составит примерно 100 %.

Для органических веществ неуглеводного характера, как это было показано в производственных условиях при изучении процесса биоокисления последрожевой бражки, выход биомассы по отношению к снятому БПК₅ также составлял в среднем около 100 % [9]. Исходя из этих данных, принимаем выход дрожжей по отношению к снятому БПК₅ за 100 % (1 т дрожжей на 1 т снятого БПК₅). С учетом того, что небольшая часть БПК₅ (10 ... 15 %) [7] усваивается с трудом даже микроорганизмами активного ила, для оценки потенциально возможной выработки дрожжей вводим поправочный коэффициент, равный 0,85. Найдем ориентировочный уровень выработки товарных кормовых дрожжей, к которому следует стремиться в условиях производства. Как видно из табл. 3, расхождения между реально достигнутыми в производстве кормовых дрожжей показателями и рассчитанными на их основе значениями биоресурса щелоков по БПК₅ весьма значительны: для кислого сульфитного щелока выработка дрожжей по технологическим нормам составляет 56 ... 63 %, для барды – 24 ... 27 % от потенциально возможной. При полном использовании биоресурса выход дрожжей от общих РВ для кислого сульфитного щелока должен составить около 80 % при степени снятия БПК₅ около 85 %.

Для других разновидностей сульфитных щелоков сведения о величине показателя БПК₅ встречаются крайне редко. При равном выходе целлюлозы в различных способах сульфитных варок количество растворенных органических веществ примерно одинаково, и соотношение между продуктами разрушения углеводов и лигносульфонатами, однако по показателю БПК₅ щелока различаются, так как могут иметь различную степень биохимической деструкции низкомолекулярных органических веществ. Для бисульфитного щелока и щелока двухступенчатой варки степень реали-

зации биоресурса при выращивании по промышленной технологии оценена как 29 ... 52 % от потенциально возможной.

Таким образом, для установления биоресурса сульфитных щелоков рекомендуется применять показатель БПК₅. Его определение следует проводить непосредственно на предприятиях для сред, которые используют при выращивании дрожжей. Однако из-за большой продолжительности этого анализа его целесообразно использовать для оценки биоресурса сульфитных щелоков и загрязненности бражки, а оперативный контроль процесса производства дрожжей осуществлять по показателю общих РВ, поскольку соотношение РВ/БПК₅ для каждого вида щелока примерно постоянно.

Выполнен расчет биоресурса сульфитных щелоков и сульфитно-спиртовой барды по нескольким вариантам. Сравнение расчетных показателей биоресурса щелоков с фактически достигнутыми результатами показало, что имеются значительные резервы для наращивания производства дрожжей. Их выработка потенциально может быть в 1,5–4 раза выше уровня, который достигнут на указанных средах в промышленных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Авдюшева О.И., Попова В.Л., Созыкина М.П. Щелока от варок целлюлозы двухступенчатым и бисульфитным способами // Бум. пром-сть. - 1989. - № 3. - С. 16-18. [2]. Гимашева Р.Г., Сапотницкий С.А. Использование в биотехнологии углеводов ресурса сульфитных щелоков в отрасли // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. - 1989. - № 3. - С. 29 - 31. [3]. Изучение возможности и эффективности микробиологической обработки последрожжевой бражки сульфитного производства / Г.П. Ашихмина, Г.М. Жукова, Л.И. Овчинникова и др. // Использование сульфитных щелоков и предгидролизатов в народном хозяйстве: Сб. науч. тр. - Л., 1985. - С. 47-52. [4]. Крючкова А.П., Воробьева Г.И. Органические кислоты как источник углерода для кормовых дрожжей // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. - 1964. - № 8. - С. 9-11. [5]. Переработка сульфатного и сульфитного щелоков / Б.Д. Богомолов, С.А. Сапотницкий, О.М. Соколов и др. - М.: Лесн. пром-сть, 1989. - 360 с. [6]. Райцева М.К. Пути совершенствования процесса непрерывного спиртового брожения сульфитных щелоков // Сб. тр. ВНИИгидролиз. - М.: Лесн. пром-сть, 1969. - Т. 18. - С. 179-189. [7]. Сапотницкий С.А. Использование сульфитных щелоков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лесн. пром-сть, 1965. - 283 с. [8]. Сапотницкий С.А. Использование сульфитных щелоков. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Лесн. пром-сть, 1981. - 224 с. [9]. Федурин М.П. Биоокисление последрожжевой бражки плесневыми и дрожжеподобными грибами // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. - 1978. - № 7. - С. 14 - 16.

Поступила 9 февраля 1999 г.

УДК 502.656

*К.Г. БОГОЛИЦЫН, О.В. БОГДАНЧИКОВА, В.А. ФОКИНА, В.С. КУЗНЕЦОВ,
Л.Ф. МЕШЕРКИНА, М.В. ЛИФШИЦ*

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической и коллоидной химии Архангельского государственного технического университета, директор Института химии и химической технологии древесины при АГТУ, член-корреспондент Академии инженерных наук РФ и Российской инженерной академии. Имеет более 200 научных трудов в области разработки и физико-химических основ процессов переработки древесины.



ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ (ДЕЛЬТА р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА)*

Проведена оценка современного состояния водной среды в районе водозабора г. Архангельска. В ходе анализа динамики изменения гидрологических и гидрохимических показателей воды выявлены основные приемы оценки техногенного воздействия промышленных предприятий на водную экосистему.

Study of the modern state of water has been carried out in the area of water intake of Arkhangelsk. When analysing the dynamics of changes of hydrological and hydrochemical water properties, the main procedures have been revealed to assess the technogenic influence of industrial enterprises on the water ecosystem.

Выступая в роли особо важного природного компонента, стимулирующего полную цепную реакцию биологических процессов, вода представляет собой фундаментальный ресурс для поддержания жизни на Земле и является единственным возобновляемым природным ресурсом, поддающимся повторному использованию после переработки. Одновременно с быстрым индустриальным ростом изменяются и общие перспективы для этого ресурса. В эру технологического развития, роста городов и промыш-

* Работа выполнена по региональной научно-технической программе «Система функционирования химико-лесного комплекса Европейского Севера России в условиях рыночной экономики на период 1994–2000 гг.».

ленности этот природный ресурс рассматривают не только как «социально-необходимый» элемент, но и как «экономический инструментальный» реализуемой региональной экологической политики, стратегической задачей которой является достижение принципа равновесного или сбалансированного природопользования, применения прогрессивных природно-ресурсных и энергосберегающих технологий, не истощающих и не загрязняющих окружающую среду. Эта концепция может стать составной частью стратегии перехода на модель устойчивого развития. При этом обязательно должны быть отражены не только климатические, географические, социально-экономические и экологические особенности региона, но и его место и роль в жизни страны.

Возможность использования природных водных объектов в качестве источника водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий оценивается, прежде всего, с позиций их экологического состояния, определяемого наличием в воде компонентов как природного, так и техногенного происхождения. Последние, различаясь по своему содержанию и свойствам, обуславливают качественные характеристики воды и, как следствие, определяют технологические решения ее очистки и получения воды с широким спектром потребительских свойств.

Европейский Север и, в частности, Архангельская область являются регионом, где наличие значительных природных ресурсов привело к концентрации предприятий добывающей промышленности и химико-лесного комплекса.

В связи с этим особенностью гидрохимического состава р. Северная Двина – основного источника водоснабжения населения Архангельской области, является ее большая минерализация, повышенное содержание органических компонентов (фенолов, лигнинных веществ, танинов и др.) и биогенных веществ. Негативное влияние данных компонентов проявляется в увеличении частоты заболеваемости и особенности структуры патологии у населения. Установлено, что в регионе преимущественно поражаются желудочно-кишечная и мочевыводящая системы. Варианты поражения носят явно иммунозависимый характер, преимущественно аутоиммунный. Уровень нарушений иммунитета среди лиц, использующих воду из р. Северная Двина, выше, чем у жителей, употребляющих воду из подземных источников (47 и 24 %). Регистрируется более высокая частота эндокринных нарушений (37 и 19 %), выше показатели по карценоэмбриональному антигену. Из водопроводной воды выделены субстанции с иммунодепрессивными свойствами, подавляющие в эксперименте активность бласттрансформации лимфоцитов и фагоцитарную способность нейтрофильных лейкоцитов, моноцитов. Иммунодепрессивные компоненты воды не осаждаются обычно используемыми коагулянтами и проходят через применяемые для очистки воды фильтры, но осаждаются в процессе электрокоагуляции. Опасность нахождения подобных субстанций в воде усугубляется неизвестностью их влияния на иммунную систему, способностью их длительной миграции в воде и накоплением на объектах очистки воды.

К факторам, определяющим экологическое состояние природного водоисточника, относятся гидро-логические (расход воды, уровень воды) и гидрохимические. С этих позиций дадим эколого-аналитическую оценку состояния основного водоисточника г. Архангельска

— р. Северная Двина.

Дельта Северной Двины начинается у Архангельска и напоминает полураскрытый веер (рис.1). Слева (по направлению стока) она ограничена Никольским рукавом и примыкающей к нему системой мелких протоков (Шихириха, Малкурья и др.), справа — верхней частью Корабельного рукава, а затем протокой Кузнечиха, низовой частью Маймаксы и Корабельным устьем. Морской край дельты проходит по цепи низменных островов (Ягры, Гремиха, Кумбыш, Голец, Лебедин, Разбойник) или, точнее, кошек, обсохших песчаных кос и мелей у этих островов (Яндома, Сельдяная).

Основные потребители свежей воды (по данным 1996 г.) из водотоков бассейна р. Северная Двина — предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (АЦБК — 223,73 млн м³, КЦБК — 224,4 млн м³), энергетики (Архангельская ТЭЦ — 99,07 млн м³, Северодвинская ТЭЦ-1 — 33,41 млн м³) и коммунального хозяйства (МП «Архангельский водоканал» — 60,08 млн м³).

Основное техногенное воздействие на экологическое состояние водной среды в районе г. Архангельска определяется хозяйственной деятельностью целлюлозно-бумажных комбинатов, нефтебазы, судоремонтных предприятий, предприятий коммунального и сельского хозяйства. Объем сточных вод (по данным 1996 г.), сброшенных в поверхностные водные объекты, составил 771,3 млн м³ (без очистки — 43,4 млн м³, через очистные сооружения пропущено 459 млн м³, из них только 35 млн м³ очищено до установленных нормативов). Объем сточных вод, сброшенных в водоемы нормативно чистыми (без очистки), составил 260,6 млн м³ (рис. 2).

Определяющим фактором гидрологического режима дельты Северной Двины является речной сток, подверженный сильным приливотливным колебаниям уровня. Протяженность морского участка реки

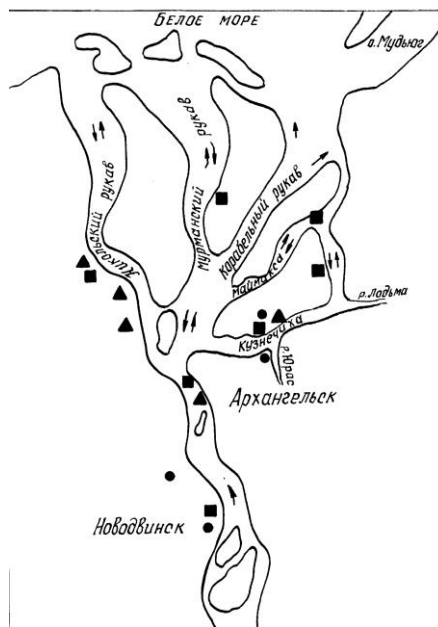


Рис. 1. Схема расположения пунктов контроля (■), водозаборов (○) и источников загрязнения (●) в бассейне дельты р. Северная Двина

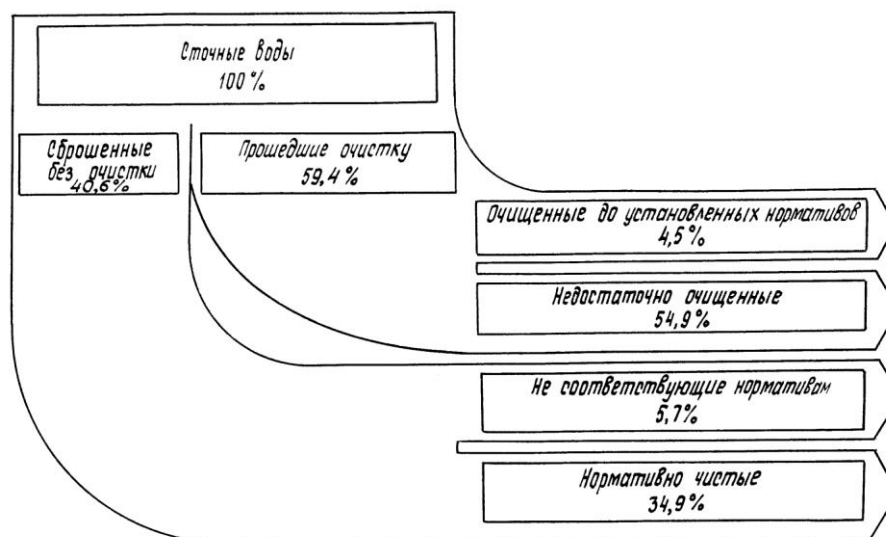


Рис. 2. Схема распределения объемов сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты (данные 1996 г.)

