

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

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

6

2004

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

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

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 6

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

---

Сдан в набор 12.10.2004. Подписан в печать 22.11.2004.  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.  
Уч.-изд. л. 16,9. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

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

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

*ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО*

- А.М. Тараканов.* Особенности рубок в осушаемых лесах Европейского Севера..... 7
- С.И. Рублев, И.А. Алексеев.* Комплекс дереворазрушающих грибов лиственницы Сукачева на пороге ареала..... 13
- Т.А. Шуляковская, Т.Ю. Ветчинникова.* Вариабельность физиологических показателей в онтогенезе сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.)..... 19

*ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ*

- А.И. Павлов, Ю.А. Ширнин.* Методика применения диагностической информации для выбора стратегии замены элементов гидропривода лесосечных машин..... 26
- А.М. Меньшиков, А.М. Копейкин.* Применение спектральных методов в исследованиях технологических процессов лесозаготовительного производства..... 31

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

- Ю.В. Бугаев.* Регрессионный метод поддержки принятия решений при оптимизации технологических процессов..... 42
- Л.С. Суровцева, Д.В. Иванов, М.М. Царева.* Анализ параметров технологической щепы, используемой в целлюлозно-бумажной промышленности..... 48
- Т.К. Курьянова, А.Д. Платонов.* Сушка древесины и ее качество после предварительной химической обработки..... 52
- И.И. Иванкин.* О выборе типа опор при определении начальной жесткости полосовых пил ..... 56

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

- Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров, И.Н. Ковернинский, Д.А. Дулькин.* Фракционирование вторичного волокна в центробежно-гидродинамическом фракционаторе..... 62
- М.В. Ефанов.* Ксантогенирование лигнина и целлюлозы в среде пропанола-2.. 90
- К.Б. Воронцов, Е.Д. Гельфанд.* К вопросу снижения сброса лигносульфонатов на сульфит-целлюлозных предприятиях..... 92
- В.К. Дубовый.* Снижение сульфатной минерализации оборотной воды при приготовлении бумагоподобных материалов из минеральных волокон с неорганическими связующими..... 96

*ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА*

- Н.П. Чупров.* К методике экономической оценки и доступности древесных ресурсов леса..... 103
- Г.П. Бутко.* Качество товара как основной элемент системы обеспечения конкурентоспособности..... 109

---

<i>И.А. Платонов.</i> Условия эффективности применения лизинговых операций при приобретении лесозаготовительного оборудования.....	116
<i>М.А. Меньшикова.</i> Организация внутреннего аудита на лесопромышленных предприятиях.....	124

*ЮБИЛЕИ*

<i>Ректорат и коллектив Московского государственного университета леса.</i> Юбилей Н.А. Моисеева.....	135
<i>В.К. Попов, М.П. Чернышов.</i> В.А. Бугаев – старейший педагог и ученый ВГЛТА (к 80-летию со дня рождения).....	137

---



## CONTENTS

*FORESTRY*

- A.M. Tarakanov.* Felling in Drained Forests of the European North..... 7  
*S.I. Rublev, I.A. Alekseev.* Wood-destroying Fungi Complex of Sukachev Larch on Natural Habitat Threshold..... 13  
*T.A. Shulyakovskaya, T.Yu. Vetchinnikova.* Variability of Physiological Factors in Ontogenesis of Scots Pine (*Pinus silvestris* L.)..... 19

*WOODEXPLOITATION*

- A.I. Pavlov, Yu. A. Shirmin.* Technique of Using Diagnostic Information for Selecting Strategies for Replacement of Hydraulic Drive Elements for Forest Machines..... 26  
*A.M. Menshikov, A.M. Kopeikin.* Use of Spectral Methods in Engineering Process Studies of Forest-harvesting Production..... 31

*MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE*

- Yu.V. Bugaev.* Regression Method of Decision Making Support in Technological Processes Optimization..... 42  
*L.S. Surovtseva, D.V. Ivanov, M.M. Tsareva.* Analysis of Pulpchips Parameters Applied in Pulp-and-Paper Industry..... 48  
*T.K. Kuryanova, A. D. Platonov.* Wood Drying and Quality after Chemical Pretreatment..... 52  
*I.I. Ivankin.* To Question of Support Types Selection when Determining Initial Stiffness of Band Saws ..... 56

*CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD*

- N.I. Yablochkin, V.I. Komarov, I.N. Koverninsky, D.A. Dulkan.* Fractionating of Secondary Fiber in Centrifugal-hydrodynamic Fractionator..... 62  
*M.E. Efanov.* Xanthation of Lignin and Cellulose in Propanol-2 Medium..... 90  
*K.B. Vorontsov, E. D. Gelfand.* To Question of Lignosulphonates Discharge Reduction at Sulphite-pulp Mills..... 92  
*V.K. Dubovy.* Reduction of Sulphate Mineralization of Recirculated Water when Cooking Paper-like Materials out of Mineral Fibers with Inorganic Binding Agents..... 96

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

- N.P. Chuprov.* On Technique of Economic Evaluation and Accessibility of Forest Wood Resources..... 103  
*G.P. Butko.* Goods Quality as Basic Element of Competitiveness Support..... 109  
*I.A. Platonov.* Use Efficiency Environment of Leasing Operations when Purchasing Forest-harvesting Equipment..... 116  
*M.A. Menshikova.* Organization of Internal Audit at Forest-industrial Enterprises... 124

*JUBILEES*

*University Administration and Collective of Moscow State Forest University.*  
    Jubilee of N.A. Moiseev..... 135

*V.K. Popov, M.P. Chernyshov. V.A. Bugaev – the Oldest Teacher and Scientist  
of Voronezh State Forest Technical Academy (to 80-th birthday)..... 137*

---

---



УДК 630\*24:630\*385

*А.М.Тараканов*

Тараканов Анатолий Михайлович родился в 1943 г., окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией лесоведения и гидролесомелиорации Северного НИИ лесного хозяйства. Имеет около 150 печатных работ в области изучения природы заболоченных лесов, эффективности гидролесомелиорации, моделирования роста и формирования осушаемых лесов и организации хозяйства в них.



### ОСОБЕННОСТИ РУБОК В ОСУШАЕМЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

Изложены основные принципы и отличительные особенности проведения рубок ухода и главного пользования в осушаемых лесах.

*Ключевые слова:* лесосушение, рубки ухода, способы рубок главного пользования, густота и полнота древостоя.

Специфика условий местопроизрастания, лесовозобновления и роста насаждений на осушаемых землях определяет необходимость обоснования требований к проведению рубок ухода и главного пользования. Наши опытные данные свидетельствуют, что использование программ и нормативов, разработанных для суходольных лесов, не всегда приводит к желаемым результатам.

Отличительной особенностью рубок ухода в осушаемых лесах в сравнении с лесами на минеральных почвах является более широкий диапазон возрастов по видам рубок, обусловленный разной отзывчивостью древостоев на осушение в зависимости от его интенсивности и продолжительности, возраста древостоев и условий местопроизрастания. При каждом виде ухода должны решаться определенные задачи по формированию насаждений. Однако в осушаемых лесах последовательное проведение всех видов рубок ухода не всегда возможно, а часто и не требуется, за исключением насаждений, возникших на осушаемых землях. Связано это с тем, что гидромелиорация проводится в лесах различного возраста. Зачастую внешние различия между древостоями, отличающимися по возрасту и давности осушения, трудно уловить. Поэтому при всех видах рубок решаются общие задачи улучшения породного состава, качественного состояния насаждений и условий роста деревьев главной породы. Для каждого конкретного насаждения в зависимости от его состояния и конечной цели лесовыращивания ре-

шаются и другие задачи. Основная цель рубок ухода в смешанных насаждениях – устранение заглушающего влияния лиственных пород на хвойные, а в чистых – регулирование густоты с одновременным отбором перспективных деревьев. В разновозрастных и сложных насаждениях должны решаться одновременно задачи всех или нескольких видов рубок ухода. В зависимости от целей и объекта ухода такие комплексные рубки могут относиться к различным видам.

Принимая во внимание особенности отзывчивости, роста и формирования древостоев после мелиоративного воздействия, следует отметить, что разделение рубок ухода на виды на основе возрастных критериев не всегда правомерно. Такая дифференциация применима лишь для насаждений, возникших на осушаемых вырубках и болотах. Для насаждений, испытавших период замедленного роста до осушения, при определении вида рубок ухода необходимо ориентироваться не на возраст древостоев, а на их рост и состояние в связи с продолжительностью осушения. Ранее на основе анализа хода роста осушаемых лесов было установлено, что значительное повышение прироста древостоев наступает через 10 ... 20 лет после мелиоративного воздействия. В этот период происходит дифференциация деревьев по отзывчивости на осушение, формируются высокополнотные насаждения и становится заметным негативное влияние лиственных пород на хвойные. При этом чем интенсивнее осушение и выше плодородие почв, тем больше появляется в составе лиственных пород и сильнее их влияние на хвойные.

В зависимости от происхождения и давности мелиорации насаждений, возраста и особенностей их роста в различных лесорастительных условиях, целей и методов проведения рубок ухода разделение их на виды целесообразно осуществлять по следующим критериям:

- уход за молодняками (осветления и прочистки) в возрасте до 40 лет по хвойным породам, если насаждения возникли на осушаемых землях, или при давности мелиорации 10 ... 15 лет и средней высоте древостоев до 6-7 м, если они были мелиорированы в стадии молодняков (до 40 лет); при запоздалом уходе средняя высота древостоев может быть выше – до 10 м;

- прореживания в южной части региона в возрасте насаждений 41 ... 60 лет, в северной – 41 ... 80 лет, если они возникли на осушаемых землях, или при давности мелиорации 15 ... 20 лет и средней высоте древостоев от 6-7 м до 15-16 м;

- проходные рубки – при давности осушения 15 ... 20 лет и средней высоте древостоев более 15-16 м;

- рубки переформирования – в средневозрастных и приспевающих насаждениях при давности осушения 15 ... 20 лет.

Основными показателями начала рубок ухода в осушаемых лесах любого возраста являются: переход роста насаждений от замедленного к интенсивному, увеличение полноты древостоев и сомкнутости полога в смешанных насаждениях более 0,7, в чистых более 0,8, неблагоприятное влияние лиственных пород на хвойные.

Молодняки	Средняя высота, м	Густота оставляемого древостоя, шт./га	
		оптимальная	минимальная
Сосняки	≤ 4	4500	2400
	5	3700	1900
	6	3000	1500
	7	2530	1300
	8	2200	1100
	9	1900	1000
	10	1600	900
Ельники	≤ 4	4900	2200
	5	4000	1800
	6	3250	1500
	7	2680	1260
	8	2300	1100
	9	2000	1000
	10	1700	900

В целях предотвращения чрезмерного подъема уровня почвенно-грунтовых вод при уходах в чистых молодняках сомкнутость не должна быть ниже 0,7, в смешанных – 0,5. При запоздалом уходе в молодняках, где хвойные породы образуют второй ярус под пологом мягколиственных пород, допускается вырубка лиственных пород за один прием, если хвойные (особенно ель) сильно не угнетены и могут успешно адаптироваться. Оптимальная и минимальная густота молодняков после ухода в зависимости от их средней высоты приведена в таблице.

При прореживаниях и проходных рубках полнота оставшегося после рубки древостоя не должна быть ниже 0,6 в чистых и 0,5 – в смешанных насаждениях. В чистых насаждениях меньшая полнота (до 0,5) допускается только при выраженном куртинном размещении деревьев. Границы потребности в прореживаниях и проходных рубках в сосняках и ельниках с различным породным составом и минимально допустимые абсолютные и относительные полноты после их проведения в зависимости от средней высоты древостоев представлены на рис. 1 и 2.

Первое прореживание становится актуальным, когда нижние ветки у сосны и березы отмирают примерно до высоты 4 м, а кроны еще не сузились. Живая крона ели должна составлять не менее 2/3 высоты дерева. Одним приемом прореживания следует удалять не более 1/3 запаса древостоя. Сроки повторных ухода уточняют при осмотре участков в натуре согласно приведенным нормативам. Применение каких-либо программ рубок ухода трудноосуществимо ввиду постоянной трансформации условий местопрорастания и специфических особенностей роста мелиорируемых лесов, а также меняющегося рынка сбыта продукции на современном уровне ведения лесного хозяйства.

Осушаемые леса, таксированные в практике лесоустройства как спелые и перестойные, в большинстве своем разновозрастные. В хвойных и хвойно-лиственных насаждениях возраст сосны и ели колеблется от 70 до

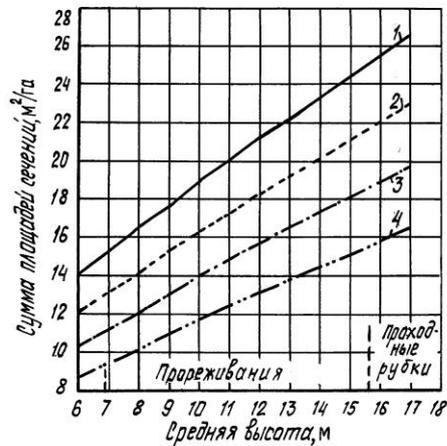


Рис. 1. Нормативы режима рубок ухода (прореживания, проходные рубки) в осушаемых сосновых насаждениях (исходные группы типов леса – травяно-болотные и сфагновые): 1 – граница потребности в рубках ухода в чистых и смешанных сосняках с участием лиственных до 5 единиц ( $P = 0,8$ ); 2 – то же в смешанных сосняках с участием лиственных более 5 единиц ( $P = 0,7$ ); 3 – минимальная полнота после рубок ухода в чистых сосняках ( $P = 0,6$ ); 4 – то же в смешанных сосняках ( $P = 0,5$ )

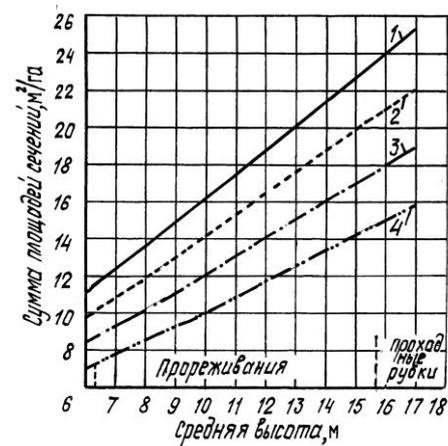


Рис. 2. Нормативы режима рубок ухода (прореживания, проходные рубки) в осушаемых еловых насаждениях (исходные группы типов леса – травяно-болотные, долгомошные и сфагновые): 1 – граница потребности в рубках ухода в ельниках с участием лиственных до 2 единиц ( $P = 0,8$ ); 2 – то же с участием лиственных от 3 до 7 единиц ( $P = 0,7$ ); 3 – минимальная полнота после рубок ухода в ельниках с участием лиственных до 2 единиц ( $P = 0,6$ ); 4 – то же в смешанных ельниках ( $P = 0,5$ )

300 лет. Основное поколение, как правило, представлено деревьями 140 ... 180 лет, которые составляют 40 ... 80 % запаса насаждения. Участие деревьев старше 180 лет достигает 20 ... 40 % запаса, а более молодых (70 ... 120 лет) обычно не превышает 20 %. В каждой ступени толщины имеются деревья разного возраста, однако в тонкомерных ступенях преобладают более молодые, а в толстомерных – более старые; наибольшая разновозрастность отмечается в центральных ступенях толщины. Преобладание высоковозрастных деревьев в толстомерных ступенях толщины позволяет проводить несплошные рубки главного пользования с определенного диаметра без клеймения деревьев. Отпускной диаметр деревьев разных пород и интенсивность выборки по числу стволов и запасу древесины устанавливается на основе распределения числа деревьев и запасов разных возрастных поколений по ступеням толщины. Например, анализ распределения ели по возрастным поколениям и ступеням толщины в разновозрастных травяно-сфагновых ельниках показывает, что деревья моложе 160 лет, прирост которых существенно увеличивается под влиянием осушения, состав-

ляют 60 ... 70 % и большинство из них (90 ... 95 %) сосредоточено в ступенях толщины 6 ... 16 см, а деревья старше 160 лет в основном представлены в ступенях 16 ... 32 см. В данном случае отпускной диаметр можно принять равным 18 ... 20 см. Интенсивность рубки при этом составит 20 ... 30 % по числу стволов и 40 ... 60 % по запасу древесины.

Способ рубки зависит от возрастного строения и породного состава насаждений, полноты и запаса древесины, наличия перспективных деревьев и подроста, устойчивости их после рубки, а также состояния гидромелиоративной сети и интенсивности осушения.

В разновозрастных хвойных, хвойно-лиственных и лиственно-хвойных насаждениях в первую очередь необходимо проводить несплошные рубки с выборкой высоковозрастных и фаутных деревьев, если это целесообразно по лесоводственным и экономическим условиям. Таким условиям соответствуют насаждения с полнотой не ниже 0,6 и запасом древесины не менее 100 м<sup>3</sup>/га, в которых слабоотзывчивые на осушение деревья сосны и ели старше 120 лет в сфагновых и долгомошно-сфагновых и 160 лет в травяно-болотной группах типов леса, а также березы старше 60 ... 70 лет составляют от 20 до 70 % запаса древостоя и можно заготовить не менее 50 м<sup>3</sup> древесины с 1 га.

Лесоводственная цель несплошных рубок – омоложение и оздоровление лесов, улучшение породного состава, повышение интенсивности роста перспективных деревьев и обеспечение сопутствующего лесовозобновления за счет выборки высоковозрастных и фаутных деревьев хвойных и лиственных пород и сохранения перспективной части древостоя и подроста. По характеру проведения они отвечают параметрам и условиям добровольно-выборочных, длительно-постепенных и комплексных рубок.