составляет около 120 км, его верхняя граница находится в Холмогорском разветвлении (у Юрского переката); водомерный пост Усть-Пинега (базовый контрольный пост, расположенный в 135 км от дельты) уже не фиксирует приливо-отливные колебания уровня. Среднегодовые расходы у п. Усть-Пинега не обнаруживают тенденции к отклонению от среднего многолетнего значения и используются для расчета водопотоков по рукавам.

Режим уровней в дельте Северной Двины характеризуется большой сложностью и существенно различается в отдельных ее частях (рис. 3). Это объясняется прежде всего изменчивостью факторов, определяющих уровеньный режим со стороны реки и моря. На колебания уровня влияют астрономические и метеорологические факторы. Первые обуславливают периодические колебания, вызываемые приливной волной, распространяющейся со стороны моря (периодичность имеет полусуточный характер). Метеорологические условия в бассейне реки определяют величину стока и распределение его в течение года. Наиболее существенные колебания являются следствием паводковых волн и, особенно, половодья.

Гидрологические измерения подтвердили, что водопоток, формирующийся в дельте Северной Двины у п. Усть-Пинега, практически в полном объеме поступает к посту Смольный Буян и в дальнейшем распределяется по основным рукавам: Никольский – 37,3 %, Мурманский – 19,3 %, Корабельный – 21,2 %. Анализ изменения характеристик указывает на существование максимальных водопотоков весной (май) и осенью (ноябрь).

Особенностью гидрохимического состава р. Северная Двина, усложняющей решение задач водоподготовки, является ее большая минерализация, повышенное содержание органических (фенолов, лигнинных веществ, таннидов и др.) и биогенных веществ.

Нами проведена эколого-аналитическая оценка техногенного воздействия на водисточник (дельта р. Северная Двина) г. Архангельска по результатам контроля химического состава воды Северным центром мониторинга загрязнений окружающей среды Севгидромета за 1988–1997 гг. в следующих точках:

I – г. Архангельск, железнодорожный мост, у левого (ширина 0,3 м) и правого (ширина 0,7 м) берегов на глубине 0,3 м;

II – Никольский рукав, на 1 км выше с. Рикасиха, (ширина 0,5 м) на глубине 0,0 и 0,3 м;

III – Мурманский рукав, с. Красное, (ширина 0,5 м) на глубине 0,0 и 0,3 м;

IV – протока Маймакса, на 1 км ниже поста Экономия, у левого и правого берегов на глубине 0,0 и 0,3 м.

Анализ данных показал, что для большого класса веществ возможно выявить зависимость их концентрации от времени года, т. е. построить модель внутригодового хода процесса. При этом показатели можно условно разбить на три группы. Например, концентрация гидрокарбонатов, натрия, калия, магния, кальция, хлора, сульфата и такие интегральные показатели, как минерализация и жесткость, имеют одинаковые законы изменения во времени (рис. 4). Математически зависимость последних от времени достаточно хорошо описывается следующими полиномами:

для минерализации

$$M(t) = 0,664 t^5 - 20,947 t^4 + 245,495 t^3 - 1,304 \cdot 10^3 t^2 + 3,016 \cdot 10^3 t - 2,072 \cdot 10^3;$$

для жесткости

$$Q(t) = 6,522 \cdot 10^{-3} t^5 - 0,209 t^4 + 2,468 t^3 - 13,125 t^2 + 29,997 t - 19,374.$$

Следует отметить, что данные уравнения адекватно отражают процессы, протекающие у пунктов контроля I и II, и только для части показателей (кальций, гидрокарбонаты) зависимости справедливы у всех кон-

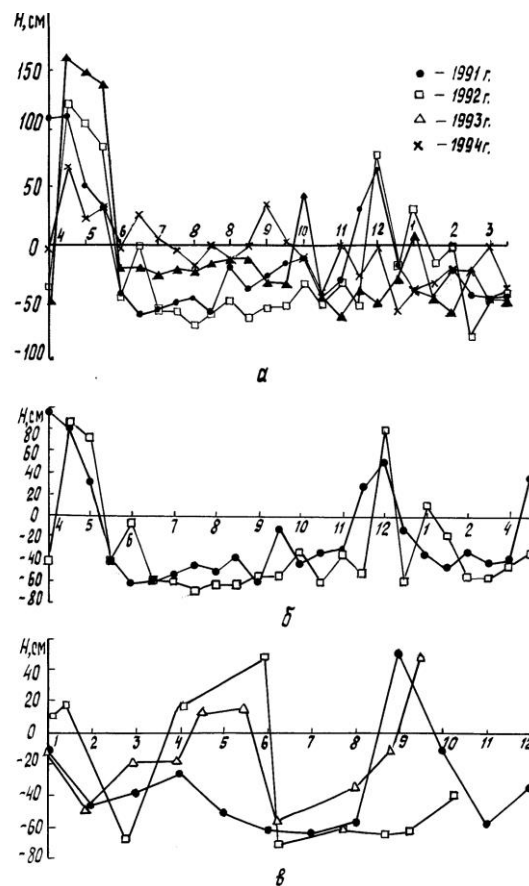


Рис. 3. Изменение уровня воды H в течение года в контролируемых створах: а – Смольный буян; б – Соломбала; в – п. Конвейер (здесь и далее, на рис. 4 – 8, цифры на горизонтальной оси обозначают порядковый номер месяца в году)

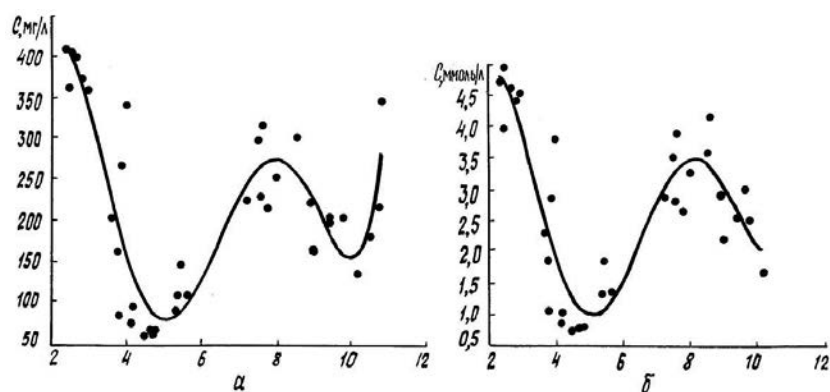


Рис. 4. Изменение параметров минерализации (а) и жесткости (б) воды (данные 1989 – 1997 гг.; C – содержание солей)

трольных точек. Например, для пунктов контроля III, IV наблюдается увеличение концентрации натрия в десятки раз по сравнению с обычной (средней) в марте и августе–сентябре, что, вероятно, объясняется большей активностью приливных течений в эти периоды и близостью к морю.

Следующую группу, для которой выявлена общая зависимость концентрации от времени, можно условно назвать биогенными компонентами и загрязняющими веществами неорганического происхождения. Несмотря на различие их характеристик в первой половине года, все они обладают общей особенностью – минимум концентрации вещества наблюдается в августе–сентябре. Такие результаты получены для соединений азота, кремния, фосфора, железа (рис. 5). В отличие от первой группы веществ, приведенные модели второй группы подходят для описания процессов изменения концентрации во всех пунктах контроля.

Растворенный кислород, являясь интегральным показателем жизнедеятельности организмов водной среды, коррелирует с другими интегральными параметрами, характеризующими качество воды.

При совмещении зависимости концентрации растворенного кислорода от времени (рис. 6) с показателями первой группы установлено, что минимум концентрации кислорода совпадает с максимумами концентрации

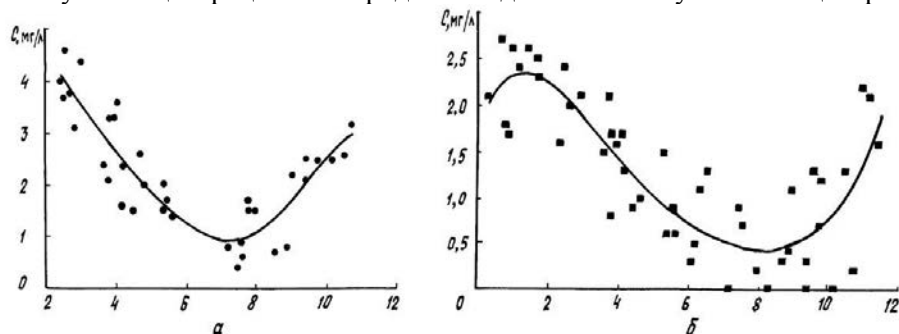


Рис. 5. Изменение содержания кремния (а) и фосфатов (б) в воде в течение года (данные 1989 – 1997 гг.)

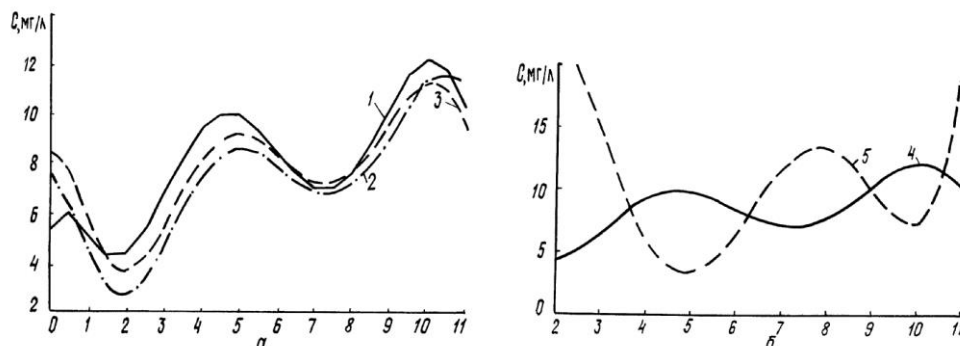


Рис. 6. Изменение содержания растворенного кислорода (1 – 4) и натрия (5) в воде в течение года: 1, 4 – 1990 г.; 2 – 1991 г.; 3 – 1992 г.

упомянутых показателей, что указывает на активизацию процессов жизнедеятельности микроорганизмов и редокс-процессов.

Для третьей группы веществ, не имеющих четкой зависимости концентраций от времени (рис. 7), можно предложить подход к анализу их поведения с позиции оценки самоочищающей способности реки на данном участке. Представим дельту реки как систему, имеющую два входа и несколько выходов (рис. 8). Необходимость рассматривать левый и правый берега как отдельные входы системы связана с существенной разницей концентраций многих веществ в этих точках. Для каждого времени отбора фиксировали значения показателей на входе и выходе системы (например у левого берега в районе железнодорожного моста и в Никольском рукаве).

Повторяя процедуру, получаем данные, анализ которых указывает на линейную зависимость между ними.

По виду уравнения $C_{\text{вых}} = aC_{\text{вх}} + b$ можно судить о самоочищающей способности реки на данном участке. Так, при $a = 1$ ($a \rightarrow 1$) и относительно малом b ($b \rightarrow 0$) можно сделать вывод об отсутствии очищения воды; при $a < 1$ и $b \leq 0$ ($b \rightarrow 0$) – о наличии самоочищения (причем, чем меньше a , тем интенсивнее идет этот процесс); при $a > 1$ и $b \geq 0$ – о загрязнении воды.

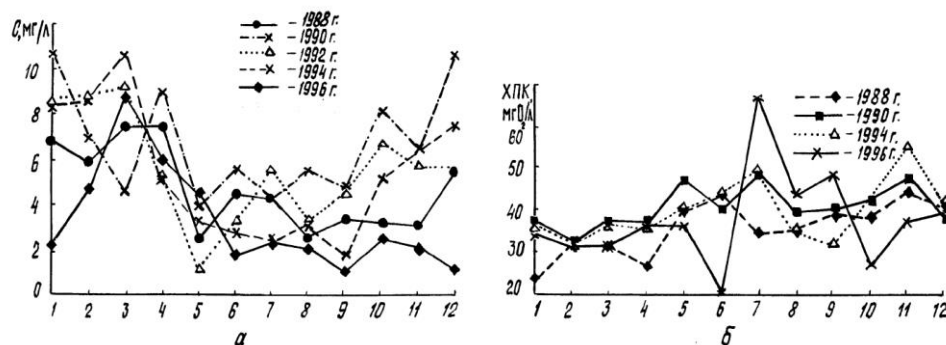


Рис. 7. Изменение содержания лигносульфонатов (а) и показателей ХПК (б) в воде в течение года



Рис. 8. Схема дельты р. Северная Двина

На рис. 9 представлены зависимости вход–выход для концентрации лигносульфонатов, позволяющие отметить несущественное самоочищение реки по этому показателю в Никольском рукаве и более интенсивный процесс самоочищения в Мурманском рукаве и протоке Маймакса.

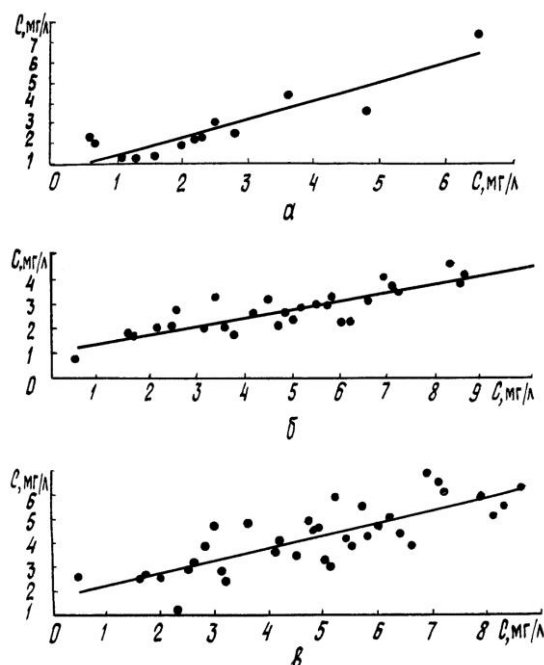


Рис. 9. Взаимосвязь содержания C лигносульфонатов в водотоках: а – участок железнодорожный мост – Мурманский рукав; б – участок железнодорожного моста (правый – левый берега); в – участок железнодорожный мост – Никольский рукав

Изложенный выше подход применим также для получения характеристик «перемешивания» вещества на рассматриваемом участке реки, если за вход принять левый, а за выход – правый берег реки (или наоборот). Например, построив такую зависимость для лигносульфонатов в точке I, можно оценить интенсивность процесса перемешивания на участке от АЦБК до железнодорожного моста (считая, что лигносульфонаты поступают именно с АЦБК, т. е. с левого берега).

По виду представленной на рис. 9 зависимости можно сделать вывод о том, что концентрация лигносульфонатов у левого берега значительно выше, чем у правого, и перемешивание произошло приблизительно на 25 %.

Изложенный выше метод оценки самоочищающей способности и перемешивания дает приблизительные результаты и может оказаться полезным на практике. Нами он был применен для оценки и других показателей (бихроматной окисляемости, БПК₅, фенолов, нефтепродуктов, формальдегида, метанола).

Анализ изменения компонентного состава р. Северная Двина в месте водозабора г. Архангельска за период 1988–1997 гг. позволит

**Химический состав воды р. Северная Двина (водозабор г. Архангельска,
данные 1988–1997 гг.)**

Показатели	Численные значения показателей			
	Максимальное	Минимальное	Среднее	Предельно допустимое
Цветность	232	55	121	-
Взвешенные вещества	96,6	0,2	13,5	-
Минерализация	408,4	62,7	217,2	-
Жесткость	5,91	0,73	2,49	-
Гидрокарбонаты	175,7	30,7	99,8	-
pH	8,02	6,88	7,57	-
Кислород	13,99	3,06	8,15	≥ 4
Насыщение кислородом	107	16	65	-
Углекислый газ	15,4	2,9	7,6	-
Магний	16,8	1,5	8,1	40
Хлор	21,1	2,7	8,7	300
Сульфаты	96,8	9,6	49,8	-
Натрий	24,2	1,4	9,9	120
Калий	3,1	1,0	1,8	50
Кальций	63,9	12,0	37,3	-
Кремний	4,1	0,7	2,2	10
Фосфаты	2,0	0,0	0,1	0,2
Азот:				-
нитритный	0,083	0,001	0,004	0,01
нитратный	0,32	0	0,096	0,04
аммонийный	2,01	0,01	0,11	0,5
Алюминий	0,94	0,004	0,13	0,04
Железо	0,97	0,01	0,38	0,05
Хром общий	0,006	0,001	0,002	-
БПК ₅	5,9	0,79	2,1	≤ 3
ХПК	66,1	23,8	39,2	≤ 15
Лигносультфонаты	10,7	1,9	4,17	1,0
Нефтепродукты	0,09	0,04	0,07	0,05
Формальдегид	0,07	0,03	0,05	0,05
Метанол	0,75	0	0,2	0,1

Примечание. Все показатели определены в мг/л, кроме цветности (град), жесткости (ммоль/л), pH, насыщения кислородом (%), БПК₅ (мг O₂/л) и ХПК (мг O₂/л).

определить основные ингредиенты и наиболее экологически опасные для человека примеси как природного, так и антропогенного происхождения (см. таблицу), а также приоритетные направления технологических и инженерных решений в системах водоочистки.

Поступила 6 февраля 1998 г.

УДК 630*863.5

Е.Д. ГЕЛЬФАНД

Гельфанд Ефим Дмитриевич родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 300 печатных трудов и 140 изобретений в области химической технологии древесины.

ПОДАВЛЕНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Приведены результаты исследования по подавлению пенообразования с использованием мыльного стока, талловых продуктов сульфат-целлюлозного производства, масел.

The investigation results are presented related to foaming suppression using soap stock, tall products of sulfate-pulp production, oils.

Пенообразование – одно из типичных явлений, сопутствующих дрожжевому производству; оно наносит ощутимый экономический ущерб и в ряде случаев ограничивает возможности применения новых прогрессивных технологий и аппаратов. Так, на одном из гидролизных заводов оказалось невозможным внедрить высокоэффективный способ флотационного сгущения дрожжевой суспензии из-за образования стойкой пены, на другом заводе были вынуждены отказаться от использования высокоэффективной технологии локальной очистки последрожжевой бражки (ПДБ) из-за сильного пенообразования, возникающего в системе канализации очищенной ПДБ.

Основным приемом подавления пенообразования в дрожжевом производстве является применение пеногасителей, из которых наиболее широко используют мыльный сток – побочный продукт производства маргарина. Расход мыльного стока составляет 35 ... 60 кг на 1 тонну товарных кормовых дрожжей. На протяжении многих лет мыльный сток был сравнительно дешевым и доступным пеногасителем, но в последние годы ситуация изменилась, что побуждает изыскивать возможности снижения расхода мыльного стока либо его замены.

Известен опыт использования на отдельных сульфитно-дрожжевых заводах в качестве пеногасителя так называемых талловых продуктов, получаемых при переработке сульфатного мыла в сульфатно-целлюлозном производстве.

Нами исследована* принципиальная возможность частичной или полной замены соапстока в гидролизно-дрожжевом производстве талловыми продуктами, в частности жирными кислотами (ЖК) и легким талловым маслом (ЛТМ) Соломбальского целлюлозно-бумажного комбината.

Были приготовлены водные эмульсии соапстока, ЖК и ЛТМ, а также их смесей. Суммарная концентрация пеногасителей во всех эмульсиях составила 0,8 г/л. Для изучения эффективности эмульсий проведен эксперимент по установлению пенообразующей способности дрожжевой суспензии, отобранной из дрожжерастильного аппарата Архангельского гидролизного завода. Для этого в стеклянный мерный цилиндр с притертой пробкой вместимостью 100 мл вливали 30 мл дрожжевой суспензии, цилиндр с содержимым встряхивали 180 раз в течение 1 мин. Сразу после встряхивания замеряли объем пены (A_0), то же самое делали через 5 мин (A_5) и рассчитывали показатель ее устойчивости ($V = (A_5/A_0) 100 \%$). Полученные показатели ($A_0 = 38$ мл, $A_5 = 16$ мл, $V = 42 \%$) характеризуют пенообразующую способность исходной дрожжевой суспензии.

Для выявления пеногасящих свойств приготовленных эмульсий в 30 мл дрожжевой суспензии вводили 1 мл эмульсии, смесь встряхивали 1 мин, определяли показатели A_0 , A_5 , V , сравнивая их с аналогичными показателями для исходной суспензии.

На рис. 1 приведены результаты испытаний эмульсий соапстока, ЖК, ЛТМ и их смесей. Из представленных данных видно, что, хотя сами по себе ЖК в качестве пеногасителя менее эффективны, чем соапсток, их смеси обладают лучшими пеногасящими свойствами. Наиболее предпочтительно использовать смеси с содержанием от 30 до 70 % соапстока, так как

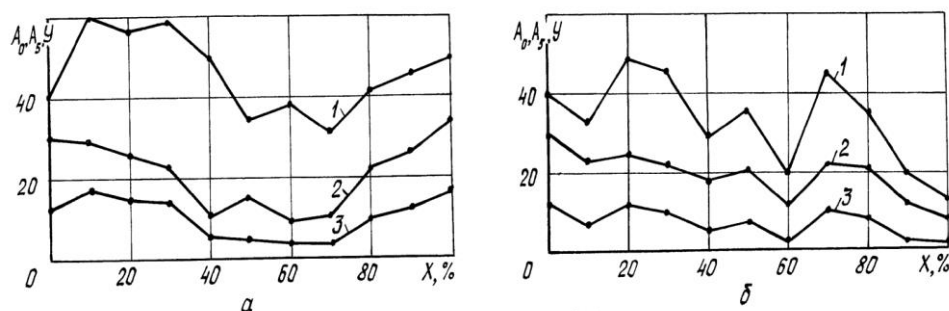


Рис. 1. Изменение показателей V (1), A_0 (2) и A_5 (3) при пеногашении дрожжевой суспензии смесями соапсток-ЖК(а) и соапсток-ЛТМ (б) (X – содержание ЖК и ЛТМ в смеси)

* Экспериментальную часть работы выполнил студент М. А. Осипов.

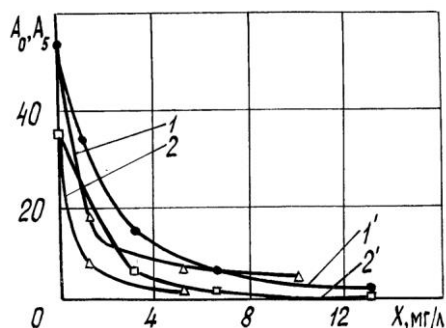


Рис. 2. Изменение показателей A_0 (1, 1') и A_5 (2, 2') при пеногашении ПДБ, биоокисленной с дрожжеподобными грибами: 1, 2 – ЛТМ; 1', 2' – ЖК (здесь и далее, на рис. 3, X – расход пеногасителей)

они обеспечивают минимальный уровень устойчивости пены. Наилучшие результаты получены для смеси, состоящей из 30 % соапстока и 70 % ЖК: показатель A_0 снизился в 3 раза, A_5 – в 4 раза, U – в 1,6 раза по сравнению с аналогичными показателями для чистого соапстока. При использовании такой смеси можно ожидать суммарного сокращения расхода пеногасителя на 1 тонну дрожжей в 3 раза.

Этот же результат получен и для ЛТМ: любое его сочетание с соапстоком эффективнее, чем сам соапсток; наименьшая устойчивость пены достигнута при использовании смеси, содержащей 40 ... 60 % соапстока, остальное – ЛТМ. Наилучшие результаты получены для смеси из 40 % соапстока и 60 % ЛТМ: показатель A_0 снизился в 2,7 раза, A_5 – в 6 раз, U – в 2,2 раза по сравнению с чистым соапстоком.

Интересно отметить, что высокое пеногасящее действие смесей проявляется при дозировках, значительно (примерно в 10 раз) меньших тех, которые можно было бы ожидать исходя из существующего уровня затрат пеногасителей (35 ... 60 кг на 1 т дрожжей). С учетом этого нами продублированы опыты со смесями пеногасителей при расходе эмульсии не 1 мл, а 5 мл на 30 мл дрожжевой суспензии. При этом установлено, что в опытах со смесями (40...60 % соапсток – остальное ЖК) показатели A_5 и U оказались равными 0, т. е. обеспечивалось полное устранение пены. Такие же результаты были достигнуты и со смесями соапсток – ЛТМ при содержании соапстока менее 40 %.

Как уже отмечалось, пенообразование свойственно не только дрожжевой суспензии, но и ПДБ, особенно после ее локальной биологической очистки с активным илом.

Нами проведены опыты по подавлению пенообразования для двух видов ПДБ: № 1 – обычная биоокисленная (т. е. с дрожжеподобными грибами), № 2 – биоокисленная с активным илом. Из рис. 2, на котором представлены результаты опытов с ПДБ № 1, видно, что пенообразующая способность ее легко подавляется при очень малых дозировках пеногасителей (1 ... 3 мг/л).