Первый прием таких рубок целесообразно проводить до осушения или в начальный период его. Однако из-за низких запасов древесины он может переноситься на более поздний срок. Второй прием выполняют через 30 ... 60 лет, т. е. в зависимости от давности осушения и наступления возраста спелости.

Добровольно-выборочные рубки проводят в абсолютно разновозрастных древостоях, интенсивность до 20 % по числу стволов и до 40 % по запасу древесины. После выборки высоковозрастных деревьев сохраняется абсолютная разновозрастность и устойчивость насаждений. Последующие приемы назначают по достижении возраста спелости следующих поколений, а интенсивность выборки уточняют в соответствии с характеристикой древостоев.

Длительно-постепенные рубки ведутся в древостоях с циклично и ступенчато-разновозрастной структурой. Интенсивность первого приема 15 ... 30 % по числу стволов и 40 ... 60 % по запасу древесины в зависимости от густоты, полноты древостоев и представленности перестойных деревьев. Полнота оставляемого древостоя не должна быть ниже 0,4-0,5. Второй прием проводят через 30 ... 60 лет в зависимости от давности осушения,

но не ранее наступления возраста количественной спелости в осушаемых лесах.

В лиственнично-еловых насаждениях с елью во втором ярусе выполняют комплексные рубки. Они сочетают элементы рубок ухода и главного пользования. Их цель – формирование ельников путем вырубki первого яруса березы и других лиственных пород за один или два приема. Предпочтение следует отдавать рубке лиственного яруса в два приема. В первый прием убирают 40 ... 50 % деревьев лиственных пород, во второй через 15 ... 20 лет интенсивность рубки доводят до 80 ... 90 %. Рубка лиственного яруса в один прием допускается в насаждениях, где ель под пологом не испытывает резкого угнетающего влияния и не снижает темпов роста в высоту. В последний прием проводят равномерно-постепенную или сплошную рубку сформировавшегося елового древостоя по достижении им возраста спелости.

Сплошные рубки назначают в спелых и перестойных насаждениях, где другие способы не обеспечивают формирования высокопродуктивных древостоев. К ним относятся: хвойные и хвойно-лиственные разновозрастные и условно-разновозрастные насаждения с преобладанием в составе перестойных деревьев (по запасу 70 % и более) и полнотой 0,5 и ниже, а также лиственные насаждения без второго яруса хвойных пород, имеющие эксплуатационные запасы древесины. При наличии под пологом благонадежного хвойного подроста и тонкомера при разработке лесосек применяют технику и технологии, обеспечивающие максимальное их сохранение, поскольку они наиболее отзывчивы на осушение и могут служить основой формирования высокопродуктивных древостоев после рубки\*.

Северный НИИ лесного хозяйства

Поступила 05.10.04

*A.M. Tarakanov*

### **Felling in Drained Forests of the European North**

The basic principles and distinctive features of thinning and final felling in the drained forests are provided.

---

\* *Артемьев А.И.* Формирование лесов на осушенных землях Европейского Севера / А.И. Артемьев, А.М. Тараканов // Экологические исследования в лесах Европейского Севера: сб. науч. тр. / АИЛиЛХ. – Архангельск, 1991. – С. 83–93.

УДК 630\*443.3:582.475.2 (470.343)

***С.И. Рублев, И.А. Алексеев***

Рублев Станислав Ильич родился в 1973 г., окончил в 1995 г. Марийский политехнический институт, межрайонный инженер-лесопатолог ФГУ «Центр защиты и авиационной охраны лесов Республики Марий Эл». Имеет 6 печатных работ по патологии и устойчивости лесов Среднего Поволжья.



Алексеев Иван Алексеевич родился в 1928 г., окончил в 1950 г. Поволжский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты Марийского государственного технического университета. Имеет 250 печатных работ в области лесозащиты.



**КОМПЛЕКС ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ  
ЛИСТВЕННОЦЫ СУКАЧЕВА  
НА ПОРОГЕ АРЕАЛА**

Выявлен состав и вредоносность дереворазрушающих грибов лиственницы в лесных культурах. Дана оценка санитарного состояния спелых насаждений с применением унифицированной методики.

*Ключевые слова:* лиственница, санитарное состояние, грибные болезни, отпад, жизнеспособность, условные фауности.

В литературе имеются сведения, что по территории Республики Марий Эл (РМЭ) проходила юго-западная граница ареала лиственницы Сукачева [5, 6, 10], но в настоящее время от Волги до средней полосы Кировской области в естественном виде лиственница практически не встречается. В Марий Эл она произрастает в культурах. За период 1951–1995 гг. в республике было создано около 10 тыс. га культур с участием лиственницы [9], однако на ее леса приходится всего 0,12 % покрытой лесом площади [11]. Исследованиями ряда ученых разработаны рекомендации технологий закладки лесных культур этой породы [8, 9, 12, 20]. Устойчивость лиственницы к факторам биотического происхождения в Средневолжском регионе не изучена.

Нами обследован один из старейших участков лесных культур лиственницы РМЭ в Сендинском лесничестве на площади 4,3 га. Согласно архивным материалам [13], культуры лиственницы Сукачева в Сендинской роще были заложены в 1912 г. лесничим С.Ф. Ильинским. Посадка производилась двухлетними сеянцами лиственницы, сосны и ели с размещением посадочных мест 3,0 × 1,5 м (2200 шт./га). Доля участия лиственницы – 40,



сосны – 40, ели – 20 %. Лесные культуры произрастают на свежей бурой лесной супесчаной почве, подстилаемой элювиально-делювиальными карбонатными пермскими суглинками. Тип леса – листвяг липняково-кисличниковый. К возрасту спелости здесь сформировались сложные высокополнотные насаждения Iб класса бонитета (табл. 1). Запас растущего леса на пробных площадях (ПП) составляет 590 ... 647 м<sup>3</sup>/га, средний прирост запаса 7,56 ... 8,22 м<sup>3</sup>/га, число растущих деревьев лиственницы – 108 ... 136 шт./га, которые дают 48,0 ... 85,2 % запаса I яруса древостоя. По биометрическим характеристикам лиственница превосходит другие хвойные: здесь можно увидеть деревья высотой 35 м и диаметром более 80 см.

Санитарное состояние культур лиственницы изучали с применением оригинальной методики [1, 3, 14]. Для упрощенной оценки использовали такие параметры, как фактический и нормальный текущий годичный отпад на 1 га, жизнеспособность растений, индекс санитарного состояния (табл. 2). Видовой состав возбудителей болезней определяли по плодовым телам [4], характерным гнилям и внешним признакам.

Нормальный отпад находили делением запаса растущего леса на коэффициент отпада при естественном изреживании [2]. К жизнеспособным относили здоровые и половину слегка ослабленных (условно здоровых) деревьев [7]. Индекс санитарного состояния растений определяли по формуле предпочтительных чисел с учетом значимости влияния на состояние растительного сообщества: например, здоровые – 100, свежий сухостой – 0 [3]. Запас годичного отпада I яруса древостоя на ПП 1 находится на уровне нормального естественного изреживания леса. На ПП 2 и 3, в основном по лиственнице, отпада нет и идет дальнейшее накопление запаса. Жизнеспособность и индекс состояния древостоев указывают в целом на удовлетворительное санитарное состояние культур.

Таблица 2

## Оценка состояния древостоев с участием лиственницы

№ ПП	Ярус	Нормальный текущий отпад, м <sup>3</sup> /га	Фактический годичный отпад		Жизнеспособность, %	Индекс состояния по И.А. Алексееву	Оценка состояния древостоя
			м <sup>3</sup> /га	Отклонение от нормального, %			
1	I	3,740	5,213	+39	50,4	60,6	Удовлетворительное « Плохое из-за угнетения
	в т.ч. Л	2,641	0,613	-77	59,3	69,0	
	II	0,483	0,553	-14	20,5	43,3	
2	I	3,871	2,433	-37	63,4	71,8	Удовлетворительное Хорошее
	в т.ч. Л	1,769	0	-100	70,3	77,9	
	II	0,416	0	-100	64,5	71,7	
3	I	2,890	0	-100	72,6	79,1	Удовлетворительное Хорошее «
	в т.ч. Л	2,392	0	-100	70,3	77,3	
	II	1,202	1,810	+51	66,4	74,7	

Таблица 3

## Средние условные фаутности хвойных пород в лесных культурах

№ ПП	Ярус, порода	Фаутность 1 дерева, дм <sup>3</sup>		Фаутность 1 м <sup>3</sup> запаса, дм <sup>3</sup>		Фаутность запаса на 1 га, дм <sup>3</sup>	
		общая	биотическая	общая	биотическая	общая	биотическая
1	I ярус:						
	среднее	134	59,1	124	57,0	79,6	36,7
	в т. ч. Л	118	58,7	102	40,8	44,6	17,9
	С	185	62,2	186	100,2	31,7	17,1
	Е	50	7,5	50	11,6	0,2	0,1
	II ярус, среднее	105	22,6	111	34,6	4,1	1,3
2	I ярус:						
	среднее	50	12,7	53	11,1	31,1	6,6
	в т. ч. Л	27	6,5	37	9,4	10,3	2,6
	С	55	13,3	67	12,6	14,8	2,8
	Е	112	48,3	103	2,9	3,2	0,9
	II ярус, среднее	44	12,1	52	15,3	2,5	0,7
3	I ярус:						
	среднее	47	11,5	45	15,9	23,5	9,9
	в т. ч. Л	60	32,2	52	24,4	20,7	9,8
	Е	65	5,0	66	5,3	1,4	0,1
	II ярус, среднее	98	36,9	85	15,6	14,3	2,6

Для оценки вредоносности возбудителей болезней мы использовали параметр условной фаутности – интегрированную оценку потерь древесины от конкретного порока в переводе на полное ее разрушение (дм<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> объема ствола) [3, 14]. В табл. 3 приведены биотические (связанные с болезненным состоянием дерева, развитием гнилей, повреждением насекомыми) и суммарные условные фаутности, куда включены пороки и абиотического происхождения.

Как видим, в исследованных насаждениях лиственница более устойчива к биологическому разрушению древесины, чем сосна. Биотическая фаутность 1 дерева лиственницы составляет 6,5 ... 58,7 дм<sup>3</sup>, сосны – 13,3 ... 62,2 дм<sup>3</sup>, 1 м<sup>3</sup> запаса лиственницы в 1,3 ... 2,4 раза меньше, чем у сосны.

Возбудителями болезней лиственницы явились грибы-ксилобионты, характерные для хвойных лесов республики. До 15,7 % общего количества деревьев поражено грибом *Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat., который вызывает ядровую бурую трещиноватую гниль корней и комлевой части ствола (условная фаутность  $U = 150$  дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> объема ствола). Заражение лиственницы происходит через поверхностные корни спорами и грибницей от больных деревьев сосны. Гниль из корней переходит в ствол. Гриб *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Bond. et Sing. (3,9 %) вызывает красно-бурю гниль комлевой части ствола ( $U = 200$  дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>). Деревья заражаются спорами гриба через различные поранения корней и нижней части ствола. *Armillariella mellea* (Vahl. ex Fr.) Karst. (3,9 %) – возбудитель белой заболонной гнили корней и комля стволов ( $U = 100$  дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>). Поражение лиственницы связано с переходом инфекции по корням с соседних пней лиственных пород. Гриб

*Fomitopsis pinicola* (Sw. ex Fr.) Karst. (5,9 %) вызывает комлевую заболонно-ядровую (сплошную) бурую призматическую гниль ( $U = 150 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ ). Развивается преимущественно на мертвом субстрате и изредка на растущих деревьях. Гриб *Dasyscypha willkommii* Hart. является возбудителем ступенчатого (дазисцифового) рака ( $U = 30 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ ). Признаки перенесенного заболевания обнаружены на 2,0 % деревьев. Развивается как сапротроф на сухих ветвях, переходит с них в ствол. На сухой боковой поверхности растущих деревьев лиственницы нами также обнаружены синева (2,0 %) и другие ненормальные окраски древесины от разных грибов (13,7 %).

В культурах Сендинской рощи найдены довольно редко встречающиеся в республике плодовые тела гриба *Onnia tomentosa* Karst., вызывающего бурую призматическую заболонно-ядровую гниль корней и комлевой части стволов хвойных деревьев ( $U = 100 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ ). Впервые в РМЭ обнаружено плодовое тело гриба *Polyporus osseus* Kolchbr., возбудителя светло-бурой гнили комлевой части стволов ( $U = 100 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ ); характерен для лиственничных лесов Урала, Сибири [4, 16], но в европейской части России является редким [4]. В то же время типичные для естественных лесов лиственничная губка (*Fomitopsis officinalis* (Will.) Bond. et Sing. ( $U = 250 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ )), сосновая губка (*Phellinus pini* (Thore ex Fr.) Pil., var. *laricis* (Jaer.) Ljub. ( $U = 250 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ )) и корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. ( $U = 100 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ )) в исследованных насаждениях не встречены. По нашему мнению, это связано с отсутствием источника инфекции. После того, как более чем 100 лет назад лиственница была уничтожена, исчезли и типичные для нее грибные болезни. Выявленный состав возбудителей болезней породы в Сендинской роще и в других лесах региона [17, 18] типичен для местной сосны и ели. При сходных почвенно-экологических условиях произрастания лиственница, по сравнению с сосной, лучше противостоит грибному разрушению; отмечается ее сравнительная устойчивость к поражению опенком и корневой губкой. Распространение опасных грибных болезней в лиственничных лесах республики в настоящее время несущественно.

Опыт интродукции лиственницы в Сендинском лесничестве показывает, что в условиях РМЭ при смешанном введении в лесные культуры она формирует высокопродуктивные, биологически устойчивые насаждения. Закладывать чистые культуры лиственницы нецелесообразно, прежде всего, из-за дороговизны посадочного материала, ввиду сравнительно низкой всхожести семян. К тому же в чистых культурах складываются наиболее благоприятные условия для возникновения эпифитотий опасных болезней [1, 19]. Рекомендуемые в литературе способы создания культур с редкой посадкой лиственницы и ухода за ней [15, 20] позволяют при экономии посадочного материала увеличить лесокультурную площадь, повысить продуктивность насаждений, усилить их экологические и защитные функции.

Лиственница Сендинской рощи произрастает в оригинальных почвенно-экологических условиях; здесь обнаружены редкие для лесов Марий Эл виды трутовых грибов; имеется пример формирования самосева лиственницы. Роща стала последним оплотом ареала лиственницы в республике. В ней еще сохранилось несколько старых деревьев естественного происхождения. По нашему мнению, Сендинской лиственничной роще следует придать статус ботанического памятника природы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев И.А.* Защита растений: болезни газонных трав: учеб.-справ. пособие / И.А. Алексеев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 334 с.
2. *Алексеев И.А.* Нормативные коэффициенты годичного отпада по запасу ели, сосны, пихты, лиственницы, березы, осины, липы, ольхи черной, ивы.: справоч. материал / И.А. Алексеев [и др.]. – Ижевск: ИГСХА, 2001. – С. 13.
3. *Алексеев И.А.* Новый способ оценки качества выращиваемого леса по условной фауности / И.А. Алексеев, Н.Б. Муравьева. – Йошкар-Ола, 1985. – 4 с. (Информ. листок Марийск. межотрасл. террит. центр НТИ и пропаганды; № 90–85).
4. *Бондарцев А.С.* Трутовые грибы европейской части СССР и Кавказа / А.С. Бондарцев. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. – 1116 с.
5. *Васильков Б.* К истории флоры Марийской области (из работ геоботанической экспедиции МарНИИ) / Б. Васильков // МАО. – 1933. – № 11–12. – С. 31–42.
6. *Гроздов Б.В.* Дендрология: учеб. для лесохоз. и лесомелиорат. ин-тов и фак. / Б.В. Гроздов. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 436 с.
7. *Дубровицкая Н.И.* Возраст и регенерация растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Н.И. Дубровицкая. – М.: МГУ, 1953. – 36 с.
8. *Карасева М.А.* Семеношение и рост лиственницы сибирской в условиях Марийской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / М.А. Карасева. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1990. – 19 с.
9. *Карасева М.А.* Лесные культуры лиственницы: учеб. пособие / М.А. Карасева. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1996. – 60 с.
10. Лесная энциклопедия. Т. 2. – М.: Сов. энциклопедия, 1986. – С. 13–17.
11. Лесной фонд России (по состоянию на 1 января 1998 г.): справочник. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. – 649 с.
12. *Незабудкин Г.К.* Типы лесных культур на землях гослесфонда Марийской АССР / Г.К. Незабудкин, Н.В. Еремин. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1969. – 31 с.
13. О принятии мер к разведению в казенных дачах Вятской губернии кедра, ильма, липы и лиственницы сибирской // Гос. архив Кировской обл., ф. 575, оп. 3, д. 25826.
14. Определение вредоносности пороков древесины на растущих деревьях и оценка качества стволов на корню: справ. материал / Сост. под рук. И.А. Алексеева. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 24 с.
15. Пат. 2181940 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 01 G 23/00. Способ посадки елово-лиственничных насаждений на вырубках / Алексеев И.А., Бердинских С.Ю., Рублев С.И., Коток О.Н.; заявитель и патентообладатель Марийск. гос. техн. ун-т. – № 98/218; заявл. 07.09.01; опубл. 10.02.02, Бюл. № 13. – 4 с.

16. *Попов В.В.* Лиственничные леса бассейна рек Маны и Кана в Восточных Саянах / В.В. Попов, Б.Н. Тихомиров // Лиственница сибирская.– Красноярск: Красгосиздат, 1940. – С. 3–37.

17. *Рублев С.И.* Состояние лиственничных и сосновых искусственно созданных насаждений Мари-Турекского района / С.И. Рублев // Третьи Вавиловские чтения: матер. Всерос. науч. конф. Ч. 2. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – С. 86.

18. *Рублев С.И.* Памятник природы «Лиственничная роща» в Сернурском лесхозе Республики Марий Эл / С.И. Рублев [и др.] // Экологические основы рационального лесопользования в Среднем Поволжье.– Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – С. 66–68.

19. *Соколов Д.В.* Корневая гниль от опенка и борьба с ней / Д.В. Соколов. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 194 с.

20. *Тимофеев В.П.* Лесные культуры лиственницы / В.П. Тимофеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 215 с.

ФГУ «Центр защиты и авиационной  
охраны лесов Республики Марий Эл»

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 08.10.02

*S.I. Rublev, I.A. Alekseev*

### **Wood-destroying Fungi Complex of Sukachev Larch on Natural Habitat Threshold**

Composition and harmfulness of larch wood-destroying fungi is detected in forest cultures. Sanitary state of mature stands is evaluated based on unified technique.

---

Таблица 1

## Таксационная характеристика культур лиственницы Сендинской рощи

№ ПП	Квартал Выдел	Состав	Возраст, лет	Средние		Полнота		Число растущих деревьев, шт./га	Запас растущего леса, м <sup>3</sup> /га	Средний прирост учтенного запаса, м <sup>3</sup> /га
				высота, м	диаметр, см	абсолют- ная, м <sup>2</sup> /га	относите- льная			
1	<u>12</u> 36	I ярус: 72Л24С1Е1П1Лп1Б	91	30,7	51,8	42,28	0,75	249	601,3	7,12
		в т.ч. Л	–	–	–	28,12	–	136	434,2	4,82
2	<u>17</u> 7	II ярус: 42Е22П8Б16Лп11Вз1Рб	50	15,0	19,9	6,43	0,18	212	46,0	1,01
		I ярус: 46Л38С5Е7Б3П1Лп	87	31,1	48,5	43,46	0,77	295	584,6	6,81
3	<u>18</u> 1	в т.ч. Л	–	–	–	19,92	–	108	280,9	3,23
		II ярус: 58Лп20Е14П8Вз	70	22,8	23,5	4,88	0,12	123	52,5	0,75
		I ярус: 83Л5Е10Б2Ос	90	32,7	53,4	32,76	0,59	192	457,7	5,29
		в т.ч. Л	–	–	–	27,20	–	121	389,9	4,43
		II ярус: 87Б4Л2Е2П4Лп1С	45	19,7	18,8	13,36	0,53	506	131,8	2,93
		в т.ч. Л	–	9,7	11,3	0,57	–	57	3,4	0,09

УДК 630\* 174.754

**Т.А. Шуляковская, Т.Ю. Ветчинникова**

Шуляковская Тамара Алексеевна родилась в 1951 г., окончила в 1973 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет 77 печатных работ по изучению роста и развития древесных растений.



Ветчинникова Татьяна Юрьевна родилась в 1980 г., окончила эколого-биологический факультет Петрозаводского государственного университета. Имеет 8 печатных работ по изучению роста и развития древесных растений.

2\*



**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ  
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
В ОНТОГЕНЕЗЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ  
(*PINUS SYLVESTRIS* L.)**

Проанализированы некоторые показатели основного метаболизма сосны обыкновенной на разных этапах онтогенеза в периоды роста и глубокого покоя. Выявлен ряд показателей с низкой вариабельностью на протяжении длительного индивидуального развития растений.

*Ключевые слова:* онтогенез, метаболизм, пигменты, углеводы, липиды, жирные кислоты, аминокислоты, сосна.

Индивидуальное развитие растения рассматривается как реализация наследственной программы под контролем внешних факторов [4]. В жизни древесных растений период прорастания семян и образования проростков (герминальный этап онтогенеза) является наиболее критическим [2]. В это время формируется первичный фотосинтетический аппарат. Специфика хвойных, в частности сосны обыкновенной, состоит в том, что семядоли проростков являются специализированным фотосинтезирующим органом, не выполняющим резервных функций [1, 12]. Уже через 2 сут после начала прорастания в зародышах семян сосны наблюдается синтез хлорофилла [3], и фотосинтез зеленеющего гипокотилия и семядолей начинается сразу после выхода этих частей растения на поверхность почвы [1]. На ювенильном этапе онтогенеза происходит формирование сеянца [5, 6]. У сосны обыкновенной данный этап начинается с момента появления эпикотилия и боковых корней первого порядка и завершается интенсивным укоренением, прижи-

ванием и «свободным» ростом сеянца [9]. В течение первых 20 лет сосны интенсивно растут в высоту, но не плодоносят. Затем начинается плодоношение, и в возрасте 40 ... 50 лет наступает период физиологического расцвета дерева, его прогрессирующего семеношения. Далее наблюдается активирование генеративной сферы, а к 160 годам наступает полная генеративная зрелость с максимальным семеношением и снижением интенсивности роста.

Изучение функционального состояния растений в процессе их индивидуального развития открывает возможности для целенаправленного управления морфогенезом, прогнозирования продуктивности, диагностики состояния насаждений и т. д. [2]. Возрастные физиологические особенности сосны изучены недостаточно. Целью данной работы являлось исследование физиологического состояния сосны обыкновенной на различных этапах онтогенеза, выявление показателей основного метаболизма с различной вариабельностью. Изучали важнейшие характеристики углеводного и липидного обменов, содержание пигментов, состав аминокислот в органах сосны, начиная с сухого семени (эмбриональный этап онтогенеза), 3-недельного проростка, 2-месячного всхода (герминальный этап) и кончая 1- и 2-летним сеянцем (ювенильный этап). Семена, использованные для выращивания проростков и сеянцев, были собраны на юге Карелии. Исследования проводили также в естественных сосновых насаждениях на территории заповедника «Кивач», где были выбраны участки с древостоями разного возраста: 5–7-летний подрост (имматурный этап), 15–20-летние деревья (виргинильный), 40–50- и 70–80-летние (вегетативно-репродуктивный), 160-летние и старше (репродуктивный этап онтогенеза). Первая пробная площадь с подростом находилась в сосняке-черничнике, где основному древостою около 50 лет, состав насаждения 9С1Б. Вторая–пятая пробные площади представлены сосняками-брусничниками. На второй – деревья сосны 15 ... 20 лет, без признаков цветения, состав 8С2Б; на третьей – деревья 40 ... 50 лет с единичными шишками и озимью на побегах, состав 10С; на четвертой – деревья 70 ... 80 лет, преобладает мужское цветение, состав насаждения 10С+Б; на пятой – обильно цветущие деревья сосны старше 160 лет (женское и мужское цветение), состав 10С. Таким образом, исследованиями были охвачены все этапы онтогенеза, кроме сенильного, т. е. этапа старения. По методикам определения содержания фракций углеводов, суммарных липидов, пигментов даны ссылки в нашей работе [10]. Состав и содержание аминокислот изучали с помощью аминокислотного анализатора ААА-339, жирнокислотный состав липидов – методом газожидкостной хроматографии на хроматографе «Chrom-5» с ионизационно-пламенным детектором. Анализы проводили в трех биологических повторностях и двух-трех аналитических. Результаты обработаны статистически [8].

По полученным нами данным (табл. 1), в семядолях 3-недельных проростков сосны отмечено высокое содержание пигментов. В хвое 1- и 2-летних сеянцев их уже вдвое меньше. У 5–20-летних деревьев в хвое суммарное количество пигментов около 3, у половозрелых 40–160-летних де-

ревяев – примерно 2 мг на 1 г сухого вещества. По мере развития сосны от проростков, в которых появились хлоропласты и начался фотосинтез, до взрослых семеносящих деревьев наблюдается снижение содержания суммарных пигментов, а также отдельно хлорофиллов и каротиноидов на единицу сухой массы хвои. При этом отношение хлорофилла «а» к хлорофиллу «б» на протяжении всего онтогенеза сохраняется около 3. Отношение суммы хлорофиллов к сумме каротиноидов у проростков и семян сосны немного меньше 3, у деревьев от 5 до 160 лет примерно одинаково и составляет от 3,2 до 3,6 (табл. 1). Следовательно, необходимое для нормальной фотосинтетической деятельности соотношение хлорофиллов «а» и «б», хлорофиллов и каротиноидов возникает в хвое сосны обыкновенной на раннем этапе онтогенеза (проростки), когда еще нет настоящей хвои, а фотосинтез проходит в семядолях, и сохраняется на протяжении всего жизненного цик-

Таблица 1  
Содержание пигментов в хвое сосны на разных этапах онтогенеза в период интенсивного роста (июнь)

Этап онтогенеза	Сумма пигментов	Сумма хлорофиллов «а»+ «б»	Каротиноиды	«а» / «б»	Хлорофиллы / каротиноиды
	мг/г сухого вещества				
Семядоли 3-недельных проростков	10,72±0,03	7,85±0,03	2,87±0,02	3,05±0,02	2,74±0,02
Хвоя двухлетних сеянцев:					
1-летняя	4,83±0,05	3,48±0,02	1,35±0,03	3,14±0,03	2,58±0,03
2-летняя	5,01±0,06	3,71±0,05	1,30±0,08	3,08±0,07	2,85±0,06
Деревья возраста, лет:					
5 ... 7	3,15±0,15	2,41±0,11	0,74±0,07	2,69±0,04	3,31±0,26
15 ... 20	2,72±0,13	2,06±0,08	0,66±0,06	3,05±0,13	3,15±0,20
40 ... 50	2,18±0,16	1,69±0,15	0,48±0,03	2,80±0,12	3,53±0,31
70 ... 80	1,98±0,14	1,49±0,09	0,49±0,05	3,01±0,20	3,59±0,35
> 160	2,06±0,10	1,58±0,05	0,48±0,05	3,10±0,07	3,38±0,26

Таблица 2  
Соотношение сумм углеводов на единицу сухой массы хвои и корней деревьев сосны разного возраста в различные фенофазы

Этап онтогенеза	Начальный период роста	Интенсивный рост	Период глубокого покоя
Сеянцы:			
1-летние	1,41	1,50	1,07
2-летние	1,12	1,40	1,23
Деревья возраста, лет:			
5 ... 7	1,29	1,35	1,16
15 ... 20	1,47	1,16	0,97
40 ... 50	1,40	1,53	1,01
70 ... 80	1,67	1,41	0,96

> 160		1,47		1,60		1,02
-------	--	------	--	------	--	------

ла дерева ( по крайней мере до 160 лет) на таком уровне. Отношение около 3 в обоих случаях, вероятно, является оптимальным.

От фотосинтеза в тканях, в первую очередь в хвое, зависит содержание углеводов. Наши экспериментальные данные показали, что отношение суммы углеводов в единице массы хвои к сумме углеводов в единице массы корней не претерпевает существенных изменений в процессе развития сосны от 1-летних сеянцев до 160-летних деревьев (табл. 2). Даже в 3-недельных проростках соотношение содержания суммарных углеводов в надземной части и корешках близко к данному показателю в сеянцах и деревьях сосны (1,08). Смена фазового годового цикла развития деревьев, а также этапов их онтогенеза влияет на фракционный состав углеводов. Так, на ранних этапах онтогенеза (вплоть до молодых неполовозрелых деревьев) в надземных органах сосны отмечается преимущество фракций растворимых углеводов, а с наступлением половой зрелости происходит сдвиг в сторону накопления нерастворимых углеводов, что означает удаление из обмена большего количества растворимых (низкомолекулярных) соединений углеводной природы и отложение их в составе структурных или запасных образований клетки. На всех этапах онтогенеза действуют одни и те же механизмы защиты растения от неблагоприятных условий зимы. Особенности метаболизма углеводов в связи с защитной функцией заключаются в распаде полисахаридов (крахмал и лабильные гемицеллюлозы) и увеличении доли растворимых углеводов во всех органах сосен разного возраста к периоду глубокого покоя.

Накопление суммарных липидов происходит наиболее интенсивно в хвое взрослых половозрелых деревьев сосны (40 ... 160 лет). У молодых плодоносящих деревьев (5 ... 20 лет) этот процесс проходит активней, чем у сеянцев. Получается, что по мере взросления сосны растет интенсивность накопления в хвое липидных веществ, которые являются наиболее энергоемкими запасными соединениями. Концентрация фосфолипидов увеличивается к периоду глубокого покоя во всех органах сосны любого возраста. Мы установили, что состав запасных липидов семян и почек сосны имеет определенные особенности: высокое содержание ненасыщенных жирных и диеновых кислот. При прорастании семян, а также при распускании почек в образовавшихся проростках (надземной части) и хвое молодых побегов меняется соотношение групп жирных кислот по степени ненасыщенности: снижается доля диеновых кислот, растет содержание насыщенных (рис. 1 и 2). Изменяется и состав кислот по длине углеродной цепочки: уменьшается доля  $C_{18}$ -кислот, зато увеличивается процент  $C_{16}$ -кислот и короткоцепочковых ( $C < 16$ ).

Рис. 1. Изменение жирнокислотного состава суммарных липидов при прорастании семян сосны обыкновенной: 1 – семена; 2 – 3-недельные проростки (надземная часть); 3 – 2-месячные всходы (надземная часть)

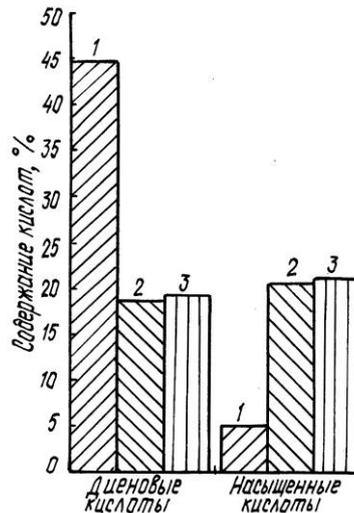
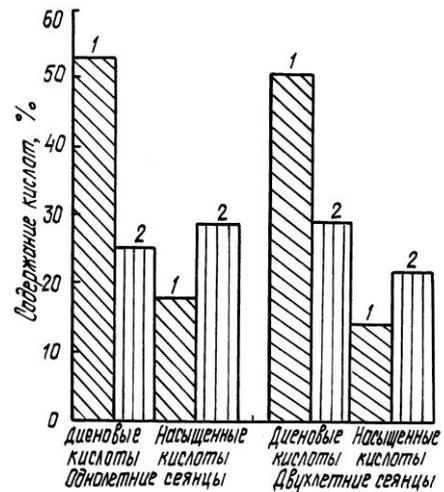
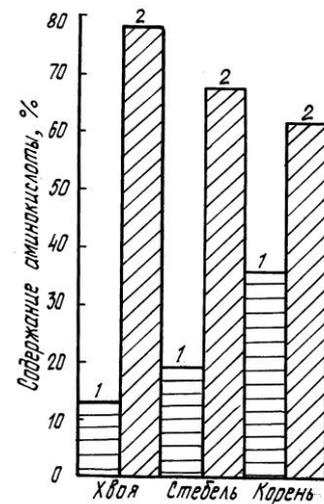


Рис. 2. Изменение жирнокислотного состава суммарных липидов при росте – распускании почек сосны обыкновенной: 1 – почки; 2 – хвоя



Отдельные аминокислоты в свободном состоянии имеют большое преимущество над остальными на том или ином этапе развития сосны. Так, в семенах, корнях сеянцев, а также в период покоя во всех органах сеянцев среди свободных аминокислот доминирует аргинин (рис. 3). Он представляет собой удобную форму запасания азота, в том числе и на период покоя, ввиду высокого процента азота в молекуле. В семенах он, вероятно, тормозит распад запасных белков до наступления благоприятных для прорастания условий. Глутаминовая кислота выходит на первое место по содержанию в сумме аминокислот в проросших семенах, а также в надземных органах сеянцев. Она свойственна растущим тканям, занимает центральное место в обмене аминокислот. В период покоя в орга-



нах семян глутаминовая кислота частично переходит путем декарбоксилирования в гамма-аминомасляную, являющуюся резервом глутамата. В органах деревьев сосны от 5 до 160 лет доминирующими являются глутаминовая и гамма-аминомасляная кислоты. Высоко в них также содержание аргинина, который вообще является аминокислотой, характерной для тканей хвойных, и в частности сосны [7, 11].

Таким образом, независимо от этапа онтогенеза сосны действует один и тот же механизм подготовки растения к периоду глубокого покоя, помогающий перенести без повреждений низкие температуры зимы: распад полисахаридов с образованием растворимых (низкомолекулярных) углеводов, синтез фосфолипидов и определенные изменения жирнокислотного состава липидов (поддержание необходимой степени ненасыщенности кислот), изменение соотношения свободных аминокислот (рост уровня аргинина, увеличение доли гамма-аминомасляной кислоты за счет глутаминовой) и т. д.