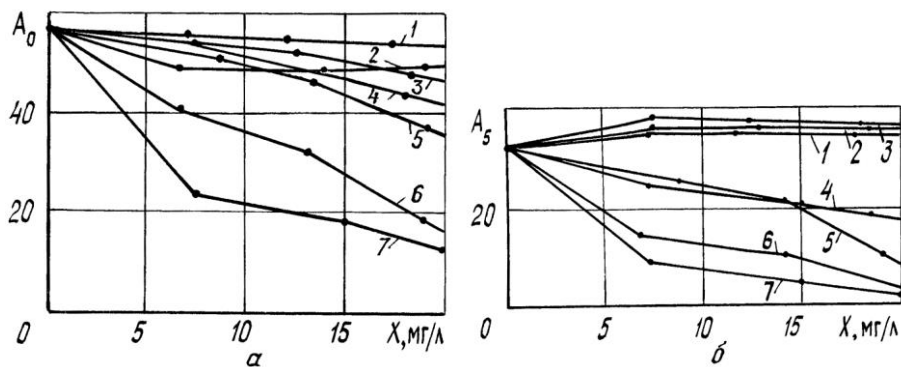


Рис. 3. Изменение показателей A_0 (а) и A_5 (б) при пеногашении ПДБ, биологической с активным илом: 1 – ЛТМ, 2 – ЖК, 3 – дистиллированное талловое масло, 4 – соевое масло, 5 – рапсовое масло, 6 – подсолнечное масло, 7 – рыбий жир

Из рис. 3, на котором представлены результаты опытов с ПДБ № 2, следует, что талловые продукты мало эффективны. Наибольший эффект достигнут при добавке рыбьего жира, за ним следуют подсолнечное и рапсовое масла. Важно отметить, что испытанные пеногасители способны снижать показатель A_0 для ПДБ № 2 до уровня, характерного для ПДБ № 1, что открывает возможность их использования для подавления пенообразования при канализации ПДБ № 2. При этом дозировка пеногасителей составляет лишь 4 ... 6 мг/л.

Поступила 3 марта 1997 г.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 630* 794

Е.С. РОМАНОВ

Романов Евгений Самуилович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики отраслей Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 130 печатных работ в области изучения экономической эффективности, инвестиций, производственных мощностей в лесозаготовительной промышленности.

**ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ
МЕЖДУ ДОБЫВАЮЩЕЙ И ОБРАБАТЫВАЮЩИМИ ОТРАСЛЯМИ
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
В УСЛОВИЯХ ВХОЖДЕНИЯ В РЫНОЧНУЮ ЭКОНОМИКУ**

Дан анализ экономической ситуации в лесопромышленном комплексе России. Приведены фактически складывающиеся варианты обеспечения лесоперерабатывающих предприятий сырьем.

The economic situation in Russian forest-industrial area is analyzed. The actually summing options of providing wood-processing enterprises with raw material are presented.

Все изучавшиеся и учитываемые нами проблемы и факторы можно представить в двух плоскостях: «в пространстве» – А) общие, Б) специфические (отраслевые) и «во времени» – 1) возникшие до перехода к рыночным отношениям, 2) современные, присущие периоду перехода к рынку. Основной предмет данного исследования находится в секторе Б-2: современные проблемы в отраслях лесного комплекса, перспективы и пути их решения.

Однако действуют и влияют и остальные три «сектора»:

А-1) техническая отсталость и низкая эффективность производства, невосприимчивость его к научно-техническому прогрессу, некомпетентность большинства директоров предприятий, неразвитая предприимчивость их, примат личных интересов, низкий жизненный уровень населения;

Б-1) разобщенность в прошлом лесного комплекса на хозяйственные (управленческие) отрасли: Госкомлес, Минлеспром; жесткие управленческие вертикали в каждой отрасли, преувеличенная роль среднего звена (ТПО, ЛХТПО), неосуществленность хозрасчета в лесном хозяйстве, огромные потери древесины на всех стадиях, острейшие противоречия с природой, низкий уровень социальной инфраструктуры;

А-2) распад хозяйственных связей, снижение объемов производства, рост цен, инфляция, неплатежи, несовершенство налоговой системы, распри между законодательной и исполнительной властями, лоббизм регионов, некомпетентность многих руководителей всех уровней в вопросах рынка.

Этот перечень отнюдь не претендует на полноту и лишь подчеркивает необходимость системного подхода.

В лесном комплексе, как и во всех отраслях экономики, отпали многие надуманные проблемы: нормативы образования фонда зарплаты, фондов экономического стимулирования, хозрасчетного дохода и др., но возникло множество новых проблем. Одна из главных – формирование новых экономических отношений между добывающей (лесозаготовки) и перерабатывающими отраслями.

Для лесопромышленного комплекса (без лесного хозяйства) вхождение в рыночную экономику – свершившийся факт. Есть немало примеров удачной адаптации предприятий к новым условиям, в основном среди предприятий лесопильно-деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, работающих на экспорт, но и им мешает техническая отсталость, не позволяющая успешно конкурировать на внешних рынках. Особенно трудно лесозаготовительным предприятиям; среди них положительные примеры адаптации к рынку единичны.

Лесозаготовительной отрасли как добывающей достался особенно большой груз проблем прошлого (из сектора Б-1). Леспромхозы оказались без закрепленных лесосырьевых баз. Новый механизм долгосрочной аренды как следует не отработан, его сценарии не проиграны; эта проблема ждет глубокого системного анализа вплоть до изучения психологии «арендаторов» и «арендодателей», их поведения ныне и в будущем. Изучаемая нами проблема отношений между двумя «промышленными» частями лесного комплекса, таким образом, затрагивает и лесное хозяйство, точнее – управление лесами.

Предприятия, их директора в течение трех-четырех лет побыли в состоянии довольно широкой самостоятельности, относительной экономической свободы. Естественно, выявилась неоднородность директорского корпуса. К сожалению, некомпетентных руководителей (и не способных учиться, перестраиваться), с преобладанием сугубо меркантильных личных интересов, а то и просто корыстных оказалось больше. Рядовые работники предприятий очень надеялись, что при акционировании произойдет смена руководства, но эти ожидания не оправдались. Законодательство, правительственные постановления тайно или явно были направлены на сохране-

ние номенклатуры директоров. Директорское лобби в Госдуме, областных собраниях, администрациях – важный фактор российской экономики, направленный, к сожалению, не в сторону быстрых и эффективных реформ. Правовое положение и психология работников предприятий таковы, что сохраняют почву для подтверждения старой истины: предприятие не может достигнуть большего, чем в состоянии или хочет его директор. Тем не менее, прав бывший вице-премьер и министр экономики России Е.С. Сабуров: «Велика Россия, но других директоров у нас нет» (Комсомольская правда.- 1992.-31 октября.- С. 2). В ближайшее время у рулей останутся люди, так или иначе связанные с прежней системой. Потеснить их или вынудить переквалифицироваться в умелых и добросовестных предпринимателей должна помочь вторичная, денежная приватизация. Это решающий для российской экономики этап.

Становление в лесопромышленном комплексе России управленческой вертикали Рослеспром – холдинги – предприятия, к сожалению, было очень похоже на восстановление старой. «С бюрократической необходимостью» возникло среднее звено вертикали, ибо Рослеспром, с одной стороны, не мог быть сохранен, не имея связи с предприятиями – непосредственными производителями, а с другой – не в состоянии осуществить такие связи напрямую с сотнями предприятий. Рослеспром поддерживал прежде всего «свои» предприятия, т. е. вошедшие в холдинги.

Более всего самостоятельность предприятий и разнообразие подходов проявились в целлюлозно-бумажной промышленности – отрасли, где предприятия крупные и выполняют заключительные стадии производства готовой продукции. Не все эти подходы привели к успеху, но они заслуживают внимания. Почти у всех ЦБК одинаковые проблемы: большой износ основных фондов, устарелое оборудование и технологии, трудности с сырьем, топливом из-за резко возросших цен и транспортных тарифов, конкуренция на мировом рынке. Все крупные российские целлюлозно-бумажные комбинаты являются градообразующими предприятиями: при них образовались и разрослись поселки и города. Поэтому все они так или иначе «тянут» на себе не только производственную, но и социальную инфраструктуру. Еще острее эта проблема стоит в поселках лесозаготовительных предприятий. Здесь градообразующим является даже не леспромхоз (который всегда меньше ЦБК), а лесопункт, т. е. отдельный, территориально обособленный, чаще небольшой цех. В лесном поселке все население связано с одним производством.

Всего в лесном комплексе России (т. е. с лесным хозяйством) трудятся 3 млн человек, а вместе с членами семей и занятыми в инфраструктуре – 10 млн человек. Не приходится надеяться, что муниципалитеты наберут силы и снимут эту проблему. Вот тут-то и были бы нужны Рослеспром, Рослесхоз: они должны добиться у правительства либо целевого финансирования на содержание социальной сферы, хотя бы не для всего комплекса или отрасли, а для отдельных предприятий по конкретным критериям, либо

налоговых льгот (например в виде уменьшения отчислений на социальные нужды), либо в какой-то иной форме. На смену Рослеспрому пришел более авторитетный Госкомлеспром РФ, но и он был упразднен. Ныне интересы лесных отраслей на государственном уровне представляют департамент Министерства экономики РФ и Федеральная служба лесного хозяйства.

Одна из наиболее актуальных проблем экономических отношений – занятость населения и ее антипод – безработица. Количественная информация, которую дает нынешняя российская статистика, не столь важна: ясно, что она неточна и дает искаженные (часто без прямого умысла) сведения. Очевидно, что безработица преуменьшена: достаточно сопоставить показатели спада объемов производства и уменьшения численности работающих. Как для экономического роста характерно опережение увеличения выпуска по сравнению с численностью занятых, так для спада логично, что выпуск уменьшается медленнее, чем занятость. Следовательно, процент снижения занятости должен быть не меньше, чем процент уменьшения численности. В лесном комплексе, особенно в его градообразующих предприятиях, безработица тем более занижена: целесообразное сокращение численности работающих следует считать в размере 1,1-1,2 к каждому проценту спада объемов или хотя бы как 1:1. Приостановление спада производства, стабилизация, а потом и наращивание объемов этих предприятий – задача не просто сохранения трудового потенциала, но выживания населения.

Таков фон, на котором формируются новые связи лесозаготовителей-поставщиков древесного сырья и его потребителей-лесопереработчиков. Хотя сортаменты из древесного сырья (пиловочник, балансы, фанерные и спичечные кряжи и т.п.) и получили свои названия по назначению, но, в известных пределах, они могут быть использованы и на другие цели; жесткой предопределенности, какая имеется при кооперировании, здесь нет. Поэтому и связи поставщиков древесного сырья с потребителями не являются кооперированием, как бы долго и тесно ни продолжалась связь двух партнеров. Это обычные снабженческо-сбытовые связи: покупатель всегда может найти другого поставщика, а поставщик – другого покупателя. Поэтому в речах о распаде, развале связей больше эмоций или тайного умысла, нежели истинной опасности.

В плановой экономике СССР требовалось получить фонды и лимиты на древесину, что было весьма непросто. Считалось, что в СССР имеется огромный дефицит лесопroduкции. Прямых связей поставщик – потребитель было совсем немного. Направления и объемы поставок определяли Госплан, Госснаб, Главлесоснабсбыт, Союзглавлес и другие органы-посредники. Связи ежегодно либо подтверждали, либо корректировали. Было множество сверхдальних (например на Котласский ЦБК из Сибири) и встречных перевозок древесного сырья. Среди хозяйственных грузов лесоматериалы занимали в СССР первое место по дальности железнодорожных перевозок. Система цен франко-вагон станция назначения, бывшая основной, делала поставщика безразличным к тому, кто получит сырье. Потребитель

тель был более озабочен, но в том лишь отношении, что партнер мог нарушить условия поставок. Подлинным бедствием был дефицит железнодорожного грузового состава (вагонов и др.). Почему-то об этом дружно забыли все, кто сокрушается о «потере управляемости».

Река объективно связывает поставщика и потребителя. Но на каждой реке обычно имеется несколько тех и других. Так что прямой «обязательной» связи и здесь нет. Все же лесосплав, в отличие от железнодорожного (а тем более автомобильного) транспорта, упорядочивал, фиксировал крупные грузопотоки. Но в последние десятилетия лесосплав незаслуженно испытывал мощное «экологическое» давление. Объемы его быстро сокращались, и ныне они ничтожны. Так, в 1998 г. в Архангельской области было доставлено сплавом лишь 1,3 млн м³ против 16,5 млн м³ в 1965 г.

С поворотом к рыночной экономике последовали изменения, в которых можно выделить этапы: переход от фондирования к госзаказам, снижение доли госзаказов и увеличение реализации по договорным ценам, бартерный обмен, либерализация цен. Открылись возможности для действительно прямых связей. Но леспромхозы удалены от переработчиков, у них нет полной, своевременной информации о спросе, ценах, экспорте. Возникает потребность в посредниках. Эту роль берут на себя не всегда надежные и порядочные структуры. Прямые контакты все чаще осуществляются на уровне директоров, лично. Разлагающе повлияли бартерный обмен, либерализация экспорта. Постепенно самым нужным товаром стали деньги, оборотные средства. Но это уже рынок.

Следующий этап можно назвать испытанием неплатежами. Выявившаяся при этом непорядочность, необязательность присуща, конечно, не предприятиям и банкам, а их директорам, управляющим. Характерны неоднократные высказывания бывших премьера В.С.Черномырдина и его первого вице-премьера О.Н.Сосковца (в СССР оба были директорами предприятий и руководителями соответственно газовой промышленности и металлургии): в неплатежах, неполучении средств от покупателей виноваты прежде всего сами директора-поставщики.

Экономика России, уйдя от планового распределения, все еще не пришла к цивилизованному рынку. Но главным фактором твердо становится платежеспособный спрос. Он «начинается с конца» – от конечного потребления, т. е. продажи товаров и услуг населению, инвестиционному сектору, на экспорт. Ни на одном из направлений потребления лесоматериалов (мебель, стройматериалы для населения и строительства, бумага, шпалы, рудстойка) нет оживления. Рослеспром набивал себе цену, повторяя, что в России имеется «дефицит» в 100 млн м³, 18 млн шт. шпал и т. д. Это разность между старыми и нынешними объемами, а не платежеспособный спрос.

Причина спада отнюдь не в плохой работе лесозаготовительной отрасли. Хотя она и была всегда самым слабым звеном ЛПК, но чтобы обеспечить платежеспособный спрос переработчиков, у нее достаточно и тру-

довых ресурсов, и техники. Эта техника устарела, кадры деморализованы, но увеличить объемы они в состоянии. Нет денег. Не только на новое строительство, но и на поддержание мощностей, даже выдачу зарплаты. Несложившийся, неокрепший российский рынок здесь не поможет: лесозаготовителям нужна государственная поддержка. Но не обезличенная, через существующие лишь на бумаге холдинги, а адресная – предприятиям, способным эффективно использовать ее.

Указ Президента РФ от 19 мая 1994 г. «О мерах по государственной поддержке развития лесопромышленного комплекса» и последовавшие за ним постановления правительства содержат верные идеи, но надо, чтобы главным стало не восстановление управленческой вертикали, а скорейшее формирование рыночных отношений внутри комплекса с элементами государственного регулирования. Оговорка о госрегулировании нужна потому, что добывающая часть ЛПК эксплуатирует легко ранимые природные ресурсы, а управленческий персонал во всех отраслях и на всех уровнях – от лесопункта до холдингов и выше – откровенно слаб, а порой безграмотен, некомпетентен в вопросах рыночной экономики, менеджмента, права, нередко небезупречен морально.

Ниже дан обзор вариантов обеспечения лесоперерабатывающих предприятий сырьем.

В Петрозаводском ДСК создан лесозаготовительный департамент с производственной мощностью по вывозке 1050 м³ в сутки и доставкой на расстояние до 100 км и более.

Сыктывкарский ЛПК приобрел крупные пакеты акций восьми леспромпхозов, став фактически их владельцем. Древесина поступает ЛПК сплавом, по железной дороге и автотранспортом, однако даже этот гигант не может кредитовать сезонные запасы древесины в пунктах пуска в сплав. Судьба сплавных леспромпхозов, особенно в верховьях, под вопросом. Руководство ЛПК настроено против иностранных инвестиций.

АО «Волга» (Балахнинский ЦБК), находясь под контролем германской фирмы, не испытывает проблем с сырьем, поскольку имеет деньги. Здесь строится новая биржа сырья. Разработана специальная программа выборочных рубок и прореживаний для получения балансов и улучшения лесов. Не надо бояться, что контрольный пакет акций будет принадлежать иностранной фирме: предприятие остается на нашей территории.

Котласский ЦБК скупил акции соседних леспромпхозов, создал девять новых лесозаготовительных предприятий, которые в ближайшем будущем на 50 ... 60 % обеспечат потребности комбината в сырье.

Коношский лесозавод создал небольшой холдинг, куда вошел леспромпхоз.

Около 80 % акций Сегежского ЛДК принадлежат американской фирме. Десятки миллионов долларов инвестированы в лесотранспорт. Автоколонна способна доставить в Сегежу до 10 тыс. м³ в день, причем не

только из Карелии, но и Вологодской и даже Архангельской областей. Комбинат полностью обеспечивает себя сырьем.

Рядом с деревообрабатывающим комбинатом «Мадок» (Малая Вишера, Пермская область) со 100 %-м австрийским капиталом появилось совместное российско-австрийское лесозаготовительное предприятие. Они вместе вырабатывают высококачественные пиломатериалы.

Комбинат «Сургутмебель» создали нефтяники, у которых есть деньги для покупки высокоэффективного импортного деревообрабатывающего оборудования и которые уже готовятся к снижению добычи нефти. Лесозаготовки ведет сам комбинат. Сырье доставляют автотранспортом на расстояние до 120 км прямо с лесосек. Находящиеся рядом «чистые» (т. е. без обрабатывающих производств) леспромхозы бесперспективны.

Вновь образованный концерн в Усть-Илимске первым делом решил большую часть средств от реализации целлюлозы направить на обновление лесовозного транспорта и другие нужды лесозаготовок. В одном концерне с целлюлозниками лесозаготовители почувствовали улучшение конъюнктуры на мировом рынке ЦБП. В перспективе приоритет в инвестициях будет отдан, конечно, целлюлозному производству концерна.

«Владимирмебель» получает основные материалы (ДВП, ДСП, фанера) по бартеру на свою продукцию.

АО «Фанплит» в Костроме получило крупные долларовые инвестиции от частной американской фирмы и международных фондов поддержки, модернизировало производство, улучшило качество продукции, что сняло и все проблемы с сырьем: «Фанплит» регулярно расплачивается с леспромхозами: принимает на себя их долги, а леспромхозы расплачиваются с ним сырьем.

При всех различиях исходная точка решения проблемы обеспечения лесопереработчиков сырьем общая: благоприятное финансовое положение переработчиков. Пока наиболее короткий путь к финансовой стабильности – через иностранные инвестиции.

Названные выше предприятия попали в обзор только потому, что в информации о них так или иначе затронут вопрос об обеспеченности сырьем. Образовавшаяся выборка не предназначена для каких-либо группировок, структуризации. Не имеет большого значения, какой из способов обеспечения сырьем встречается чаще, насколько чаще и т. д. Важно иметь как можно более широкий спектр подходов и знать условия каждого из них. Это позволит заинтересованным структурам выбрать пример для себя. Очевидна тенденция – перерабатывающие предприятия так или иначе объединяют вокруг себя леспромхозы; перерабатывающие отрасли подчиняют себе добывающую.

Поступила 16 февраля 1999 г.

УДК 658.153

К. Ю. ТИМОШЕНКО, А. В. ПЛАСТИНИН

Тимошенко Константин Юрьевич родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры менеджмента АГТУ. Область научных интересов – финансовый менеджмент.



Пластинин Александр Викторович родился в 1947 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента Института экономики, финансов и бизнеса Архангельского государственного технического университета. Имеет около 60 печатных работ в области экономики лесного комплекса.



О КРИТЕРИЯХ ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В ОТРАСЛЯХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрен вопрос о целесообразности использования традиционных критериев платежеспособности и их нормативов в отраслях лесопромышленного комплекса Архангельской области. Предложена методика определения оптимального уровня платежеспособности.

The question of expediency has been considered relating to the use of traditional criteria of solvency and their regulations in forest-industrial branches of the Arkhangelsk Region. The method of determining the optimum solvency level has been suggested.

Важнейшим элементом политики управления оборотными средствами на предприятиях является платежеспособность. Под ней понимается способность субъектов хозяйствования своевременно и полностью выполнять свои обязательства перед кредиторами.

Количественно уровень платежеспособности может быть определен через систему финансовых показателей, так называемых критериев платежеспособности – коэффициентов абсолютной (немедленной), срочной (кри-

тической) и текущей ликвидности. На практике два последних часто трактуются соответственно как промежуточный и общий коэффициенты покрытия. Каждый из показателей рассчитывают делением отдельных элементов или всей суммы оборотных средств предприятия на величину его краткосрочных обязательств. Экономическое содержание, нормативы и методика исчисления данных показателей достаточно широко освещены в специальной литературе [3 и др.]. Поэтому в рамках настоящего исследования мы изучали вопрос о целесообразности их использования в отраслях лесопромышленного комплекса Архангельской области в современных условиях.

Лесная промышленность региона переживает сложный переход на рыночную экономику: продолжается спад производства, ухудшается финансовое состояние предприятий.

На этом фоне происходят значительные изменения в сфере оборотных средств и источников их формирования. Так, при все увеличивающихся краткосрочных обязательствах (в том числе просроченных) доля наиболее ликвидных активов – денежных средств и краткосрочных финансовых вложений – в структуре оборотных средств ЛПК Архангельской области сократилась более чем в два раза (с 8,0 % в начале 1995 г. до 3,5 % в середине 1997 г.), что однозначно свидетельствует о резком снижении коэффициента немедленной ликвидности. При этом ситуация значительно различалась по отраслям.

Острый недостаток денежных средств испытывали предприятия добывающей отрасли ЛПК – леспромхозы, где значения коэффициентов абсолютной ликвидности в течение последних двух лет не превышали 1...2 % при рекомендуемом уровне показателя 20 ... 30 % [3]. Сложилась ситуация, когда движение денежных активов носило скорее «стихийный», нежели контролируемый характер. При прочих равных условиях это может быть объяснено тем, что «... лесопереработчики порой не считали зазорным долгие месяцы не расплачиваться за сырье... [1]».

В перерабатывающих отраслях уровень немедленной ликвидности был выше, чем на лесозаготовках, но значительно ниже установленного норматива. Так, по состоянию на начало 1997 г. значение показателя в деревообработке и ЦБП составляло соответственно 4,5 и 1,7 % при 0,4 %* на лесозаготовках. Относительно высокий показатель в деревообработке отчасти объясняется тем, что в 1997 г. хозяйствующие субъекты отрасли – лесозаводы и лесопильно-деревообрабатывающие комбинаты – были основными держателями валютных счетов в регионе. Однако двумя годами раньше, в благоприятном для лесопромышленного комплекса Архангельской области 1995 г. (с точки зрения конъюнктуры цен на мировом рынке), большая часть денежных средств была сосредоточена на предприятиях ЦБП. По данным Архангельского областного комитета государственной статистики удельный вес самых ликвидных активов на хозяйствующих субъектах данного профи-

* Эти и многие другие показатели, используемые в статье, получены на основе данных Архангельского областного комитета статистики.

ля в общем объеме денежных средств лесного комплекса сократился с 64,1 % в начале 1996 г. до 34,7 % в середине 1997 г. Существенная их доля была вытеснена из структуры оборотных средств предприятий неоправданно высоким уровнем дебиторской задолженности.

В условиях плановой экономики в структуре оборотных средств предприятий ЛПК доминировала одна компонента – запасы товарно-материальных ценностей. Речь идет о запасах МБП и заделах незавершенного производства на лесозаготовках, запасах сырья и основных материалов в лесопотребляющих отраслях. Переход к новым условиям хозяйствования породил вторую значимую компоненту – дебиторскую задолженность

(рис. 1). Так, в целом по комплексу за 1996 г. в средства в расчетах было иммобилизовано чуть менее 50 % общей суммы текущих активов, т. е. почти каждый второй рубль их стоимости. При этом удельный вес дебиторских обязательств существенно колебался по отраслям (от 35 % в деревообработке до 58 % в ЦБП). При прочих равных условиях это предопределило различия в уровне коэффициента срочной ликвидности, максимальное значение которого по данным на начало 1997 г. составляло 78,8 % в ЦБП, а минимальное – 33,4 % в деревообработке при рекомендуемом уровне показателя 70 ... 80 % [3]. Если «очистить» дебиторскую задолженность от «сомнительных» и «безнадежных» долгов, то ситуация по отраслям не изменится, а уровень промежуточного коэффициента покрытия стремительно упадет (до 60,0 и 18,1 % соответственно). Это подтверждает факт о наличии просроченных обязательств покупателей продукции и прочих дебиторов в структуре оборотных средств лесопромышленных предприятий Архангельской области.

Подытоживая анализ коэффициентов абсолютной и срочной ликвидности и их нормативов по предприятиям ЛПК Архангельской области, следует заметить, что их использование в современных условиях едва ли актуально.