Рис. 3. Содержание свободного аргинина в органах однолетних семян сосны: 1 – период роста; 2 – период покоя

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веретенников А.В. К вопросу об интенсивности фотосинтеза различных частей всходов древесных растений / А.В. Веретенников // Лесн. журн. – 1986. – № 6. – С. 5–7. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Веретенников А.В. Основные физиологические процессы и условия внешней среды в онтогенезе древесных растений / А.В. Веретенников // Лесн. журн. – 1992. – № 5. – С. 9–14. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Возилова Л.Д. Формирование фотохимических систем хлоропластов у проростков сосны / Л.Д. Возилова, А.П. Стволова, К.А. Луговцева // Физиол. раст. – 1978. – Т. 25, вып. 1. – С. 118–122.
4. Горелов А.М. Некоторые аспекты информационной концепции онтогенеза растительного организма / А.М. Горелов // Матер. 11 Междунар. конф. «Изучение онтогенеза растений природных и культурных флор в ботанических учреждениях и дендропарках Евразии». – Белая Церковь, 1999. – С. 63–66.
5. Кирсанов В.А. Формирование и развитие кедровника зеленомошно-ягодникового на Северном Урале / В.А. Кирсанов // Тр. Ин-та экол. раст. и жив. УрНЦ АН СССР. – Свердловск, 1976. – Вып. 101. – С. 104–113.
6. Кулагин Ю.З. Адаптации по защите онтогенеза древесных растений / Ю.З. Кулагин // Адаптация древесных растений к экстремальным условиям среды. – Петрозаводск, 1984. – С. 4–20.
7. Момот Т.С. Синтез и выделение свободных аминокислот изолированными корнями ели европейской / Т.С. Момот // Лесоведение. – 1977. – № 3. – С. 42–46.
8. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. – Минск: Высш. шк., 1973. – 320 с.
9. Санников С.Н. Возрастная биология сосны обыкновенной в Зауралье / С.Н. Санников // Восстановительная и возрастная динамика лесов на Урале и в Зауралье: тр. Ин-та экол. раст. и жив. УрНЦ АН СССР. – Свердловск, 1976. – Вып. 101. – С. 124–165.
10. Шуляковская Т.А. Метаболизм сосны обыкновенной на разных этапах онтогенеза / Т.А. Шуляковская, Г.К. Канючкова, С.М. Шредерс // Лесоведение. – 1999. – № 5. – С. 63–69.
11. Durzan D.I. Nitrogen metabolism of *Picea glauca*. 1. Seasonal changes of free amino acids in buds, shoots, apices and leaves and the metabolism of uniformly labelled C-1-arginine by buds during the onset of dormancy / D.I. Durzan // Canad. J. Bot. – 1968. – Vol. 46, № 7. – P. 909–919.
12. Sasaki S. Effects of cotyledon and hypocotyl photosynthesis on growth of young pine seedlings / S. Sasaki, T.T. Kozlowsky // New Phytol. – 1970. – Vol. 69. – P. 493–500.

Институт леса КарНЦ РАН

Поступила 16.02.04

*T.A. Shulyakovskaya, T.Yu. Vetchinnikova*

**Variability of Physiological Factors in Ontogenesis of Scots Pine**  
**(*Pinus silvestris* L.)**

Some factors of the main metabolism of the Scots pine at various stages of ontogenesis in the growth period and deep dormancy have been analyzed. A number of factors with low variability during lengthy individual plant development has been revealed.

---



УДК 630\*377.44

*А.И. Павлов, Ю.А. Ширнин*

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет 183 печатные работы в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



### **МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЫБОРА СТРАТЕГИИ ЗАМЕНЫ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН**

Предложена методика, позволяющая обосновать рациональное время профилактических мероприятий по своевременной замене элементов гидросистемы с использованием теории дискретных марковских цепей.

*Ключевые слова:* лесосечная машина, гидропривод, эксплуатация, вероятность отказов, марковская цепь, остаточный ресурс.

Отказы элементов гидросистемы в процессе эксплуатации лесных машин существенно снижают эффективность их функционирования. Кроме потерь, связанных с простоем машины, значительный материальный ущерб наносят утечки рабочей жидкости при неисправности уплотнений или обрыве резиновых трубопроводов. Своевременное обнаружение и предупреждение дефектов делает возможным существенное уменьшение материальных потерь. Однако преждевременная замена элементов гидросистемы также сопровождается необоснованными расходами из-за недоиспользования их ресурса.

Цель нашего исследования – разработка методики, позволяющей обосновать рациональное время профилактических мероприятий по замене элементов гидросистемы. С точки зрения теории исследования операций рассмотрим следующие варианты постановки задачи:

а)  $\mathcal{E} \rightarrow \max \mathcal{E}$  при  $C \leq C_{\text{доп}}$ ;

б)  $C \rightarrow \min C$  при  $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E}_{\text{доп}}$ ,

где  $\mathcal{E}$ ,  $C$  – соответственно показатели эффективности функционирования (например производительности) и материальных затрат;

$\mathcal{E}_{\text{доп}}$ ,  $C_{\text{доп}}$  – предельно допустимые значения.

Будем считать рациональной стратегию, обеспечивающую  $\min C$  (вариант б). Ограничение по эффективности в данном случае фигурирует в неявном виде согласно условию равного времени безотказного функционирования сравниваемых вариантов (недоиспользованный ресурс или выход из строя элемента).

Пусть имеется элемент гидросистемы (например рукав высокого давления – РВД), состояние которого контролируют через определенный промежуток времени  $\Delta t$ . Допустим, что данный элемент может отказать только на этом промежутке, в течение которого с РВД могут произойти два случайных события:

$A$  – трубопровод вышел из строя (вероятность  $P$ );

$B$  – трубопровод остался исправным (вероятность  $1 - P$ ).

В результате этих событий система либо остается в исправном состоянии  $A_2$ , либо перейдет в неисправное  $A_1$ .

Заключение о степени изношенности трубопровода делают при его осмотре, поэтому можно предположить, что вероятность событий  $A$  и  $B$  зависит только от результатов предшествующего осмотра. Таким образом, последовательность испытаний, заключающихся в эксплуатации РВД в течение временных интервалов  $\Delta t$ , образует дискретную марковскую цепь. Поскольку вероятности переходов зависят только от результатов каждого предшествующего осмотра, то цепь является простой. Если предположить, что законы распределения времени безотказной работы для всех трубопроводов одинаковы, то данная марковская цепь обладает свойством однородности.

Следовательно, в данном случае имеет место простая однородная цепь Маркова, описываемая переходной матрицей вида

$$P_{[2]} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ P & 1 - P \end{vmatrix}.$$

Переходные вероятности  $P(A_1/A_1) = P_{11}$ ,  $P_{12} = 0$ . При попадании в состояние  $A_1$  требуется замена трубопровода. Среднее число попаданий в это состояние ( $N$ ) можно определить, пользуясь теорией марковских цепей [2, 3]:

$$N = (I - Q)^{-1}, \quad (1)$$

где  $I$  – единичная матрица;

$Q$  – матрица вероятностей переходов в состояние  $A_1$ .

Однако больший интерес представляет определение рациональной стратегии проведения профилактических мероприятий с использованием данных диагностики.

В нашем случае под  $K$ -й стратегией понимается решение о замене РВД или оставлении его в гидроприводе на дальнейший период эксплуатации  $\Delta t$ . Каждое такое решение связано либо с определенными доходами (за счет нормального функционирования машины), либо с расходами (простои, потери жидкости, стоимость трубопровода и т. д.). Поскольку при неудовлетворительном состоянии трубопровода (по диагностическому параметру)

принимается единственное решение о его замене, то в качестве исходного в дальнейшем берется состояние  $A_2$  (исправное). Составим таблицу возможных состояний, стратегий и доходов.

Состояние	Стратегия $K$	Вероятность перехода		Доход	
		$P_{i1}^k$	$P_{i2}^k$	$U_{i1}^k$	$U_{i2}^k$
$A_2$	Трубопровод заменяется	$P_{21}^{(1)}$	$P_{22}^{(1)}$	$U_{21}^{(1)}$	$U_{22}^{(1)}$
$A_2$	Трубопровод не заменяется	$P_{21}^{(2)}$	$P_{22}^{(2)}$	$U_{21}^{(2)}$	$U_{22}^{(2)}$

Среднее значение дохода за время  $t$  (наработка машины) можно определить в виде суммы:

$$U_i(n) = q_i + U_i(\bar{n} - 1), \quad (2)$$

где  $q_i$  – непосредственно ожидаемый доход (при одном шаге  $\Delta t$ ),

$$q_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} U_{ij};$$

$U_i(n-1)$  – полный средний доход в течение  $(n-1)$  шагов процесса,

$$U_i(n-1) = \sum_{j=1}^n P_{ij} U_{ij}(n-1).$$

Зависимость (2) учитывает вероятность появления какого-либо из рассматриваемых событий на каждом шаге (этапе) процесса и связанные с этим доходы или расходы.

Очевидно, оптимальная стратегия соответствует  $\max U_i(n)$ , что может быть получено при учете не только непосредственно ожидаемого дохода, но и всех последующих решений, т. е. при условии применения принципа оптимальности Беллмана [1], согласно которому управление на каждом шаге многошагового процесса должно быть оптимальным для всего процесса. Поскольку мы рассматриваем случайный процесс, то данная задача относится к классу задач стохастического динамического программирования. Для ее решения необходимы конкретные исходные данные.

Вероятности перехода ( $P_{ij}^k$ ) трубопровода из исправного состояния  $A_2$  в неисправное  $A_1$  определяли для летнего и зимнего периодов эксплуатации.

Доходы  $U_{ij}^k$  принимали следующими:

$$U_{21}^{(1)} = U - (U_{\text{пр}} + U_{\text{р.ж}} + U_{\text{тр}}), \quad (3)$$

где  $U$  – доход за счет бесперебойной работы машины в течение  $\Delta t = 250$  мото-ч;

$U_{\text{пр}}$  – стоимость простоя машины при наличии неисправности;

$U_{\text{р.ж}}$  – расход за счет потери рабочей жидкости при обрыве трубопровода;

$U_{\text{тр}}$  – стоимость трубопровода с учетом его замены.

$$U = \Pi_{\text{см}} \Delta t C_{\text{др}}, \quad (4)$$

где  $\Pi_{\text{см}}$  – сменная производительность машины;

$\Delta t_1$  – суммарное время работы машины в промежутке  $\Delta t$  при односменном режиме;

$C_{др}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> заготовленной древесины.

$$U_{пр} = k_{пр} T_{ср} k_p, \quad (5)$$

где  $k_{пр}$  – трудозатраты на устранение отказа;

$T_{ср}$  – часовая тарифная ставка ремонтных рабочих;

$k_p$  – районный коэффициент.

$$U_{тр} = C_{тр} + t T_{ср} k_p, \quad (6)$$

где  $C_{тр}$  – стоимость трубопровода;

$t$  – время устранения отказа.

$$U_{22}^{(1)} = U - (U_{тр} + U_{выр}), \quad (7)$$

где  $U_{выр}$  – потери при снижении выработки машины за счет простоя.

$$U_{21}^{(2)} = U - (U_{р.ж} + U_{пр}), \quad (8)$$

Таким образом, нами получена следующая матрица доходов:

$$R = \begin{vmatrix} U_{21}^1 & U_{22}^1 \\ U_{21}^2 & U_{22}^2 \end{vmatrix}.$$

Зная соответствующие вероятности переходов для летнего  $P_{ij}^k = P(A/B_1)$  и зимнего  $P_{ij}^k = P(A/B_2)$  периодов эксплуатации, можно определить непосредственно ожидаемый доход:

$$P_{ij}^k = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0,02 & 0,98 \end{vmatrix}; \quad q_1^1 = P_{21}^1 U_{21}^1 + P_{22}^1 U_{22}^1; \quad q_2^2 = P_{21}^2 U_{21}^2 + P_{22}^2 U_{22}^2.$$

Теперь подсчитаем средний ожидаемый доход в течение  $(n - 1)$  шагов процесса, начиная с последнего этапа, на котором  $\bar{U}(0) = U_2(0) = 0$ .

Значит, за один шаг до окончания процесса полный ожидаемый доход равен непосредственно ожидаемому:

$$\bar{U}_1(1) = q_1^1; \quad \bar{U}_2(1) = q_2^2.$$

За два шага до окончания процесса

$$\bar{U}_1(2) = P_{21}^1 \bar{U}_1(1) + P_{22}^1 \bar{U}_2(1); \quad \bar{U}_2(2) = P_{21}^2 \bar{U}_1(1) + P_{22}^2 \bar{U}_2(1).$$

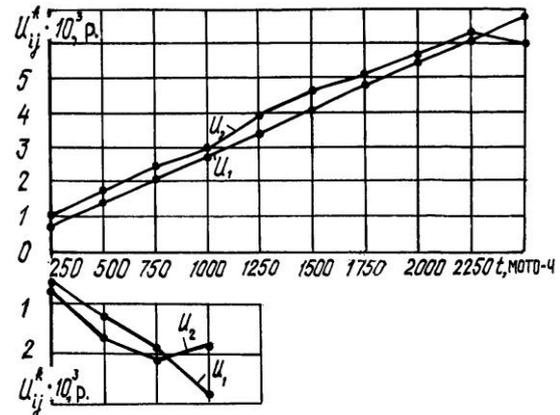
Тогда полный суммарный доход за два шага до смены модели равен

$$U_1(2) = q_1^1 + \bar{U}_1(2); \quad U_2(2) = q_2^2 + \bar{U}_2(2).$$

Аналогично определяем полный суммарный доход для последующих шагов процесса.

На основании полученных нами экспериментальных данных построены графики полных суммарных доходов при эксплуатации трубопровода летом и зимой (см. рисунок).

Полный суммарный доход при эксплуатации трубопровода летом (верхние графики) и зимой (нижние графики)



Анализ графиков показывает, что при эксплуатации машины в летний период оптимальная стратегия проведения профилактических работ по замене трубопроводов соответствует наработке 2300, в зимний – 800 мото-ч или максимальным суммарным доходам от эксплуатации. В дальнейшем наблюдается снижение дохода вследствие разрыва трубопроводов, что влечет за собой значительные потери рабочей жидкости и простои машины.

Таким образом, предлагаемая методика, основанная на использовании теории дискретных марковских цепей, позволяет применить диагностическую информацию для выбора рационального времени проведения профилактических мероприятий по своевременной замене элементов гидросистемы, что предотвратит материальный ущерб, связанный с простоями машины, а также необоснованные расходы при замене элементов гидросистемы с недоиспользованным ресурсом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калихман И.Л. Динамическое программирование в примерах и задачах: учеб. пособие / И.Л. Калихман, М.А. Войтенко. – М.: Высш. шк., 1979. – 125 с.
2. Кемени Д. Конечные цепи Маркова / Д. Кемени, Д. Снелл. – М.: Мир, 1968. – 286 с.
3. Ховард Р. Динамическое программирование и марковские процессы / Р. Ховард. – М.: Сов. радио, 1964. – 164 с.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 17.02.04

*A.I. Pavlov, Yu.A. Shirnin*

#### **Technique of Using Diagnostic Information for Selecting Strategies for Replacement of Hydraulic Drive Elements for Forest Machines**

Technique is suggested allowing to substantiate rational time of preventive measures for on-time replacement of hydraulics elements using the theory of discrete markov chains.

УДК 630\*3

**А.М. Меньшиков, А.М. Копейкин**

Меньшиков Александр Михайлович родился в 1958 г., окончил в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, заведующий лабораторией транспорта леса ОАО «Науцдревпром – ЦНИИМОД». Имеет более 10 печатных работ в области лесовозного транспорта.



Копейкин Адольф Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета, заслуженный работник лесной промышленности РФ. Имеет более 100 печатных трудов в области прогнозирования, технологии лесопиления и деревообработки.

**ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ  
В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

С позиций теории случайных функций рассмотрена внутренняя структура и динамика тренд-сезонных колебаний нестационарных технологических процессов вывозки древесины и производства круглых лесоматериалов предприятиями лесопромышленного комплекса. Предложена методика количественного определения силы, продолжительности действия и направленности взаимных связей параллельных технологических процессов лесозаготовок на основе кросс-спектрального анализа их динамических рядов.

*Ключевые слова:* лесозаготовительное производство, динамические временные ряды, спектральный анализ процессов.

Лесозаготовительное производство в целом и отдельные его фазы подвержены влиянию общей тенденции развития лесопромышленного комплекса, значительным сезонным колебаниям и воздействию случайных флуктуаций. Годовые ритмы идущих параллельно процессов лесосечных работ, вывозки древесины, производства круглых лесоматериалов, поставки автотранспортом сортиментов во двор потребителя взаимно обуславливают друг друга, а сезонные колебания объемов производства в них происходят почти синхронно. Пример годовых колебаний объемов производства на некоторых фазах лесозаготовок представлен на рис. 1.

Как видно, наиболее вероятные графики объемов производства у всех процессов идентичны. Они имеют вид W-образной осциллирующей кривой с двумя примерно равными по значению минимумами в периоды весенней и осенней распутицы. Периодичность колебаний явно выражена. Очевидно, что при таком характере протекания процессов их динамические

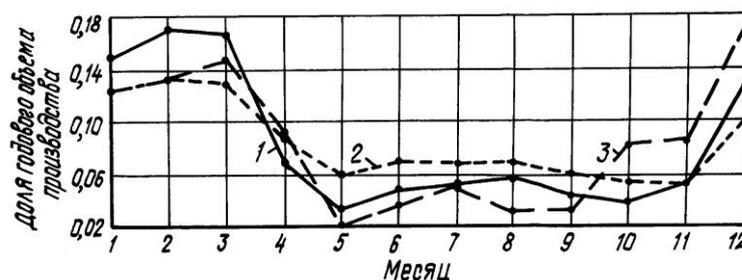


Рис. 1. Динамика объемов производства по фазам лесозаготовок в 2000 г.: 1 – вывозка древесины; 2 – производство круглых лесоматериалов; 3 – поставка сортиментов автотранспортом в Архангельский промузел

ряды не являются в статистическом отношении стационарными, содержат сильную автокорреляцию и потенциальную мультиколлинеарность уровней. Это исключает возможность прямого применения к ним распространенных методов многомерного статистического анализа, существенно затрудняет изолированный, тем более комплексный технологический анализ процессов.