Во-первых, они не отражают реальной структуры оборотных средств, сложившейся на лесопромышленных предприятиях. Так, если исходить из установленных нормативов критериев платежеспособности

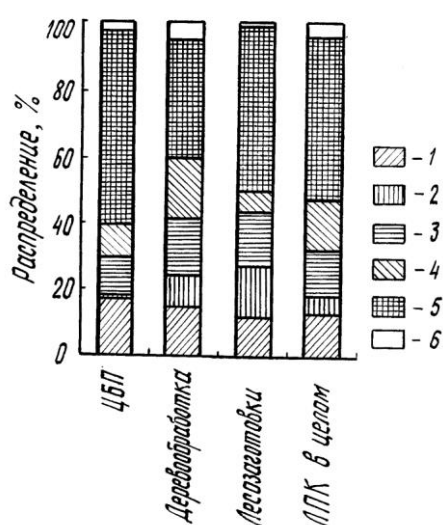


Рис. 1. Структура оборотных средств по отраслям ЛПК Архангельской области (по материалам статистики): 1 – производственные запасы; 2 – незавершенное производство; 3 – готовая продукция; 4 – прочие запасы и затраты; 5 – дебиторская задолженность; 6 – денежные средства

(включая коэффициент текущей ликвидности, равный 2), то «вырисовывается» следующая картина: товарно-материальные ценности – 65, дебиторская задолженность – 25, денежные средства и краткосрочные финансовые вложения – 10 %. По результатам наших исследований в ЛПК Архангельской области найдется совсем немного хозяйствующих субъектов, у которых структура оборотных средств близка в настоящее время к «идеальной».

Во-вторых, вызывает сомнение сам факт ликвидности дебиторской задолженности. По этому поводу Е. Стоянова [3] пишет: «Предприятие в условиях развитой рыночной экономики имеет целый ряд законодательно регламентированных возможностей, с помощью которых оно может взыскать долги со своего клиента». У нас же предприятию чаще приходится уповать и надеяться на так называемую «крышу», нежели на «торжество» и справедливость закона.

В-третьих, отсутствует какая-либо дифференциация нормативов коэффициентов по отраслям лесного комплекса. На наш взгляд, значения в лесоперерабатывающих отраслях, работающих с потребителями конечной продукции, должны быть выше, чем на лесозаготовках, где проявляется сезонный характер производства.

Двух первых недостатков можно избежать, если в качестве критерия платежеспособности использовать коэффициент текущей ликвидности, который представляет собой частное от деления оборотных средств на величину краткосрочных долгов и показывает, достаточно ли у предприятия (отрасли) средств для погашения своих краткосрочных обязательств в течение определенного периода.

Группировка лесопромышленных предприятий Архангельской области по общему коэффициенту покрытия на 01.01.97 г. приведена в таблице.

В соответствии с действовавшим в 1994–1997 гг. законодательством Российской Федерации о несостоятельности (банкротстве) [2] у 95 % хозяйствующих субъектов ЛПК были основания для признания структуры их балансов неудовлетворительной, а самих предприятий неплатежеспособными.

Большинство же исследователей склоняется к тому, что значение критерия оправдано, если оно находится в пределах от 1 до 3. Но и в этом случае почти 70 % хозяйствующих субъектов ЛПК оказывается под угрозой

Показатель	Коэффициент текущей ликвидности, %				
	0 ... 50	51 ... 100	101 ... 150	151 ... 200	> 200
Число предприятий:					
единицы	49	42	25	10	7
%	37	32	19	7	5
Дебиторская задолженность:					
млрд р.	581	685	297	649	7
%	26	31	13	29	1
Кредиторская задолженность:					
млрд р.	128	343	212	743	19
%	9	24	15	51	1

банкротства. Последнее относится в основном к лесозаготовительным предприятиям, где на начало 1997 г. общий коэффициент покрытия в среднем по отрасли составлял 65,9 % при 77,9 % в деревообработке и 129,7 % в ЦБП.

Это означает, что лесозаготовители в условиях перехода к рынку оказались в самом «уязвимом» и зависимом положении. Реализуя пиловочник по заниженным ценам, которые обеспечивают лесопереработчикам пусть минимальную, но прибыль, и не получая «живых» денег за продукцию, располагая грузом «неликвидов» в виде значительных заделов незавершенного производства и т. п., леспромхозы оказываются просто не в состоянии обеспечивать свою текущую платежеспособность, не говоря уже о модернизации и диверсификации производства.

Таким образом, возникает объективная необходимость в дифференциации уровня коэффициента текущей ликвидности по отраслям лесной промышленности при оценке финансового состояния предприятий.

Нами предложены следующие методические рекомендации по определению оптимального уровня платежеспособности.

Часто считают, что рентабельность и платежеспособность всегда однонаправлены, но это не так. Невозможно достичь высокого уровня прибыльности при одновременно высоком уровне ликвидности. Поэтому в данном случае речь может идти лишь об оптимальных значениях показателей.

В условиях рынка деятельность любых независимых субъектов хозяйствования направлена на максимизацию прибыли, которая выступает как целевая функция для предприятия (отрасли). Но при этом достаточный уровень платежеспособности должен быть определен как фактор, ограничивающий финансовый результат.

Так, результаты обследования балансов трех деревообрабатывающих предприятий Архангельской области за 1995-1996 гг. позволили выявить корреляционную зависимость между показателями рентабельности и платежеспособности (рис. 2). Авторы не претендуют на стопроцентную репрезентативность и точность выборки, ибо число обследуемых предприятий

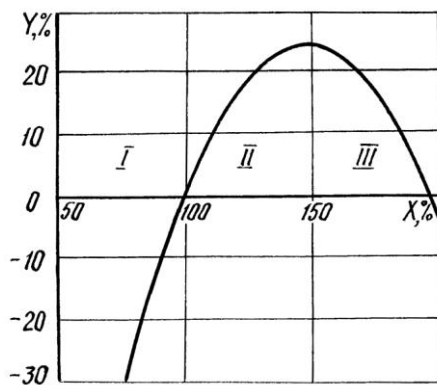


Рис. 2. Взаимосвязь коэффициента текущей ликвидности и рентабельности оборотных средств на деревообрабатывающих предприятиях

еще недостаточно велико. Их анализ будет осуществлен в ходе дальнейших исследований.

В общем виде уравнение регрессии имеет вид

$$Y = a X^2 + b X + c;$$

где Y – рентабельность оборотных средств, %;

X – коэффициент текущей ликвидности %;

a, b, c – параметры уравнения, причем $a < 0$.

Для рассмотренной выборки получено уравнение

$$Y = -0,0107 X^2 + 3,17 X - 209,58; R^2 = 0,9576.$$

Можно дать следующую экономическую интерпретацию рис. 2.

Участок I (зона неплатежеспособности) характеризуется крайне низким уровнем коэффициента текущей ликвидности. Собственные оборотные средства ничтожно малы или вообще являются отрицательной величиной. Предприятие (отрасль) вынуждено работать в долг, отсюда периодические сбои в производстве продукции и отсутствие или крайне низкий уровень прибыльности. Кстати, подавляющее большинство леспромхозов и многие лесозаводы и ЛДК Архангельской области по данным за 1996 г. работали именно по такой «схеме».

Участок II (зона достаточной платежеспособности) характеризуется оправданным значением коэффициента текущей ликвидности. Предприятие (отрасль) имеет достаточное количество собственных оборотных средств и при рациональной структуре оборотных активов может выйти на максимальный уровень прибыльности, которому соответствует оптимальное значение общего коэффициента покрытия.

Участок III (зона избыточной платежеспособности) характеризуется падением прибыли, приходящейся на 1 р. стоимости оборотных средств, вследствие нерациональной структуры капитала, когда большая часть оборотных активов формируется за счет собственных оборотных средств. Последние для субъектов хозяйствования чаще намного дороже, нежели кредиторская задолженность. По имеющейся у нас информации лишь одно из крупнейших предприятий деревообработки Архангельской области в 1996 г. выбрало именно такую политику в качестве приоритетной.

Итак, компромисс в решении «основной дилеммы финансового менеджмента: либо рентабельность, либо ликвидность [3]» может быть найден путем использования методов регрессионно-корреляционного анализа. Но этому должна предшествовать серьезная и кропотливая работа по сбору и обработке первичной информации на всех хозяйствующих субъектах ЛПК в разрезе отраслей. Так, в целях обеспечения сопоставимости показателей необходимо «объективизировать» балансы предприятий, т. е. пересчитать остатки оборотных средств в соответствии с каким-либо одним методом оценки товарно-материальных ценностей.

Выборка должна быть как можно более представительной, т. е. включать в себя на паритетной основе предприятия с низким, средним и высоким уровнями коэффициента текущей ликвидности.

Для дальнейших исследований представляет интерес и временная выборка по конкретным хозяйствующим субъектам ЛПК.

Построенные на такой основе уравнения регрессии укажут оптимальный (оправданный) уровень коэффициента текущей ликвидности по отраслям и отдельным предприятиям ЛПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Мамонтов Ю. Леспромхоз – не просто предприятие... //Волна. - 1997. - № 43.- С.1-2. [2]. Методические положения по оценке финансового состояния предприятия и установлению неудовлетворительной структуры баланса // Экономика и жизнь. - 1994. - № 44. - Информ.-рекл. прил. - С. 4-5. [3]. Финансовый менеджмент: теория и практика: Учеб. / Под ред. Е.С. Стояновой. - М.: Перспектива, 1996. - 405 с.

Поступила 21 апреля 1998 г.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 536.244.45

Э.Н. САБУРОВ, С.В. КАРПОВ, Н.В. СМОЛИНА

Сабуров Эдуард Николаевич родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, проректор по научной работе Архангельского государственного технического университета, академик Российской и Международной инженерных академий, Академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), Российской академии естественных наук, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 300 публикаций в области аэродинамики и конвективного теплообмена в сильно закрученных потоках, их использования для интенсификации процессов тепломассообмена в аппаратах различного технологического назначения.



Карпов Сергей Васильевич родился в 1945 г., окончил в 1967 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры теплотехники Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 научных трудов в области исследования теплофизических основ работы циклонных устройств различного технологического назначения.



Смолина Наталья Владимировна родилась в 1969 г., окончила в 1991 г. Архангельский лесотехнический институт, ассистент кафедры теплотехники Архангельского государственного технического университета. Имеет 7 научных трудов в области исследования теплофизических основ работы циклонных устройств различного технологического назначения.

ТЕПЛОТДАЧА НА БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА ЦИКЛОННЫХ КАМЕР С ДВУХСТОРОННИМ ТОРЦЕВЫМ ВЫВОДОМ ГАЗОВ

Рассмотрены особенности теплоотдачи на боковой поверхности циклонных устройств с двухсторонним торцевым выводом газов при варьировании всех их основных режимных и геометрических характеристик; разработаны обобщенные уравнения подобия для расчета локальных и средних коэффициентов теплоотдачи.

The peculiarities of heat exchange on the lateral surface of vortex devices with double acting frontal extraction of gases have been investigated under variation of their main mode and geometrical characteristics. The generalized equations of similarity are elaborated for calculating local and mean heat exchange coefficients.

Независимо от назначения циклонных камер, используемых в целлюлозно-бумажной и химической промышленности, важное значение для организации технологического процесса имеет интенсивность конвективного теплообмена на боковой поверхности их рабочего объема. Теплоотдача на боковой поверхности циклонных камер с односторонним выводом газов изучена достаточно полно [1, 4, 7–10]. Однако в литературе отсутствуют какие-либо данные по конвективному теплообмену в циклонных устройствах с двухсторонним отводом потока.

Цель настоящей работы – восполнить этот пробел, проанализировать влияние конструктивных параметров на интенсивность теплоотдачи боковой поверхности циклонов, получить расчетные уравнения для определения местных и средних коэффициентов теплообмена.

Исследование особенностей теплоотдачи циклонной камеры [5] с двухсторонним торцевым выводом газов выполнено на экспериментальном стенде, позволяющем варьировать в широком диапазоне ее относительные (по отношению к диаметру рабочего объема камеры $D_k = 160$ мм) размеры: длину $\bar{L}_k = L_k/D_k$, диаметр выходных торцевых отверстий $\bar{d}_{\text{вых}} = d_{\text{вых}}/D_k$, площадь входа потока $\bar{f}_{\text{вх}} = 4 f_{\text{вх}} / (\pi D_k^2)$. Теплоотдачу изучали методом изменения агрегатного состояния греющего агента – водяного пара [8,9]. Калориметр представлял из себя передвижную секцию. Его внутренний диаметр равен диаметру рабочего объема циклонной камеры. Рабочий (измерительный) участок калориметра имел длину 80 мм.

Исследованию теплоотдачи предшествовали опыты по изучению распределений скорости закрученного потока в пограничном слое на боковой поверхности рабочего объема рассматриваемой циклонной камеры. Для этих целей применяли специальную трехканальную плоскую микротрубку [8, 9].

Исследование касательного напряжения трения τ_w на поверхности выполнено по методу «трубка – выступ» [3], ранее использовавшемуся для аналогичных целей [8]. Число датчиков определяли из соображений надежности получаемых распределений $\tau_w(x)$ (x – координата, направленная вдоль поверхности по траектории движения потока вниз). Сечения замеров τ_w и скорости в пограничном слое совпадали. Опытами было установлено, что, как и в обычных циклонных камерах, в рассматриваемых распределение полной скорости v в пограничном слое может быть описано формулой

$$\bar{v} = \eta^k, \quad (1)$$

где $\bar{V}$ – безразмерная полная скорость потока, $\bar{V} = v / v_\delta$;
 v_δ – полная скорость потока на границе пристенного пограничного слоя;
 η – безразмерная координата, нормальная к боковой поверхности камеры,
 $\eta = y / \delta$;
 y – безразмерная координата;
 δ – толщина пограничного слоя;
 k – показатель степени;

а также формулой

$$v^+ = A \ln(y^+) + B, \quad (2)$$

где v^+ – безразмерная отнесенная к динамической полная скорость потока,
 $v^+ = v / (\tau_w / \rho)^{0.5}$;
 A, B – постоянные;
 y^+ – безразмерная координата, $y^+ = (y / \nu)(\tau_w / \rho)^{0.5}$;
 ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха;
 ρ – плотность воздуха.

Показатель степени в аппроксимации (1) в общем случае уменьшается по мере продвижения потока (периферийного обратного вихря) к среднему сечению камеры [9]. В сечениях, ближайших к месту ввода потока в камеру, его величина составляет 1/11, а в ближайших к среднему – 1/15. Эти результаты близки к ранее полученным в работах [7–9]. В совокупности с ними они свидетельствуют о сложной зависимости k от продольной координаты. Однако, на данном этапе исследований будем за определяющее принимать, как и в работах [7–9], среднее значение k для всей траектории. К аналогичному результату можно прийти, анализируя универсальные распределения v^+ .

Установлено, что в формуле (1) показатель $k = 1/13$. В формуле (2) в турбулентном ядре потока ($40 \leq y^+ \leq \delta^+$, где $\delta^+ = 600$) постоянные $A = 1,15$, $B = 11,20$, в области вязкого подслоя ($0 \leq y^+ \leq 5$) и промежуточного слоя ($5 \leq y^+ \leq \delta_{п.с}^+$, где $\delta_{п.с}^+ = (\delta_{п.с} / \nu)(\tau_w / \rho)^{0.5} = 40$ – безразмерная толщина промежуточного слоя) полученные распределения удовлетворительно соответствуют зависимостям, обычно наблюдаемым в этих областях на поверхности пластины и в трубах [9]. Заметим, что значения τ_w , использовавшиеся для построения универсальных распределений, вычисляли по полученной нами эмпирической формуле

$$C_{f\delta} = 0,03 \text{Re}_\delta^{-0,178}, \quad (3)$$

где $C_{f\delta}$ – коэффициент сопротивления трения, $C_{f\delta} = 2 \tau_w / (\rho v_\delta^2)$;

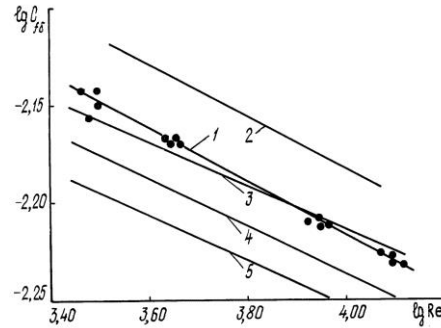
Re_δ – число Рейнольдса, $\text{Re}_\delta = v_\delta \delta / \nu$.

Отклонение большинства экспериментальных точек от обобщающей кривой построенной по формуле 3 (линия 1, рис. 1), не превышает $\pm 4\%$. На рис. 1 для сравнения приведены также данные для пластины 2, обтекаемой полуограниченной струей [10], коротких камер (3) с торцевым выводом газов ($\bar{L}_k = 1,65$) [5], длинных камер 4 с односторонним торцевым выводом газов ($\bar{L}_k = 2,63$) [8] и циклонных камер с периферийным выводом 5 газов ($\bar{L}_k = 1,57$) [7].

Из рис. 1 видно, что интенсивность поверхностного трения в циклонах с двухсторонним выводом газов, меньшая чем на пластине в плоскопараллельном потоке, в целом выше, чем в циклонных устройствах различной относительной длины с односторонней торцевой и периферийной системами отвода потока.

С помощью формул (2), (3) выполним анализ рассматриваемой задачи теплообмена. Для этой цели применим методику [7–9], ранее используемую для решений

Рис. 1. Коэффициент сопротивления трения на боковой поверхности циклонных камер с двухсторонним (1) и периферийным (5) выводом газов, пластины (2), короткой (3) и длинной (4) камер с торцевым выводом газов



аналогичных по постановке задач конвективного теплообмена и схеме движения струйного потока. Течение у боковой поверхности рабочего объема циклонной камеры с двухсторонним выводом газов представим в виде развитого турбулентного струйного потока, распространяющегося у криволинейной стенки с постоянным радиусом продольной кривизны R_w . Используя полученные в опытах распределения скорости (2), найдем распределения температуры в пограничном слое пристенного струйного потока:

при $0 \leq y^+ \leq 5$

$$v^+ = \text{Pr } y^+; \quad (4)$$

при $5 \leq y^+ \leq 40$

$$v^+ = 5 \text{Pr}_{\tau_0} \ln [1 + \text{Pr} / \text{Pr}_{\tau_0} (y^+ / 5 - 1)] + 5 \text{Pr}; \quad (5)$$

при $40 \leq y^+ \leq \delta^+$

$$v^+ = 5 \text{Pr}_{\tau_0} \ln [(1 + 7 \text{Pr} / \text{Pr}_{\tau_0}) + 0,23 \ln(y^+ / 40)] + 5 \text{Pr}, \quad (6)$$

где v^+ – безразмерная избыточная температура, $v^+ = (v \rho c_p / q_w)(\tau_w / \rho)^{0,5}$;

v – избыточная температура среды, $v = T - T_w$;

T – температура среды;

T_w – температура поверхности теплообмена (стенки);

c_p – теплоемкость среды при постоянном давлении;

q_w – плотность теплового потока на стенке;

Pr – физическое число Прандтля;

Pr_{τ_0} – турбулентное число Прандтля.

Подставив в выражение (6) вместо y^+ значение δ^+ , определим безразмерный температурный напор в пристенном пограничном слое:

$$v_{\delta}^+ = 5 \text{Pr}_{\tau_0} \ln [(1 + 7 \text{Pr} / \text{Pr}_{\tau_0}) + 0,62] + 5 \text{Pr}, \quad (7)$$

где $v_{\delta}^+ = (v_{\delta} \rho c_p / q_w)(\tau_w / \rho)^{0,5}$;

$v_{\delta} = T_{\delta} - T_w$ – избыточная температура среды на границе теплового пограничного слоя;

T_{δ} – температура на границе пристенного пограничного слоя.

Известные q_w и v_{δ}^+ позволяют получить [8] расчетное уравнение теплоотдачи:

$$\text{Nu} = \frac{0,131 \text{Pr Re}_{\text{вх}}^{0,921} \bar{x}^{-0,49}}{\text{Pr}_{\tau_0} [\ln(1 + 7 \text{Pr} / \text{Pr}_{\tau_0}) + 0,62] + \text{Pr}}, \quad (8)$$

где Nu – число Нуссельта, $\text{Nu} = \alpha_k D_k / \lambda$;

α_k – локальный коэффициент теплоотдачи;

λ – теплопроводность греющих газов;

$Re_{вх}$ – число Рейнольдса, $Re_{вх} = v_{вх} D_k / \nu_{вх}$;

$\bar{x}$ – безразмерная текущая координата, $\bar{x} = x / D_k$.

Принимая для воздуха $Pr = 0,72$, $Pr_{гб} = 0,9$ (из условия наилучшего совпадения опытных и расчетных данных), преобразуем уравнение (8) к виду

$$Nu = 0,032 Re_{вх}^{0,92} \bar{x}^{-0,49}. \quad (9)$$

Таблица 1

**Геометрические и режимные характеристики камеры
и результаты опытов**

Номер вари- анта	$\bar{d}_{вхх}$	$\bar{f}_{вх}$	$\bar{L}_k$	$\bar{z}$	$Re_{вх} \cdot 10^{-5}$	$\alpha_{кз}$ Вт/(м ² ·К)	Nu	Приме- чание*
1	0,2	0,04	5,25	1,13	1,0...2,6	40,8...81,2	253...506	
2	0,4	0,02	5,25	1,13	2,0...6,0	48,4...90,5	304...570	
3	0,4	0,04	5,25	1,13	1,8...4,5	54,0...113,9	334...709	
4	0,4	0,06	5,25	1,13	0,9...3,6	31,3...91,1	196...575	
5	0,4	0,08	5,25	1,13	0,8...3,0	36,1...81,0	288...530	
6	0,6	0,04	5,25	1,13	1,3...5,0	46,8...119,7	291...746	
7	0,8	0,04	5,25	1,13	1,4...5,4	39,4...109,0	244...679	
8	0,2	0,04	5,25	0,88	1,0...2,6	39,5...69,5	249...433	
9	0,4	0,04	5,25	0,88	1,8...4,5	42,7...87,8	264...544	
10	0,6	0,04	5,25	0,88	1,3...5,0	40,0...101,7	250...635	
11	0,8	0,04	5,25	0,88	1,4...5,4	39,1...80,0	242...499	
12	0,2	0,04	5,25	0,63	1,0...2,6	38,7...75,8	242...476	
13	0,4	0,04	5,25	0,63	1,8...4,5	38,6...87,6	236...546	
14	0,6	0,04	5,25	0,63	1,3...5,0	36,7...86,1	224...536	
15	0,8	0,04	5,25	0,63	1,4...5,4	26,0...76,9	162...481	
16	0,2	0,04	5,25	0,38	1,0...2,6	32,6...63,2	200...389	
17	0,4	0,04	5,25	0,38	1,8...4,5	36,0...77,1	219...474	
18	0,6	0,04	5,25	0,38	1,3...5,0	28,7...74,3	178...462	
19	0,6	0,04	5,25	0,38	1,4...5,1	33,6...83,9	207...517	
20	0,6	0,04	5,25	0,38	1,8...5,0	30,4...84,9	188...526	
21	0,6	0,04	5,25	0,38	1,4...5,0	31,3...81,2	192...480	
22	0,6	0,04	5,25	0,38	1,5...5,2	29,3...83,3	178...512	
23	0,8	0,04	5,25	0,38	1,4...5,4	23,6...67,5	144...415	
24	0,8	0,04	5,25	0,38	1,5...5,5	20,3...83,1	155...511	
25	0,4	0,04	18,0	7,50	1,3...5,0	44,8...124,6	276...770	
26	0,4	0,04	12,5	4,80	1,3...5,0	43,5...123,4	266...760	
27	0,4	0,04	9,00	3,00	1,3...5,0	41,8...115,2	255...707	
28	0,4	0,04	18,0	0	1,3...5,0	19,5...44,0	120...270	
29	0,4	0,04	12,5	0,25	1,3...5,0	22,2...57,5	137...353	
30	0,4	0,04	9,00	0	1,3...5,0	26,5...67,9	163...400	

* Обозначения опытных данных для рис. 2.

Известные распределения $\alpha_k(\bar{x})$, $Nu(\bar{x})$ позволяют определить среднеинтегральные значения коэффициента теплоотдачи $\alpha_{ср}$ и числа Нуссельта $Nu_{ср} = \alpha_{ср} D_k / \lambda$ на полной безразмерной расчетной длине спиральной траектории движения потока $\bar{X} = X/h_{вх}$. Например, при отсутствии начального необогреваемого участка, используя формулу (9), найдем

$$Nu_{ср} = 0,063 Re_{вх}^{0,921} \bar{X}^{-0,49}. \quad (10)$$

Результаты опытов, представленные в табл. 1 и в виде зависимости Nu от $Re_{вх}$, приведены на рис. 2 ($\bar{z} = z / D_k$ – безразмерная осевая координата, совпадающая с осью камеры и отсчитываемая от ее среднего сечения).

Как установлено, интенсивность теплоотдачи на боковой поверхности рабочего объема камер снижается с ростом координаты $\bar{x}$ (табл. 2), что подтверждено сопоставлением опытных данных с зависимостью (9) и с рекомендациями для камер с односторонним торцевым [8] и периферийным [7] выводом газов.