Методологический подход к исследованию и анализу такого рода процессов в общем случае включает следующие этапы. На первой стадии формируют динамические временные ряды показателей. Далее предпринимают индуктивное разложение исходных временных рядов на детерминированные и стохастические компоненты с последующей аппроксимацией детерминированных составляющих функциональными моделями. Затем производят либо фильтрацию исходных рядов от случайных компонентов, либо элиминирование из исходных рядов систематических составляющих. При элиминировании ряды остатков должны соответствовать основным статистическим гипотезам, на которых базируются классические критерии согласия и методы многомерного статистического анализа, т. е. в максимальной степени отвечать свойствам белого шума и иметь наилучшее качество аппроксимирующих функций. Очевидно, что в результате изменяется лишь масштаб колебаний исходных данных, а остаточные ряды сохраняют всю информацию о вариации процесса и его внутренней структуре. В дальнейшем, в зависимости от цели исследования, используют сами функциональные модели, или остаточные ряды процессов [1–5].

Основываясь на данных методологических положениях, авторы ранее получили остаточный ряд обобщенного транспортно-технологического процесса вывозки древесины предприятиями лесопромышленного комплекса Архангельской области в 1998–2002 гг., обладающий свойствами белого шума [6]. На примере параллельных технологических процессов вывозки древесины и производства круглых лесоматериалов для одной и той же группы предприятий предпринята попытка количественно определить силу и направленность их взаимных связей. В основании анализируемых процессов лежат массивы месячных статистических данных из 3180 единиц каж-

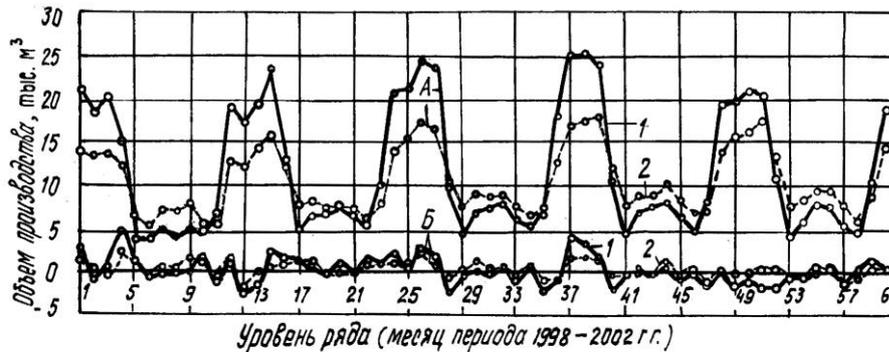


Рис. 2. Развертки динамических временных рядов процессов: *A* – исходные ряды; *B* – ряды остатков; 1 – вывозка древесины; 2 – производство круглых лесоматериалов

дый, собранных и агрегированных в динамические ряды из 60 уровней по разработанной нами методике [6]. Отсюда же взят остаточный ряд процесса вывозки древесины с соответствующими статистическими характеристиками.

Развертки временных рядов представлены на рис. 2.

Приняты следующие обозначения: отрезок времени, равный одному месяцу, обозначен индексом  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ ); одному году – индексом  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ ), текущие значения рассматриваемого периода времени – индексом  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ ), причем  $T = IJ$ . Уровни исходного ряда вывозки обозначены  $\{X_t\}$ , производства круглых лесоматериалов –  $\{Z_t\}$ . Тогда, по аналогии с процессом вывозки, каждому показателю процесса, характеризующему объем производства круглых лесоматериалов в  $i$ -м месяце  $j$ -го года, ставится в соответствие уровень динамического ряда:

$$z_t = y_t + s_t + e_t, \quad (1)$$

где  $y_t$ ,  $s_t$  – средние значения соответственно тренда и сезонной компоненты на отрезке времени  $t$ ;

$e_t$  – остаточные колебания.

Первые два слагаемых в правой части (1) представляют собой детерминированную систематическую составляющую процесса, которую необходимо определить какой-либо аналитической функцией времени с наилучшими аппроксимационными свойствами. Третье слагаемое в уравнении (1) является стохастической переменной, включающей остатки от аппроксимации функций тренда и сезонной составляющей, а также всевозможные случайные ошибки обмера, учета и первичной обработки исходных данных.

На рис. 3 показана динамика объемов вывозки древесины и производства круглых лесоматериалов в 1998–2002 гг.

Анализ динамики объемов производства ЛПК Архангельской области в 1998–2002 гг. показал, что для аппроксимации трендов в этом периоде времени наиболее подходящими являются квадратичные функции, а для се-

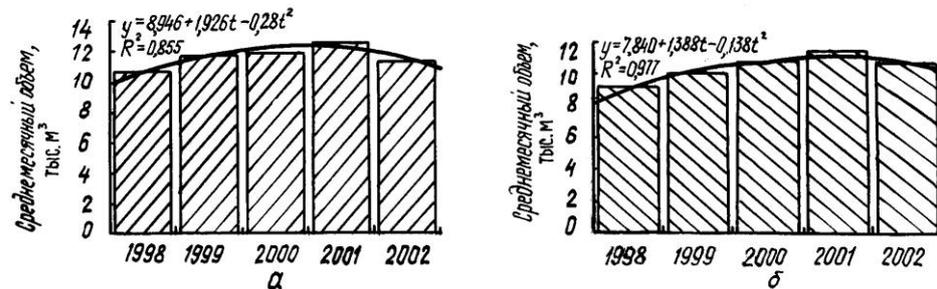


Рис. 3. Динамика годовых объемов вывозки древесины (а) и производства круглых лесоматериалов (б) в 1998 – 2002 гг.

зонных компонент – полигармонические функции Фурье [6]. Вследствие этого тренд ряда производства круглых лесоматериалов аппроксимировали параболой

$$\hat{y}(j) = 7,840 + 1,38j - 0,138j^2, \quad (2)$$

коэффициент детерминации составил  $R^2 = 0,977$ . Как видно на рис. 3, градиенты трендовых функций процессов почти аналогичны.

Произведя интерполяцию тренда внутри интервалов анализируемого периода, перейдем в формуле (2) от годичной переменной  $j = 1, 2, \dots, 12$  к текущей переменной  $t$ . Выражение для математического ожидания среднего значения тренда имеет вид

$$E[\bar{y}(t)] = \frac{1}{T} \int_0^T (7,840 + 0,116t - 9,583 \cdot 10^{-4} t^2) dt. \quad (3)$$

После интегрирования и преобразований формула (3) принимает окончательный вид

$$E[\bar{y}(t)] = 7,84 + 5,79 \cdot 10^{-2} T - 3,19 \cdot 10^{-4} T^2. \quad (4)$$

При подстановке  $T = 60$  в формулу (4) математическое ожидание среднего значения тренда ряда производства круглых лесоматериалов составило  $E[\bar{y}(t)] = 10,161$  тыс. м<sup>3</sup>/мес, что на 1,267 тыс. м<sup>3</sup>/мес меньше, чем значение тренда ряда вывозки древесины, равное 11,428 тыс. м<sup>3</sup>/мес [6]. Таким образом, среднестатистический выход круглых лесоматериалов в рассматриваемом периоде составил 88,9 % от объема вывезенной древесины.

Для аппроксимации сезонной компоненты использовали ряд Фурье

$$\hat{s}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N [a_n \cos n(t_h + j - 1) + b_n \sin n(t_h + j - 1)] \quad (5)$$

с коэффициентами

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} s(t) dt; \quad a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} s(t) \cos nt dt; \quad b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} s(t) \sin nt dt, \quad (6)$$

где  $n$  – число гармоник ряда Фурье,  $n = 1, 2, \dots, N$ .

Коэффициенты  $a_n, b_n$  определяли для опорного годичного интервала с использованием значений исходного ряда  $z(t_h), h = 1, 2, \dots, 12$ , представ-

ляющих собой средние арифметические объемов производства, вычисленные для пяти одноименных месяцев каждого года рассматриваемого периода. Расчет  $a_n$ ,  $b_n$  выполняли по итеративному алгоритму с использованием последовательно двух, трех и четырех первых гармоник ряда Фурье.

Получены следующие значения коэффициентов полинома (5):  $a_0/2 = 10,161$ ;  $a_1=3,621$ ;  $b_1 = 2,362$ ;  $a_2 = 1,373$ ;  $b_2=1,769$ ;  $a_3 = -0,286$ ;  $b_3 = -0,728$ ;  $a_4 = -0,122$ ;  $b_4 = -0,946$ .

Вычисленные значения оценок  $\hat{s}(t_h)$  в соответствующих частотах опорного интервала представлены в таблице.

Частоты, оценки	Месяц опорного интервала $t_h$											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\omega(t_h)$	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2}{3}\pi$	$\frac{5}{6}\pi$	$\pi$	$\frac{7}{6}\pi$	$\frac{4}{3}\pi$	$\frac{3}{2}\pi$	$\frac{5}{3}\pi$	$\frac{11}{6}\pi$
$\hat{s}(t_h)$	15,072	15,536	16,353	12,079	7,455	7,833	8,396	8,352	8,066	5,900	7,560	13,203

Далее, центрируя амплитуды полинома (5) в соответствующих частотах по математическому ожиданию функции тренда (2), получим аналитическое уравнение для тренд-сезонных изменений объемов производства круглых лесоматериалов в рассматриваемом периоде:

$$(\hat{y}_t + \hat{s}_t) = 7,840 + 0,116t - 9,583 \cdot 10^{-4} t^2 + \sum_{n=1}^{n=4} [a_n \cos n(\omega(t_h) + j - 1) + b_n \sin n(\omega(t_h) + j - 1)]. \quad (7)$$

Значения частот для месяцев  $t_h$  опорного интервала приведены в таблице.

Уровни остаточного ряда  $\{e_t\}$  определяли с помощью формулы (1), вычитая из  $z_t$  соответствующую детерминированную составляющую  $(\hat{y}_t + \hat{s}_t)$ , определенную по уравнению (7). Проверка нормальности распределения уровней с помощью показателей асимметрии и эксцесса, а также по R-критерию Романовского показала, что полученный остаточный ряд реализует гауссовский процесс. Вид остаточного ряда  $e_z$  показан на нижнем графике рис. 2.

Одновременно с вычислением значений остаточного ряда на каждой итерации по известным формулам [5] определяли первый циклический коэффициент автокорреляции  $r_1(z)$  и производили диагностику уравнения (7) с помощью теста Дарбина – Уотсона на автокорреляцию уровней ряда  $e_z(t)$ , а также проверку с помощью кумулятивной периодограммы  $Q_k$  на наличие в ряде существенных периодических составляющих. Граничные значения критериев принимали из работ [1, 4]. Расчеты показывают, что положительные результаты тестов получаются, как правило, при включении в представление Фурье в уравнении (7) четырех гармоник, т. е. при  $n = 4$ .

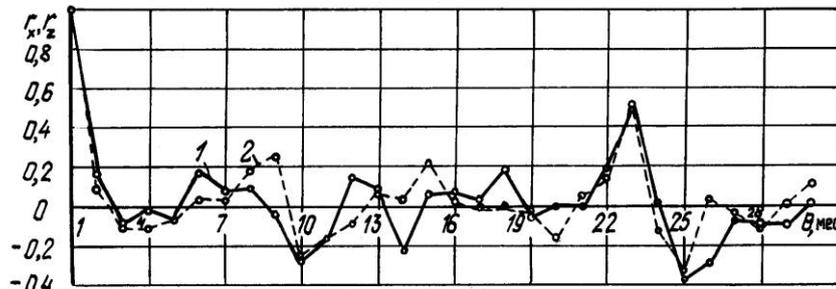


Рис. 4. Эмпирические коррелограммы одномерных остаточных рядов:  
1 – вывозка древесины; 2 – производство круглых лесоматериалов

Эмпирические коррелограммы остаточных рядов процессов  $\{X_t\}$  и  $\{Z_t\}$  представлены на рис. 4.

Малая величина первого коэффициента автокорреляции  $r_1(z) = 0,093$  и оценка  $\hat{d} = 1,661$ , превышающая верхнее табличное значение критерия Дарбина – Уотсона  $d_U = 1,608$  при расчетных степенях свободы свидетельствуют о том, что в рассматриваемом ряде остатков  $e_z(t)$  нет автокорреляции уровней. Однако обращают на себя внимание коэффициенты автокорреляции ряда производства круглых лесоматериалов  $r_{23}(z) = 0,494$  и  $r_{25}(z) = -0,327$ , почти совпадающие с соответствующими коэффициентами ряда остатков вывозки  $r_{23}(x) = 0,519$  и  $r_{25}(x) = -0,372$ . Совпадают при этом и коэффициенты взаимной корреляции процессов, вычисленные по следующей формуле [3]:

$$r_{\theta}(x, z) = C_{\theta}(x, z) / \sqrt{C_0(x) C_0(z)}. \quad (8)$$

Здесь  $\theta$  – временной сдвиг уровней,  $\theta = -n, -n + 1, \dots, n - 1, n$ ;  
 $n$  – размер используемого далее спектрального окна, принятого с учетом рекомендаций в [5], равный одному годовому циклу, т. е.  $n = 12$ ;

$C_{\theta}(x, z)$  – значения взаимных ковариаций при сдвиге  $\theta$ :

$$C_{\theta}(x, z) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T-\theta} (x_t - \bar{x})(z_{t+\theta} - \bar{z}); \quad (9)$$

$$C_{\theta}(x, z) = C_{-\theta}(z, x), \quad C_0(x, z) = C_0(z, x).$$

Графики взаимных корреляционных функций представлены на рис. 5. Из них видно, что коэффициенты взаимной корреляции принимают наибольшие абсолютные значения при временном сдвиге, равном 23 ... 25 мес.:  $r_{23}(x, z) = 0,584$  и  $r_{23}(z, x) = 0,378$ ,  $r_{25}(x, z) = -0,230$  и  $r_{25}(z, x) = -0,448$ . Это свидетельствует либо о присутствии в ряде элемента периодичности, проявляющегося с лагом примерно в два года, либо о так называемом «эффекте Слуцкого», когда в сравнительно гладких коррелограммах имеют место обособленные всплески, объясняемые лишь спецификой алгоритма суммирования случайных величин [3]. Второе предположение пред-

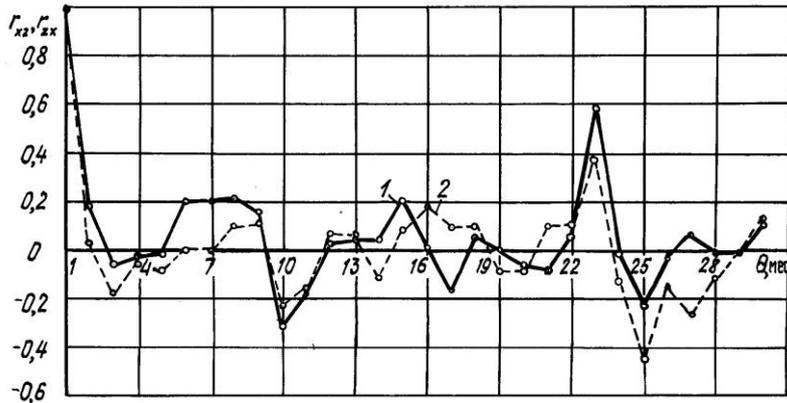


Рис. 5. Графики взаимных корреляционных функций:  
1 – вывозка – раскряжевка; 2 – раскряжевка – вывозка

ставляется в данном случае более вероятным, поскольку всплески обнаружались при временных сдвигах, превышающих предельное значение  $\theta \leq T/3 \dots T/6$ , рекомендуемое при использовании эмпирических коррелограмм в практических расчетах [3, 5]. Вопреки этим рекомендациям расчеты коррелограмм размером  $\theta = T/2 = 30$  выполнены лишь для того, чтобы проследить, как приспособливается в рассматриваемом периоде процесс  $\{Z_t\}$  к изменениям  $\{X_t\}$ ; в расчетах же спектральных характеристик использовали корреляционное окно, равное  $T/5$ .

Случайность всплеска в коррелограмме остаточного ряда  $e_z$  подтвердил и более мощный в отношении гармонических составляющих критерий кумулятивной периодограммы  $Q_k$ , применение которого графически показано на рис. 6. Как видно, все значения эмпирической кумулятивной периодограммы  $Q_k$  укладываются в 5 %-е доверительные интервалы, при этом они

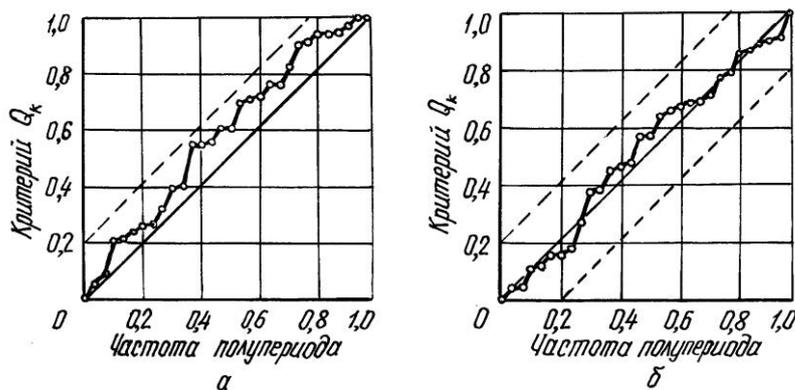


Рис. 6. Кумулятивные периодограммы остаточных рядов:  
а – вывозка древесины; б – производство круглых лесоматериалов

достаточно тесно группируются вблизи биссектрисы первого координатного угла квадрата, которая представляет собой теоретическую кумулятивную периодограмму абсолютно стационарного процесса. Этот критерий однозначно указывает на то, что ряд остатков  $e_z$  не содержит существенных периодических составляющих, т. е. на 5 %-м уровне значимости обладает свойствами белого шума и может далее использоваться для применения к нему спектральных методов (с этого момента термин «гармонические составляющие» по отношению к остаточным рядам будет применяться в смысле их спектрального представления Фурье).