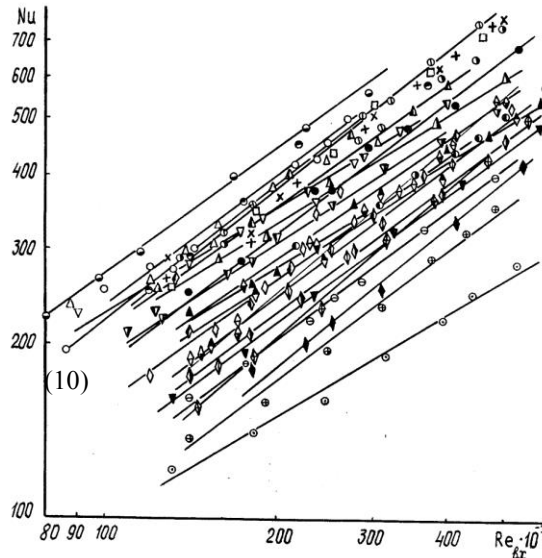


Рис. 2. Локальная теплоотдача на боковой поверхности циклонных камер с двухсторонним выводом газов (обозначения приведены в табл. 1)

Таблица 2

Изменение числа Nu вдоль траектории движения потока ($Re_{вх} = 4,2 \cdot 10^5$)

Безразмерная координата $\bar{x}$	Опытные данные	Расчетные данные (9)	Полученные ранее данные	
			[8]	[7]
46,8	710	702	640	880
72,4	613	591	496	693
91,2	548	514	424	601
106,6	477	488	392	567

Таблица 3

Изменение показателя степени n вдоль траектории движения потока

Безразмерная координата $\bar{x}$	Численные значения n при различных $\bar{d}_{вых}$			
	0,2	0,4	0,6	0,8
46,8	0,78	0,79	0,77	0,75
72,4	0,77	0,78	0,75	0,71
91,2	0,77	0,78	0,78	0,75
106,6	0,81	0,79	0,81	0,82

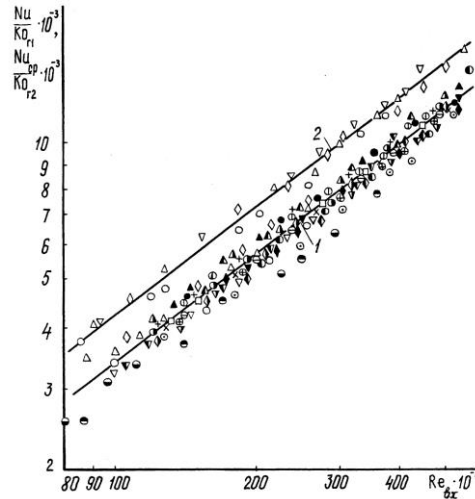


Рис. 3. Сопоставление экспериментальных данных с рассчитанными по формулам (12) – кривая 1 и (13) – кривая 2

верхности, находящейся рядом с закручивателем ($\bar{x} = 46,8 \dots 91,2$). В средних сечениях камеры ($0 \leq \bar{z} \leq 0,25$) наблюдали уменьшение ее в 2 раза при изменении $\bar{L}_k$ от 5,25 до 18,00.

Первоначально полученные в работе данные были обработаны при среднем статистическом значении показателя $n = 0,78$ в виде зависимости локального и среднего чисел Нуссельта от $Re_{вх}$ и безразмерных геометрических параметров камеры. Для расчета коэффициентов теплоотдачи предложены следующие уравнения: для локальных

$$Nu = 0,45 Re_{вх}^{0,78} Ko_{Г1}, \quad (12)$$

для средних

$$Nu_{cp} = 0,75 Re_{вх}^{0,78} Ko_{Г2}. \quad (13)$$

Здесь $Ko_{Г1} = \bar{f}_{вх}^{0,44} / (\bar{d}_{вых}^{0,25} \bar{L}_k^{0,018} \bar{x}^{0,4})$, $Ko_{Г2} = \bar{f}_{вх}^{0,44} / (\bar{d}_{вых}^{0,25} \bar{L}_k^{0,018} \bar{x}^{0,4})$ – геометрические безразмерные комплексы.

Отклонение опытных точек (рис. 3) от расчетной кривой (12) не превышает $\pm 12\%$, а от кривой (13) – $\pm 5\%$.

Если принять $n = 0,8$, то формулы (12), (13) примут следующий вид:

$$Nu = 0,33 Re_{вх}^{0,78} Ko_{Г1}; \quad (14)$$

$$Nu_{cp} = 0,55 Re_{вх}^{0,78} Ko_{Г2}. \quad (15)$$

Из формул (12)–(15) видно, что на боковой поверхности камер с двухсторонним выводом газов коэффициент теплоотдачи увеличивается (при прочих равных условиях) с ростом площади входа потока и высоты входных шлицев ($\alpha_k \sim \bar{f}_{вх}^{0,44}$ и $\alpha_k \sim h_{вх}^{0,4}$) и уменьшается с ростом диаметра выходного отверстия ($\alpha_k \sim \bar{d}_{вых}^{-0,25}$). Увеличение длины камеры и продольной координаты приводит к снижению интенсивности теплоотдачи (соответственно $\alpha_k \sim \bar{L}_k^{-0,018}$ и $\alpha_k \sim \bar{x}^{-0,4}$). Интенсивность теплоотдачи также снижается с увеличением диаметра камеры: при $n = 0,78$ – пропорционально $D_k^{-0,832}$, а при $n = 0,8$ – пропорционально $D_k^{-0,812}$.

В экспериментальной зависимости

$$Nu = A Re_{вх}^n \quad (11)$$

показатель степени n оказывается неоднозначно зависящим от продольной координаты $\bar{x}$ (табл. 3).

На интенсивность теплоотдачи оказывают влияние все геометрические характеристики камеры. Так, с увеличением $\bar{d}_{вых}$ от 0,2 до 0,8 интенсивность конвективного теплообмена на боковой поверхности рабочего объема снижается на 20 %, а при уменьшении $\bar{f}_{вх}$ от 0,08 до 0,02 – на 45 %. Показатель степени n в этом случае изменяется от 0,70 до 0,66 и имеет максимальное значение равное 0,82 при $\bar{f}_{вх} = 0,04$. Безразмерная длина камеры слабо влияет на теплоотдачу на части боковой по-

Полученные в работе данные позволяют для расчета использовать и схему решения [1, 9], следуя которой имеем

$$Nu_x = 0,046 Re_x^+, \quad (16)$$

где Nu_x – число Нуссельта, $Nu_x = \alpha_k x / \lambda$;

Re_x^+ – число Рейнольдса, $Re_x^+ = (\tau_w / \rho)^{0,5} x / \nu$.

Расчет средних коэффициентов теплоотдачи проведен аналогично

$$Nu_{cp} = 0,046 Re^+, \quad (17)$$

где Nu_{cp} – число Нуссельта, $Nu_{cp} = \alpha_k D_k / \lambda$;

Re^+ – число Рейнольдса, $Re^+ = (\tau_w / \rho)^{0,5} D_k / \nu$.

На рис. 4 приведено сопоставление опытных данных с результатами расчета по уравнению (17) и с зависимостями, рекомендуемыми в работах [1, 9]. Расхождение значений Nu , определяемых по кривым 1, 2, вероятно, связано главным образом с погрешностью эксперимента. Снижение Nu (при $Re^+ = \text{const}$) для обтекания выпуклой поверхности [9] (круглый цилиндр, соосный с рабочим объемом камеры) в большей степени определяется стабилизирующим влиянием центробежных сил, особенно для условий сконцентрированного (сосредоточенного) у цилиндрической поверхности потока (кривая 4).

Таким образом, в результате выполненного исследования установлено следующее.

1. Теплоотдача на боковой поверхности циклонных устройств с двухсторонним выводом газов отличается высокой интенсивностью.

2. В результате обобщения опытных данных, полученных при варьировании всех основных режимных и геометрических характеристик, разработаны обобщенные уравнения подобия для расчета локальных и средних коэффициентов теплоотдачи на боковой поверхности циклонных камер с двухсторонним выводом газов.

3. Полученное в работе хорошее совпадение расчетных и опытных данных по теплоотдаче на боковой поверхности циклонных камер свидетельствует о надежности результатов и позволяет рекомендовать их для практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бухман М.А., Устименко Б.П. К расчету конвективного теплообмена в циклонной камере // Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. – Алма-Ата, 1971. – Вып. 7. – С. 213–219. [2]. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам: (Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). / Под общ. ред. П.Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 192 с. [3]. Репик Е.У., Кузнецов В.К. Исследование нового метода опытного определения поверхностного трения в турбулентном погра-

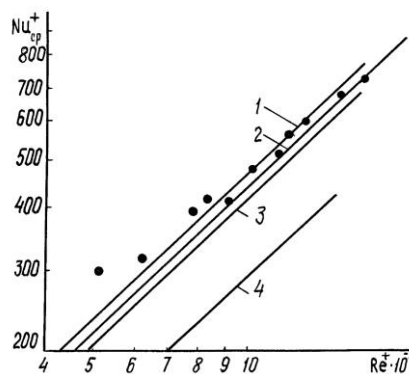


Рис. 4. Сопоставление экспериментальных данных с рассчитанными по формуле (17) (кривая 1) и полученными другими исследователями: 2 – [1], 3, 4 – [9]

ничном слое // Инж.-физ. журн.- 1980.- Т.38, № 2.- С.197-200. [4]. Сабуров Э.Н., Карпов С.В., Осташев С.И. Теплообмен и аэродинамика закрученного потока в циклонных устройствах / Под ред. Э.Н. Сабурова.- Л.: Изд-во ЛГУ, 1989.- 276 с. [5]. Сабуров Э.Н., Карпов С.В., Смолина Н.В. Аэродинамика циклонного устройства с симметричным вводом и двухсторонним торцевым выводом газов // Лесн. журн.- 1998.- № 1.- С. 127-136. – (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Сабуров Э.Н., Карпов С.В. Циклонные устройства в деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве / Под ред. Э.Н. Сабурова.- М.: Экология, 1993.- 368 с. [7]. Сабуров Э.Н., Леухин Ю.Л. Аэродинамика и теплообмен закрученного потока в цилиндрической камере // Инж.-физ. журн. - Т.48, № 3.- С.369-375. [8]. Сабуров Э.Н., Орехов А.Н. Исследование теплоотдачи в циклонных камерах большой относительной длины // Лесн. журн.-1994.- № 2.- С.124-135.- (Изв. высш. учеб. заведений). [9]. Сабуров Э.Н. Циклонные нагревательные устройства с интенсифицированным конвективным теплообменом. - Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1995.- 344 с. [10]. Сакипов З.Б. Теория и методы расчета полуограниченных струй и настильных факелов.- Алма-Ата: Наука КазССР, 1978.- 204 с. [11]. Справочник по теплообменникам / Пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др.- М.: Энергоатомиздат, 1987.- Т.2.- 352 с.

Поступила 24 марта 1998 г.

Вниманию читателей, проживающих за рубежом !

Вы можете оформить подписку
на «Лесной журнал»
серии «Известия высших учебных заведений»
по каталогу агентства «Роспечать»
«Russian Newspapers & Magazines - 2000».

Тел.: /007 095/ 195 6677, 195 6418

Факс: /007 095/ 195 1431, 785 1470

E-mail: ovs@rosp.ru

Web site at [http: // www.rosp.ru](http://www.rosp.ru)

Attention of Foreign Subscribers!

You can Subscribe to «Lesnoi Zhurnal» of «Proceedings
of Higher Educational Institutions»
through the «Rospechat» Agency Catalogue
«Russian Newspapers & Magazines - 2000».

Phone: /007 095/ 195 6677, 195 6418

Fax: /007 095/ 195 1431, 785 1470

E-mail: ovs@rosp.ru

Web site at [http: // www.rosp.ru](http://www.rosp.ru)

СТАНКИ

**ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ
ЕВРОПЕЙСКОГО КАЧЕСТВА
ОТ ОТЕЧЕСТВЕННОГО
ПРОИЗВОДИТЕЛЯ
МОДЕЛЕЙ С-25-5А, С16-42,
СК-1 (аналог «ЛАЙМЕТ»)**

ЗС4-1 (заточной), паркетное оборудование

а также:

- ✓ запчасти и комплектующие
- ✓ д/о инструмент
- ✓ пуско-наладочные работы
- ✓ гарантийное обслуживание
- ✓ доставка

Вся продукция сертифицирована!

Заказы можно направлять по адресу:
Россия, Новгородская обл., 174400, г. Боровичи,
ул. К. Либкнехта, д. 28.
Боровичский завод деревообрабатывающих станков
«Vector».

Тел.: (81664) 2-11-88, 2-14-66

Факс: (81664) 2-16-60.

Возможен бартер