Спектральную плотность остаточного ряда производства круглых лесоматериалов оценивали с использованием  $n$  – первых автоковариаций по той же формуле, что и для остаточного ряда вывозки [6]:

$$\hat{f}_z(\omega_k) = \frac{C_0(z)}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{\theta=1}^n \lambda_\theta C_\theta(z) \cos \omega_k \theta + \frac{2}{\pi} \sum_{\theta=\frac{n}{2}+1}^{n-1} \lambda_\theta C_\theta(z) \cos \omega_k \theta, \quad (10)$$

где  $\lambda_\theta$  – весовая функция Парзена [3]:

$$\lambda_\theta = \begin{cases} 1 - \frac{6\theta^2}{n^2} \left(1 - \frac{\theta}{n}\right) & \text{при } 0 \leq \theta \leq \frac{n}{2} \\ 2 \left(1 - \frac{\theta}{n}\right)^3 & \text{при } \frac{n}{2} < \theta \leq n \end{cases} \quad (11)$$

Спектральное окно проф. Парзена было принято нами потому, что его весовая функция отличается от других известных весовых функций очень незначительными боковыми выбросами (не более 0,2 % от основного максимума), а также дает для рассматриваемого спектрального окна всегда положительные значения  $\lambda_\theta$  [2, 3].

Оценки ко-спектров функций для частоты  $\omega_k$  с учетом наложенных на взаимные ковариации условий (9) определяли для обоих остаточных рядов по формуле [3, 5]:

$$\hat{c}(\omega_k) = \frac{\lambda_0}{4\pi} [C_0(x, z) + C_0(z, x)] + \frac{1}{2\pi} \sum_{\theta=1}^n \lambda_\theta [C_\theta(x, z) + C_\theta(z, x)] \cos \omega \theta, \quad (12)$$

а оценки квадратурных спектров на той же частоте по формуле:

$$\hat{q}(\omega_k) = \frac{1}{2\pi} \sum_{\theta=1}^n \lambda_\theta [C_\theta(x, z) - C_\theta(z, x)] \sin \omega \theta. \quad (13)$$

Оценки ко-спектров и квадратурных спектров представляют собой характеристики двумерного случайного процесса, реализацией которого является ряд пар  $\{e_x, e_z\}$ .

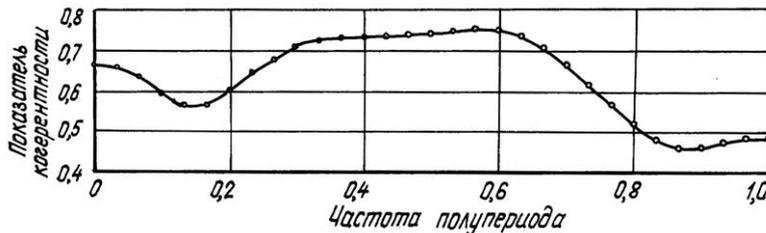


Рис. 7. График когерентности процессов вывозки древесины и производства круглых лесоматериалов

Показатель когерентности, характеризующий тесноту связи между гармоническими составляющими двухмерного процесса, определяли по формуле

$$C(\omega_k) = \frac{[\hat{c}(\omega_k)]^2 + [\hat{q}(\omega_k)]^2}{\hat{f}_x(\omega_k)\hat{f}_z(\omega_k)}, \quad (14)$$

где  $\hat{f}_x(\omega_k)$ ,  $\hat{f}_z(\omega_k)$  – оценки спектральных плотностей остаточных рядов соответственно вывозки и производства круглых лесоматериалов.

По аналогии с коэффициентом множественной корреляции, значение показателя когерентности находится в интервале  $0 \leq C(\omega_k) \leq 1$  (рис. 7).

Можно констатировать, что на графике когерентности в рассматриваемом периоде времени в целом наблюдается достаточно сильная взаимная связь процессов на 5 %-м уровне значимости. Эмпирический показатель когерентности принимает значения от 0,461 до 0,755, причем наиболее сильная и устойчивая по амплитуде когерентность процессов обнаруживается в частотном интервале, соответствующем периодам продолжительностью примерно от 3 до 6 мес. Когерентность средней силы с меняющейся амплитудой имеет место в двух интервалах частот: с периодом более полугодя (наименьшее значение взаимосвязи соответствует 1 году) и менее одного квартала, когда когерентность снижается до минимума.

Сдвиг фаз гармонических составляющих двухмерного процесса, являющийся аналогом сдвига уровней временного ряда одномерного процесса, определяли из выражений:

$$\varphi(\omega_k) = -\arctg\left(\frac{\hat{q}(\omega_k)}{\hat{c}(\omega_k)}\right) + \delta\pi, \quad \delta = \begin{cases} 0 & \text{при } \hat{c}(\omega_k) > 0 \\ 1 & \text{при } \hat{c}(\omega_k) < 0 \end{cases}, \quad (15)$$

$$\varphi(\omega_k) = \begin{cases} \pi/2 & \text{при } \hat{c}(\omega_k) = 0 \text{ и } \hat{q}(\omega_k) < 0 \\ -\pi/2 & \text{при } \hat{c}(\omega_k) = 0 \text{ и } \hat{q}(\omega_k) > 0 \end{cases}.$$

Графически изменение угла сдвига фаз показано на рис. 8.



Рис. 8. График опережающего сдвига фаз процесса вывозки по отношению к производству круглых лесоматериалов

Из графика видно, что в интервале низких и средних частот, соответствующих периодам более одного квартала, технологический процесс вывозки опережает по фазе производство круглых лесоматериалов, при этом значение угла опережения сильно колеблется и в целом имеет тенденцию к снижению. Размах колебаний угла опережения уменьшается от максимума, проявляющегося с периодичностью 15 мес и равного  $21^\circ$  (что соответствует временному лагу примерно 4 мес), до нуля в области 3-месячной периодичности. Это показывает, что уровень загрузки мощностей по производству круглых лесоматериалов и темпы его роста в рассмотренном периоде по отношению к вывозке значительно выше. В частотах, соответствующих 3-месячному периоду, график угла фазового сдвига гармонических составляющих процессов осциллирует вблизи нулевого значения. Это говорит о недостаточности межоперационных и межсезонных запасов древесины, в результате чего основные технологические линии нижних складов вынуждены приспособляться к режиму работы «с колес».

В целом на уровне лесопромышленного комплекса Архангельского региона такой характер взаимозависимости говорит о стагнации, а в определенные периоды – даже о регрессе производственных мощностей по вывозке древесины. Можно предположить, что у конкретных лесозаготовительных предприятий, использующих более или менее совершенные транспортно-технологические схемы, ритмичность и надежность лесообеспечения мощностей по производству круглых лесоматериалов будут отличаться от тех, что здесь рассмотрены. Предлагаемая методика позволяет вычислить и сравнить эти показатели и для конкретных предприятий, определить наиболее рациональные схемы. Однако в связи с большим объемом расчетов это выходит за рамки данной статьи и является предметом дальнейших исследований.

Таким образом, исследование технологических процессов лесозаготовок с позиций теории случайных процессов позволяет установить степень их разупорядоченности, причем даже при одинаковых объемах производства, оценить количественно силу их взаимосвязи с другими фазами лесозаготовок с учетом нестационарности, а также объективно определить направ-

ление и продолжительность отставания уровней взаимозависимых динамических рядов в различные периоды времени, что невозможно сделать, анализируя показатели порождающих процессов обычными способами.

Современное состояние математического и аппаратного обеспечения расчетов позволяет исследовать не только двухмерные процессы, но и по аналогии с множественной регрессией устанавливать методом кросс-спектрального анализа зависимость изучаемого ряда от двух и более рядов одновременно. Продуктивность спектрального анализа при исследовании технологических систем настолько велика, что иногда говорят о новом способе мышления, а не просто о техническом достижении в статистических методах. Очевидно, что применение спектральных методов позволяет производить технологический анализ и прогнозировать развитие процессов лесозаготовок на новом, более высоком уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж.Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – Вып. 2. – 197 с.
2. Грибанов Ю.И. Выборочные оценки спектральных характеристик стационарных случайных процессов / Ю.И. Грибанов, В.Л. Мальков. – М.: Энергия, 1978. – 149 с.
3. Гренджер К. Спектральный анализ временных рядов в экономике / К. Гренджер, М. Хатанака. – М.: Статистика, 1972. – 312 с.
4. Кендэлл М. Временные ряды / М. Кендэлл; пер. с англ. Ю.П. Лукашина. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 199 с.
5. Маленво Э. Статистические методы эконометрии / Э. Маленво; пер. с франц. – М.: Статистика, 1976. – Вып. 2, 4. – 325 с.
6. Меньшиков А.М. Анализ динамических рядов транспортно-технологических процессов вывозки древесины (на примере Архангельской области) / А.М. Меньшиков, А.М. Копейкин; ОАО «Научдревпром – ЦНИИМОД». Лесн. и деревооб. пром-сть. – Архангельск, 2003. – 40 с. – Деп. в ВИНТИ 15.12.2003, № 2177-В2003.

ОАО «Научдревпром – ЦНИИМОД»  
Архангельский государственный технический университет

Поступила 22.01.04

*A.M. Menshikov, A.M. Kopeikin*

#### **Use of Spectral Methods in Engineering Process Studies of Forest-harvesting Production**

The internal structure and dynamics of trend-seasonal fluctuations of time-dependent engineering processes of wood-harvesting and round-wood production by the forest-industrial enterprises are analyzed based on the random functions' theory. Technique of quantitative determination of force, operation duration and interconnections directivity for parallel technological processes of forest harvesting is offered based on cross-spectral analysis of their dynamic rows.



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 517

**Ю.В. Бугаев**

Бугаев Юрий Владимирович родился в 1952 г., окончил в 1975 г. Воронежский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры математического моделирования технологических систем Воронежской государственной технологической академии. Имеет более 30 научных работ, посвященных математическому моделированию технологических процессов глубокой переработки древесины, а также фундаментальным исследованиям в области векторной оптимизации и принятия решения.



### РЕГРЕССИОННЫЙ МЕТОД ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Предложен метод понижения размерности задачи многокритериальной оптимизации с помощью исключения критериев, представляющих собой выпуклую комбинацию остальных; эффективность метода продемонстрирована на примере оптимизации процесса прессования древесностружечных плит.

*Ключевые слова:* моделирование, оптимизация, множество Парето, уравнение регрессии, технологический процесс.

Функционирование любого сложного технологического процесса определяется большим числом показателей. Как правило, его качество не может полностью характеризоваться каким-либо одним критерием. Иными словами, при оптимизации технологического режима исследователь имеет дело с векторной задачей оптимизации вида

$$y_i(x) \rightarrow \text{opt}, i = 1, \dots, m; x \in D \subseteq E^n, \quad (1)$$

где  $x$  – вектор входных параметров;

$m$  – число критериев качества;

$D$  – область допустимых значений  $x$ ;

$E^n$  –  $n$ -мерное пространство.

В настоящее время наибольшее распространение получила двух-этапная [9] схема решения задачи (1). На первом этапе с помощью формальных алгоритмов строят набор неулучшаемых точек (обычно Парето-

оптимальных), из которых с помощью неформальных процедур с использованием экспертной информации находят оптимальный вариант.

Иногда применяют трехэтапный подход [5]. В этом случае на втором этапе находят не одну, а несколько (3 – 4) достаточно хороших и разнообразных альтернатив, которые поступают в распоряжение лица, принимающего решение. Из них с помощью детального анализа каждого варианта формируют окончательный выбор. К такой схеме прибегают тогда, когда принятие решения требует какой-либо дополнительной информации, например проведение добавочных экспериментов или применение более точных методов исследования.

Основная сложность второго этапа заключается в большой размерности решаемой задачи. Число критериев может достигать десятка и более, а построенный набор Парето-оптимальных точек – сотен и тысяч. Психологические эксперименты, описанные в [5–6], показывают, что человек при сравнении многомерных векторов не может работать со слишком большими размерностями и часть показателей просто не учитывает.

Анализ литературы, посвященной оптимизации процессов различных отраслей лесного комплекса (лесное хозяйство, лесная и деревообрабатывающая промышленность), показывает, что многие авторы применяют многокритериальный подход (например [1, 3, 4, 7, 8, 10]). Часто для решения проблемы многокритериального выбора они используют метод аддитивной или иной свертки. Суть метода сводится к оптимизации скалярной функции, например вида

$$F(x) = \sum_{j=1}^m \lambda_j y_j(x) \rightarrow \text{opt}, \quad (2)$$

где весовым коэффициентам  $\lambda_j$  задаются значения, которые, по мнению исследователя, адекватно отражают значимость каждого критерия и его вклад в общую полезность альтернативы.

Можно отметить, как минимум, три ошибки, которые при этом совершаются. Первые две весьма очевидны. Во-первых, известная теорема С. Карлина [2] утверждает, что оптимизация свертки (2) позволяет получить эффективную точку только для задачи выпуклого программирования, т. е. в общем случае нет никаких гарантий, что точка экстремума функции (2) будет не только лучшей, но даже эффективной по Парето.

Во-вторых, при задании значений  $\lambda_j$  необходимо учитывать масштабы критериев, поскольку каждый из них обычно имеет собственную единицу измерения и собственный диапазон изменения, и критерий, имеющий превосходящее численное значение, станет определяющим в формуле (2), влияние же остальных критериев не будет ощутимо.

Третья ошибка проистекает из невозможности детально проанализировать геометрию множества Парето в пространстве критериев. Назначая какие-либо значения  $\lambda_j$ , исследователь полагает, что указанные им соотношения между весами каким-то образом перенесутся на соответствующие значения критериев в найденной оптимальной точке. Например, если поло-

жить  $\lambda_1 = 1/3$ ;  $\lambda_2 = 2/3$ , то ожидается, что найденное значение критерия  $y_2(x)$  будет в два раза ближе к своему оптимальному значению, чем  $y_1(x)$ . На самом деле, результат такого действия обычно непредсказуем и иногда парадоксален.

В подтверждение этого рассмотрим пример. Пусть имеем следующую двухкритериальную задачу:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 \rightarrow \max; \\ y_2 &= x_2 \rightarrow \max \end{aligned}$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} x_1 &\geq 0; \quad x_2 \geq 0; \\ (x_1 + 10)^2 + (x_2 + 10)^2 &\leq 221. \end{aligned} \quad (3)$$

В этом примере соблюдаются как условия выпуклости, так и равного масштаба:  $0 \leq y_i \leq 1$ ,  $i = 1, 2$ .

Положим  $\lambda_1 = 19/40$ ;  $\lambda_2 = 21/40$ , ожидая, что в найденной оптимальной точке оба критерия будут удовлетворены примерно в равной степени. Однако, как несложно убедиться, максимум функции

$$F(x) = \frac{19}{40}x_1 + \frac{21}{40}x_2$$

при ограничениях (3) достигается при значениях  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 1$ , которые соответствуют максимуму второго критерия, первый критерий вообще проигнорирован. Использование, например,  $\lambda_1 = 21/40$ ;  $\lambda_2 = 19/40$  дает противоположную точку  $x_1 = 1$ ;  $x_2 = 0$ , в которой достигается максимум  $y_1(x)$ .

Данный пример, несмотря на явную искусственность, отнюдь не является исключением из правил. Дело в том, что в правильно поставленной задаче условной оптимизации экстремум достигается, как правило, на границе области  $D$  допустимых решений. А если два критерия действительно конфликтуют между собой, то их оптимальные точки находятся на достаточном удалении друг от друга. Именно эти точки устойчивы по отношению к варьированию коэффициентов  $\lambda_j$ .

Чтобы получить оптимальную точку где-то посередине между ними, значения  $\lambda$  надо задавать очень точно. Однако эти значения весьма приближенно будут отражать представления исследователя о значимости каждого критерия.

Высказанные замечания относятся не только к случаю применения функции (2). Можно привести примеры неудачного выбора весов и при использовании других популярных сверток:

мультипликативной

$$F(x) = \prod_{j=1}^m [y_j(x)]^{\lambda_j},$$

логической

$$F(x) = \min_j \lambda_j y_j(x).$$

Таким образом, необходимы специальные методы исследования наборов эффективных альтернатив с целью понижения размерности их описания до уровня, доступного экспертному анализу. Результатом явится комплекс реально конфликтующих критериев, т.е. такая их группа, в которой улучшение любого из них с неизбежностью приводит к ухудшению других. Исследования в этой области [12] показывают, что между критериями качества любой функционирующей системы возможны взаимодействия различного типа, причем конфликт не является обязательным явлением.

За основу предлагаемого метода возьмем две известные теоремы [9], согласно которым:

всякое решение, слабо-эффективное (эффективное по Слейтеру) на сокращенном наборе критериев, является слабо-эффективным и на полном наборе;

если какой-либо критерий является выпуклой комбинацией остальных, то его можно отбросить (при условии, что все критерии надо минимизировать или максимизировать).

Таким образом, предстоит выяснить существование выпуклых зависимостей каких-либо критериев от остальных, т.е. зависимостей вида

$$y_k(x) = \beta + \sum_{i \neq k} \alpha_i y_i(x); \quad \alpha_i \geq 0, \quad (4)$$

на множестве слабо-эффективных решений. Важно отметить, что подобная зависимость может не наблюдаться на всем множестве  $D$  [9]. Эту задачу можно с успехом решить средствами регрессионного анализа. После этого можно отбросить зависимые критерии и решать задачу принятия решений на сокращенном наборе целевых функций. Продемонстрируем этот метод на следующем примере.

Технологический режим процесса прессования древесностружечных плит определяют значениями двух входных параметров:  $x_1$  – влажность осмоленной стружки, %;  $x_2$  – параметр скорости сжатия, мин/мм. Имеется шесть показателей качества полученного изделия:  $y_1, y_2$  – пределы прочности плит при статическом изгибе и растяжении, МПа;  $y_3$  – количество токсинов, мг;  $y_4$  – степень разбухания, %;  $y_5$  – стоимость, руб./м<sup>2</sup>;  $y_6$  – атмосферная стойкость, усл.ед. В результате исследований, проведенных на кафедрах механической технологии древесины и автоматизации производственных процессов Воронежской ГЛТА [8], найдены регрессионные уравнения, связывающие значение каждого показателя с параметрами  $x_1$  и  $x_2$ :

$$\begin{aligned}
y_1 &= -36,5967 + 4,6714x_1 + 90,1706x_2 - 0,1057x_1^2 - 61,3329x_2^2 - \\
&\quad - 1,9048x_1x_2 \rightarrow \max; \\
y_2 &= -1,7303 + 0,1209x_1 + 4,5836x_2 - 0,0023x_1^2 - 4,1729x_2^2 - \\
&\quad - 0,0476x_1x_2 \rightarrow \max; \\
y_3 &= 13,8849 - 0,3380x_1 - 5,0621x_2 + 0,0094x_1^2 - 4,1729x_2^2 - \\
&\quad - 0,4762x_1x_2 \rightarrow \min; \\
y_4 &= 30,7117 - 3,4884x_1 + 172,3569x_2 + 0,1729x_1^2 - 183,9715x_2^2 - \\
&\quad - 5,0000x_1x_2 \rightarrow \min; \\
y_5 &= -348,0898 + 18,0227x_1 + 2081,7143x_2 - 0,3306x_1^2 - 1985,7800x_2^2 + \\
&\quad + 41,4286x_1x_2 \rightarrow \min; \\
y_6 &= -23,8373 + 0,5352x_1 + 70,8052x_2 - 0,0270x_1^2 - 143,4075x_2^2 + \\
&\quad + 5,0000x_1x_2 \rightarrow \max.
\end{aligned} \tag{5}$$

При поиске оптимального технологического режима были наложены следующие ограничения:

$$\begin{aligned}
11 \leq x_1 \leq 17; \quad 0,36 \leq x_2 \leq 0,50; \\
y_1(x) \geq 22; \quad y_2(x) \geq 0,4; \quad y_3(x) \leq 10; \quad y_4(x) \leq 22.
\end{aligned}$$

При таком большом количестве критериев процедура поиска оптимального варианта весьма сложна. Поэтому применим метод понижения размерности. Прежде всего, необходимо получить достаточно большой набор слабо-эффективных решений (или близких к ним), чтобы можно было выявить существование зависимости (4). Это легко сделать с помощью метода построения ЛПт-последовательности [11]. В результате при  $N = 16384$  пробных точек было получено 164 эффективных решения, область которых на множестве  $D$  входных параметров приближенно может быть определена условием

$$0,5482(x_1 - 15,5000) + 83,2055(x_2 - 0,4839) \geq 0,$$

а значения критериев укладываются в следующие границы:

$$\begin{aligned}
23,81 \leq y_1(x) \leq 25,88; \quad 0,4000 \leq y_2(x) \leq 0,5128; \quad 5,933 \leq y_3(x) \leq 7,256; \\
19,06 \leq y_4(x) \leq 22,00; \quad 649,5 \leq y_5(x) \leq 759,3; \quad 11,04 \leq y_6(x) \leq 19,52.
\end{aligned}$$

На полученном наборе, после переориентации всех критериев на минимум, с помощью стандартной программы регрессионного анализа было проверено наличие зависимости (4). Установлено, что критерии  $y_1, y_2, y_4$  связаны такой зависимостью с  $y_3, y_5, y_6$ , т. е. можно отбросить  $y_1, y_2, y_4$  и делать выбор посредством оставшихся целевых функций.

Было решено, что критерий стоимости  $y_5$  менее важен, чем два других. Поэтому был проведен поиск достаточно различающихся точек, в которых относительные величины  $y_3$  и  $y_6$  составляют соответственно не более 0,4 и не менее 0,6 от своего полного диапазона варьирования. Это означает,

Номер по порядку	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$
1	15,45	0,5000	25,38	0,4694	6,317	19,65	715,8	16,17
2	15,90	0,5000	25,57	0,4807	6,406	19,40	728,6	17,15
3	16,43	0,5000	25,73	0,4927	6,512	19,18	743,5	18,30

что в натуральных единицах отобранные точки должны удовлетворять ограничениям

$$6,52 \geq y_3(x); \quad 16,14 \leq y_6(x).$$

Найденный набор состоит из трех альтернатив, приведенных в таблице.

Выбор оптимального режима потребует (для повышения достоверности и точности) проведения дополнительных экспериментов вблизи отобранных точек, поскольку результат был получен на основе уравнений (5), имеющих определенную погрешность, но это выходит за рамки данной статьи.

#### Вывод

Предложенный метод успешно решает проблему понижения размерности задачи многокритериальной оптимизации при большом числе критериев и может быть рекомендован для поиска компромиссных решений при оптимизации процессов в отраслях лесного комплекса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудков А.Ю. Оптимизация раскряжевки хлыстов при лесозаготовках в малолесных районах: дисс. ... канд. техн. наук / А.Ю. Гудков. – Воронеж, 2003.
2. Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике / С. Карлин. – М.: Мир, 1964.
3. Князев А.В. Обоснование параметров и разработка конструкции многоступенчатого вальцового сепаратора для сортировки семян: дисс. ... канд. техн. наук / А.В. Князев. – Воронеж, 2001.
4. Кочегаров А.В. Обоснование конструкции и параметров бункера-дозатора решетной установки: дисс. ... канд. техн. наук / А.В. Кочегаров. – Воронеж, 2002.
5. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений / О.И. Ларичев. – М.: наука, 1979.
6. Ларичев О.И. Проблемы выявления предпочтений лиц, принимающих решение при бинарной оценке альтернатив и двоичных оценок на шкале критериев / О.И. Ларичев [и др.] // Тр. ВНИИСИ. – 1978. – Вып. 5.
7. Лихачева Л.Б. Прессование древесины вдоль волокон при изготовлении торцевого щитового паркета: дисс. ... канд. техн. наук / Л.Б. Лихачева. – Воронеж, 2001.
8. Платонов А.Д. Математическое моделирование и многокритериальная оптимизация технологии горячего прессования древесностружечных плит: дисс. ... канд. техн. наук / А.Д. Платонов. – Воронеж, 1996.
9. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: наука, 1982.

10. Сафонов А.О. Разработка теории и метода энергосберегающей автоматизированной технологии сушки древесных частиц в барабанных агрегатах: дисс. ... докт. техн. наук / А.О. Сафонов. – Воронеж, 2003.

11. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.В. Статников. – М.: наука, 1981.

12. Сысоев В.В. Конфликт. Сотрудничество. Независимость. Системное взаимодействие в структурно-параметрическом представлении / В.В. Сысоев. – М.: Моск. академия экономики и права, 1999.

Воронежская государственная  
технологическая академия

Поступила 15.07.04

*Yu. V. Bugaev*

### **Regression Method of Decision Making Support in Technological Processes Optimization**

Method of reducing dimension of multicriterion optimization problem using criteria exclusion represented by convex combination of other criteria is offered. The method efficiency is demonstrated based on the example of optimization process of wood chipboard pressing.

---

УДК 62-493

**Л.С. Суровцева, Д.В. Иванов, М.М. Царева**

Суровцева Любовь Савватьевна родилась в 1944 г., окончила в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 80 научных трудов в области комплексного, рационального использования древесины, совершенствования технологического процесса лесопильно-деревообрабатывающих производств.



Иванов Давид Васильевич родился в 1937 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 научных работ в области комплексного использования древесины, создания и совершенствования технологии и техники производства пиломатериалов и подготовки сырья к распиловке.



Царева Маргарита Михайловна родилась в 1950 г., окончила в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, старший преподаватель кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных работ в области раскроя и сушки пиломатериалов.



## **АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Проведена статистическая обработка результатов анализа параметров щепы для ЦБП, полученной на рубительных машинах МРН-150.

*Ключевые слова:* технологическая щепка, параметры и фракционный состав щепы, сортировка щепы на ситах.

В целлюлозно-бумажной отрасли около 95 % технологической щепы вырабатывается непосредственно на предприятиях. В качестве сырья используют балансы разных пород, при переработке которых получают частицы щепы разных размеров. Щепу подразделяют на фракции: А – остается на сите диаметром 30 мм, содержание в партии – 10 %; В – диаметр сита 20 мм, содержание в партии – 40 ... 50 %; С – 10 мм, 45 ... 50 %; Д – 5 мм, 4 ... 5 %; Е – остается на поддоне, 1 ... 2 %.

Крупную щепу фракции А сразу отправляют на повторную дообработку. Доля щепы фракции Д мала и не может оказать существенного

влияния на количество кондиционной щепы. Часто ее используют вместе с фракцией Е как топливо. Фракции В и С относятся к кондиционной щепе, их содержание определяет качество технологической щепы для целлюлозно-бумажного производства. В соответствии с ГОСТ 15815–83 эта щепка должна иметь следующие размеры, мм: толщина – не более 5; длина – 15 ... 25 (оптимально 18).

Цель исследований – повысить выход и качество технологической щепы, используемой на ЦБП при варке целлюлозы.

Поскольку размеры технологической щепы оказывают значительное влияние на характер и продолжительность варки, нами были проанализированы ее параметры.

Для проведения эксперимента отбирали пробы щепы, полученной на рубительной машине МРН-150 и прошедшей сортировку на производственных ситах. В каждой фракции замеряли толщину ( $T$ ), ширину ( $Ш$ ) и длину ( $Д$ ) частиц. Полученные данные подвергали статистической обработке, результаты которой приведены в таблице.

На рис. 1 представлен график зависимости параметров щепы от диаметра отверстий сит сортировки.

Анализ полученных результатов показал, что размеры щепы изменяются от фракции Д к А непропорционально. Средние размеры щепы по длине колеблются от 20,4 до 28,4 мм, т. е. увеличиваются от фракции Д к А в 1,4 раза. С учетом рассеивания размеров длина щепы по фракциям в диапазоне  $X \pm 3G$  составляет, мм: А – 45,8 ... 11,0; В – 33,9 ... 9,9; С – 32,7 ... 9,4; Д – 31,4 ... 9,4. Во всех фракциях присутствует более 50 % щепы с рекомендуемой длиной ( $\geq 18$  мм).

4

Параметры щепы, мм	Статистические показатели	А	В	С	Д
$T$	$N$	73	98	106	53
	$\bar{X}$	6,5	4,2	3,5	2,0
	$S$	1,7	0,9	0,8	0,5
	$V$	26,2	22,4	21,9	24,3
	$P$	5,0	3,8	3,5	5,5
$Ш$	$N$	73	98	106	53
	$\bar{X}$	33,9	22,0	13,7	6,2
	$S$	6,6	4,4	2,6	1,0
	$V$	19,3	20,2	19,4	16,8
	$P$	3,7	3,1	3,1	3,8
$Д$	$N$	73	98	106	53
	$\bar{X}$	28,4	21,9	21,0	20,4
	$S$	5,8	4,0	3,9	3,7
	$V$	20,3	18,3	18,6	17,9
	$P$	3,9	3,0	3,0	4,1

Примечание.  $N$  – число проб щепы;  $\bar{X}$  – среднее арифметическое параметра щепы, мм;  $S$  – среднее квадратическое параметра, мм;  $V$  – вариационный коэффициент параметра, мм;  $P$  – показатель точности, %.

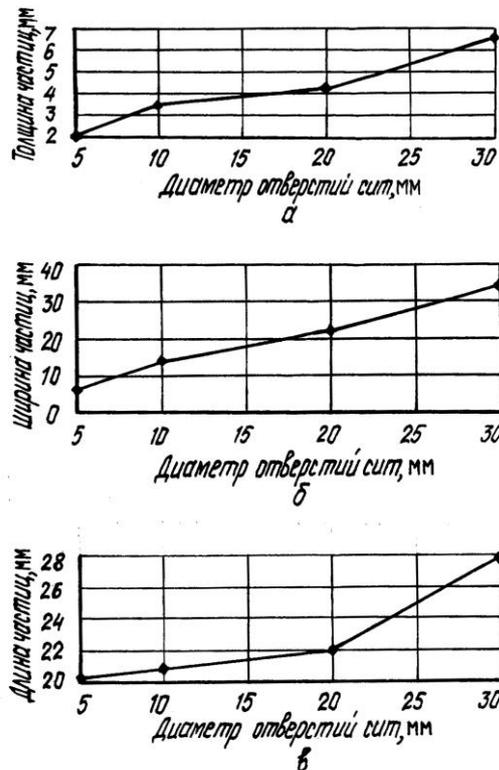


Рис. 1. Изменение размеров фракций щепы:  
*a* – толщина; *б* – ширина; *в* – длина

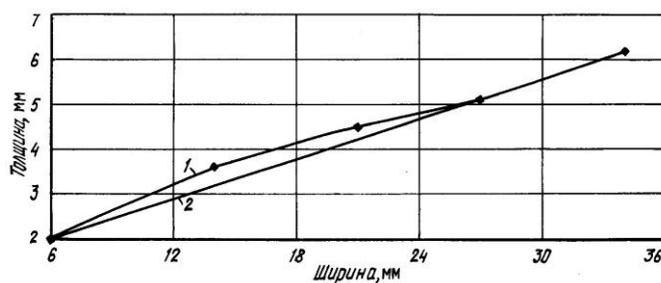
Средние размеры щепы по толщине изменяются от 2,0 до 6,5 мм, т. е. увеличиваются от фракции Д к А в 3,25 раза. С учетом рассеивания размеров толщина щепы по фракциям в диапазоне  $X \pm 3G$  составляет, мм: А – 11,6 ... 1,4; В – 6,9 ... 1,5; С – 5,9 ... 1,1; Д – 3,5 ... 0,5. Свыше 50 % частиц фракций А, В, С имеют толщину на 3 ... 4 мм больше рекомендуемой. Фракция Д содержит большое количество частиц толщиной менее 2 мм.

Средние размеры щепы по ширине колеблются от 6,2 до 33,9 мм, т. е. возрастают от фракции Д к А в 5,5 раза. С учетом рассеивания размеров ширина щепы по фракциям в диапазоне  $X \pm 3G$  составляет, мм: А – 53,7 ... 11,4; В – 35,1 ... 8,8; С – 21,5 ... 5,9; Д – 9,2 ... 3,2. Более 50 % щепы фракций А и В имеют ширину более 20 мм, а около 1/3 частиц фракции Д – менее 5 мм.

Для выравнивания частиц по размерам их сортируют, удаляя чрезмерно крупные и мелкие. Количественное соотношение частиц определенных размеров после сортировки на ситах зависит от фракционного состава. Поскольку щепа подается неравномерно, то размерами, регламентирующими прохождение частиц через отверстия являются длина и ширина, хотя ГОСТ 15815–83 требует сортировать щепу по длине и толщине.

Поскольку частица щепы в поперечном сечении представляет неравнобедренную трапецию, то ее толщина связана с шириной. Связь между толщиной и шириной щепы показана на рис. 2 и выражается уравнением  $T = 0,16 W + 1$  мм.

Рис. 2. Зависимость толщины от ширины частиц щепы: 1 – экспериментальная кривая, 2 – аппроксимированная кривая



Полученная в ходе анализа размеров щепы зависимость между шириной и толщиной частиц позволяет сгладить противоречия между ГОСТом и фактической сортировкой. Данные об основных параметрах щепы (толщина и длина) могут служить исходным материалом для оптимизации управления процессом варки целлюлозы.

Архангельской государственной  
технический университет

Поступила 22.11.02

*L.S. Surovtseva, D.V. Ivanov, M.M. Tsareva*

### **Analysis of Pulpchips Parameters Applied in Pulp-and-Paper Industry**

The statistical treatment of analysis results of pulpchips parameters for PPI produced by chipping machines is carried out.

УДК 674.047.3

**Т.К. Курьянова, А.Д. Платонов**

Курьянова Татьяна Казимировна родилась в 1937 г., окончила в 1962 г. Воронежский государственный лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 70 печатных работ в области древесиноведения и технологий деревообрабатывающих производств.



Платонов Алексей Дмитриевич родился в 1966 г., окончил в 1993 г. Воронежский государственный лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 30 печатных работ в области древесиноведения и технологий деревообрабатывающих производств.



### **СУШКА ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ КАЧЕСТВО ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Рассмотрено влияние предварительной химической обработки на продолжительность сушки и качество высушенной древесины.

*Ключевые слова:* внутренние напряжения, кривая сушки, химическая обработка, качество, продолжительность сушки.

Древесина, имея сложное строение клеточных стенок и разнообразие анатомических элементов, входящих в ее состав, является анизотропным телом. Условия произрастания и формирования дерева также отражаются на анизотропности.

Свойства древесины зависят от количества содержащейся в ней влаги. Сухая древесина по сравнению с влажной обладает хорошей формоустойчивостью и более высокими прочностными показателями. Изделия из нее имеют больший срок службы, что подтверждает необходимость обязательной сушки древесины.

Конвективная сушка древесины протекает при неравномерном распределении влажности по объему материала. Наличие неравномерного поля влажности, возникающего с самого начала процесса, приводит к созданию неоднородного деформированного состояния из-за неравномерной усушки и может быть первопричиной образования внутренних напряжений.

Если бы древесина была абсолютно упругим телом и ее характеристики не зависели бы от влажности и температуры, то после выравнивания влажности и охлаждения внутренние напряжения в ней должны исчезать. Однако древесина не обладает идеальной упругостью, в

ней (особенно при длительном воздействии нагрузок) развиваются остаточные деформации, сохраняющиеся и после устранения вызвавших их усилий. Кроме того, происходит процесс преобразования упругих деформаций в остаточные вследствие изменения жесткости древесины при снижении ее влажности и повышении температуры.

Полностью избежать образования внутренних напряжений в процессе сушки древесины невозможно, но при правильно выбранном режиме сушки их величина не будет превышать допустимых значений. Так, при использовании мягких режимов отмечено более равномерное распределение влаги по сечению пиломатериалов, что ведет к снижению величины остаточных напряжений.

Однако снижение остаточных напряжений в процессе сушки не всегда оправдано, поскольку может приводить к существенному возрастанию продолжительности процесса. Поэтому интенсификация сушки за счет изменения существующих рациональных режимов не целесообразна, поскольку существующий баланс между продолжительностью конвективной сушки и качеством древесины является оптимальным.

Следовательно, для ускорения сушки следует искать новые способы, которые позволили бы существенно сократить продолжительность процесса за счет увеличения влагопроводности древесины без ухудшения ее качественных характеристик.

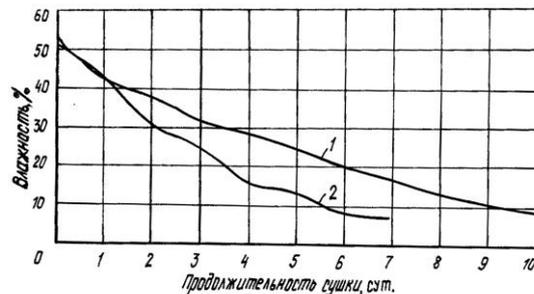
Известно, что разность парциальных давлений, вызванная разницей упругости пара в наружных (обработанных водным раствором соли) и внутренних (содержащих чистый растворитель – воду) слоях пропитанной древесины, интенсифицирует внутренний перенос влаги в материале и способствует ускорению процесса сушки [2].

При использовании растворов солей можно достичь двойного эффекта: во-первых, в результате интенсивного парообразования (вскипания) свободной влаги образующееся избыточное давление разрушает тилы, а во-вторых, осуществляется поверхностная (не более 0,25 мм) пропитка соляным раствором.

Таким образом, предварительная химическая обработка древесины позволяет повысить ее влагопроводность при одновременном снижении интенсивности испарения влаги с поверхности, что позволит избежать пересыхания поверхностных слоев, уменьшить перепад влажности по толщине и величину остаточных напряжений в материале.

На рис. 1 представлены графики, отражающие процесс опытной сушки заготовок (толщина 40 и 50 мм) натуральной древесины дуба после предварительной химической обработки [3]. Как видно из рис. 1, в процессе сушки средняя влажность по сечению материала уменьшилась. Общая продолжительность сушки для пиломатериалов толщиной 40 мм составила 7 сут., а для 50 мм – 10 сут. (при нормативной соответственно не менее 21 и 30 сут.), т. е. уменьшилась более чем в 3 раза. На графиках (рис. 1) нет зоны резкого снижения влажности и горизонтального участка –

Рис. 1. Кривые сушки дубовых заготовок толщиной 50 (1) и 40 мм (2)



замедления сушки. Процесс протекает достаточно равномерно, с несколько большей скоростью в первый период сушки, но на протяжении всего процесса интенсивно, особенно при испарении связанной влаги. Этим полученные кривые отличаются от стандартных кривых, которые на начальном этапе резко опускаются вниз, что свидетельствует об интенсивности снижения влажности в этот период, а в середине и, особенно, в конце процесса проходят параллельно горизонтальной оси, так как процесс сушки резко замедляется.

На рис. 2 представлены кривые распределения влаги в дубовых заготовках толщиной 50 мм. Характер распределения влаги по толщине показывает, что при тех же параметрах агента сушки влажность поверхности древесины после предварительной обработки выше, чем у необработанной древесины. К концу сушки перепад влажности по сечению заготовок составил 2,41 ... 2,96 %.

Наряду с сокращением продолжительности сушки, величина остаточных внутренних напряжений является критерием оптимизации процесса. Эта часть напряжений в высушенном материале сохраняется даже при равномерном распределении влаги в древесине. Если эти напряжения выше допустимых, древесина деформируется в процессе дальнейшей механической обработки, если они превышают предел прочности на разрыв поперек волокон, то древесина растрескивается.

Допустимые остаточные напряжения определяли по силовым сечениям. Относительная деформация зубцов силовой секции для заготовок толщиной 50 мм составляла 1,92 ... 2,00 %, для заготовок толщиной 40 мм – 1,84 ... 1,99 %. Небольшая величина относительной деформации достигнута несмотря на то, что

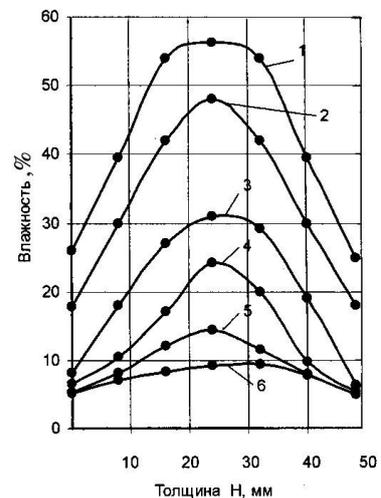


Рис. 2. Распределение влажности по толщине дубовых заготовок: 1 – средняя влажность 39,0 %; 2 – 31,6; 3 – 26,0; 4 – 13,0; 5 – 11,0; 6 – 8,5 %

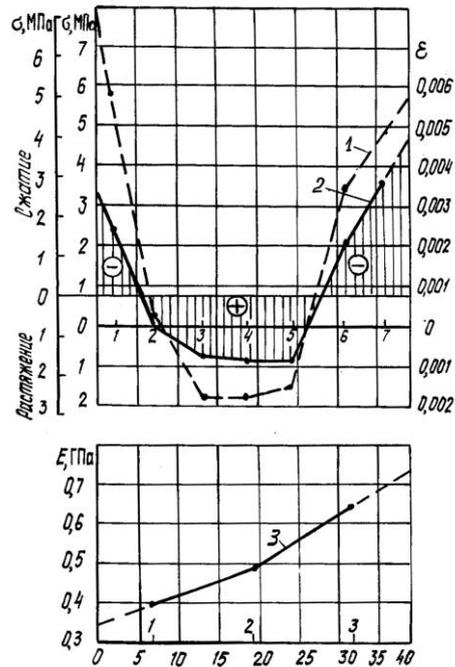


Рис. 3. Эпюры остаточных напряжений в дубовых заготовках после камерной сушки с предварительной химической обработкой:  
 1 – относительная деформация  $\epsilon$ ;  
 2 – напряжение  $\sigma$ ; 3 – модуль упругости  $E$

из процесса сушки были исключены технологические операции начального прогрева и конечной влаготеплообработки древесины. Все заготовки сохраняли форму, не коробились, хотя и сохли свободно, ни у одной из них не образовались трещины. Даже наличие сердцевины не вызвало растрескивания материала.

Количественная характеристика остаточных напряжений была получена по методике [1], разработанной Б.Н. Уголевым. Так, для заготовки дуба толщиной 40 мм величина остаточных напряжений составила 1,8 ... 1,9 МПа, для 50 мм – 2,0 ... 2,3 МПа. Допустимые напряжения для древесины дуба  $\sigma_{\text{доп}} = 5,6$  МПа ( $\sigma_{\text{доп}} = 0,7\sigma$ , где  $\sigma$  – предел прочности на разрыв поперек волокон; для дуба  $\sigma = 8$  МПа). После сушки заготовки были подвергнуты двусторонней строжке (по 1 мм с каждой стороны). В результате напряжения уменьшились примерно в 2 раза.

На рис. 3 представлены эпюры остаточных напряжений дубовых заготовок толщиной 40 мм при влажности 8 %.

Учитывая значительное сокращение продолжительности сушки древесины после ее предварительной химической обработки и небольшие

внутренние напряжения, можно рекомендовать данный способ сушки к использованию в производственных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 11603–73. Древесина. Метод определения остаточных напряжений. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 20 с.
2. Малеев В.И. Ускоренная сушка древесины / В.И. Малеев, В.А. Баженов // Лесн. индустрия. – 1937. – № 9. – С. 65–71.
3. Пат. 2096702 РФ, С1 РФ, 6 FВ 3/4. Способ сушки дубовых заготовок / Курьянова Т. К. и [др.] – № 95112874/06; заявл.20.07.95; опубл.20.11.97, Бюл. № 32. – 6 с.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 22.11.02

*T.K. Kuryanova, A.D. Platonov*

### **Wood Drying and Quality after Chemical Pretreatment**

The influence of chemical pretreatment on duration of drying and quality of the dried wood is analyzed.

---

УДК 674.053

**И.И. Иванкин**

Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.



**О ВЫБОРЕ ТИПА ОПОР ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ  
НАЧАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ ПОЛОСОВЫХ ПИЛ**

Показано, что при существующих параметрах рамных пил тип опор не оказывает существенного влияния на их начальную жесткость, поэтому ее можно определять по формулам как для шарнирного закрепления концов, так и для закрепления концов в виде заделок.

*Ключевые слова:* начальная жесткость, пила, прогиб, изгиб, кручение, заделка, шарнир.

Режущим инструментом лесопильных рам являются пилы, представляющие собой стальные полосы, на одной из кромок которых насечены зубья.

Производительность рам и качество пиломатериалов в значительной степени зависят от точности пиления. Для повышения этого показателя необходимо, с одной стороны, уменьшать силы, действующие на пилы, с другой – повышать способность пил противодействовать этим силам.

Способность пил противодействовать боковым силам характеризуется их жесткостью. Следует различать три вида жесткости [4]: собственную жесткость ненатянутой пилы  $j_c$ ; начальную жесткость натянутой пилы при отсутствии сил резания  $j_n$ ; рабочую жесткость пилы с учетом сил резания  $j_p$ .

Для определения рабочей жесткости пилы, по которой оценивается точность пиления [3], необходимо знать начальную жесткость пилы. Она показывает, какую боковую силу  $Q$  необходимо приложить к пиле, чтобы отклонить ее в месте приложения силы на 1 мм, т. е.

$$j_n = \frac{Q}{y}, \quad (1)$$

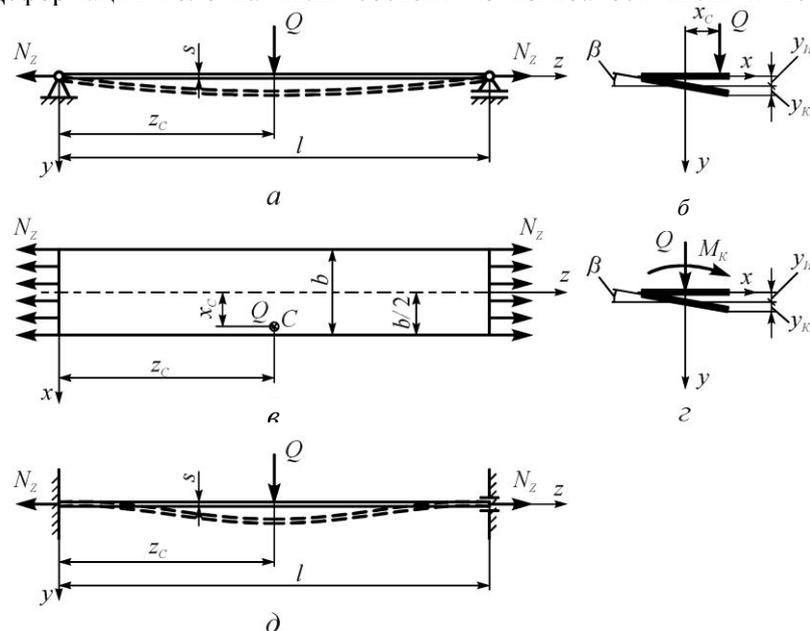
где  $y$  – прогиб пилы.

Из выражения (1) следует, что для определения начальной жесткости необходимо знать величину прогиба  $y$  под действием силы  $Q$ . Перед началом расчета прогиба на стадии разработки расчетной схемы, необходимо выбрать тип опор на концах полосы. Возможны два варианта: первый – опорами являются шарниры (рисунок, а), второй – опоры концов представляют собой заделки (рисунок, б).

Цель данной работы – сравнить два варианта расчетных схем.

Сначала рассмотрим расчетную схему для определения прогибов полосы при шарнирном креплении концов (рисунок, а, в).

Пила, имеющая толщину  $s$ , ширину  $b$  и свободную длину (расстояние между опорами)  $l$ , растянута равномерно распределенной силой  $N_z = N/b$ . Боковая сила  $Q$  приложена в точке  $C$ , имеющей координаты  $x_c$ ,  $y_c$  и  $z_c$ . Деформация полотна пилы состоит из изгиба оси пилы и поворота



Расчетные схемы для определения прогибов полосы сечений вокруг нее (рисунок, б). Для определения прогиба  $y$  воспользуемся энергетическим методом, при этом кривую прогиба полосы представим в виде тригонометрического ряда, удовлетворяющего условиям закрепления на концах [5–8].

Ранее нами [2] с использованием данного метода получена формула для определения прогиба полосы с шарнирным закреплением концов:

$$y = \frac{2Ql}{\pi^2} \left( \frac{l^2}{E J_x \pi^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2(n^2 + \alpha)} \sin \frac{n\pi z_c}{l} \sin \frac{n\pi z}{l} + \frac{x_c x}{C + \frac{N b^2}{12}} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \sin \frac{n\pi z_c}{l} \sin \frac{n\pi z}{l} \right), \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости материала пилы, МПа;  
 $J_x$  – момент инерции сечения пилы при изгибе, мм<sup>4</sup>,  
 $J_k = bs^3/12$ ;  $\alpha = N l^2 / (E J_x \pi^2)$ ;  
 $C = G J_k$  – жесткость пилы при кручении, Н·мм<sup>2</sup>;  
 $G$  – модуль сдвига материала пилы, МПа;  
 $J_k = bs^3/3$  – момент инерции сечения пилы при кручении, мм<sup>4</sup>.

Рассмотрим случай закрепления концов полосы заделкой (рисунок, *д*). Приведем расчетную схему (рисунок, *б*) к эквивалентной (рисунок, *з*) для деформации изгиба и кручения пилы.

Представим кривую изгиба оси пилы в виде тригонометрического ряда [5–7]:

$$y_{\text{и}} = \frac{a_1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi z}{l}\right) + \frac{a_2}{2} \left(1 - \cos \frac{4\pi z}{l}\right) + \dots = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \left(1 - \cos \frac{2n\pi z}{l}\right). \quad (3)$$

Уравнение (3) удовлетворяет условиям на концах ( $z = 0$ ;  $z = l$ ):

$$y_{\text{и}} = 0 \text{ и } \frac{dy_{\text{и}}}{dz} = 0.$$

Известно, что если упругая система претерпевает малое перемещение, то соответствующее увеличение потенциальной энергии деформации системы равно работе, совершенной внешними силами на этом перемещении [1, 6]. Когда упругая кривая представлена рядом (3), бесконечно малые перемещения можно получить бесконечно малыми вариациями коэффициентов  $a_1, a_2, a_3 \dots$ . Если любому коэффициенту  $a_n$  дать приращение  $da_n$ , то вместо члена  $a_n \left(1 - \cos \frac{2n\pi z}{l}\right)$  будем иметь  $(a_n + da_n) \left(1 - \cos \frac{2n\pi z}{l}\right)$ , другие члены ряда (3) останутся без изменения.

Это приращение  $da_n$  представляет дополнительный бесконечно малый прогиб, изображаемый синусоидой  $da_n \left(1 - \cos \frac{2n\pi z}{l}\right)$ , наложенной на первоначальную кривую. На этом дополнительном прогибе внешние силы совершают работу.

Сила  $Q$ , приложенная на расстоянии  $z_c$  от левой опоры в точке  $C$ , претерпевающей перемещение  $da_n \left(1 - \cos \frac{2n\pi z_c}{l}\right)$ , совершает работу

$$dA_Q = \frac{Q}{2} \left(1 - \cos \frac{2n\pi z_c}{l}\right) da_n. \quad (4)$$

Потенциальную энергию деформации изгиба пилы определяем из выражения

$$U_{\text{и}} = \frac{E J_x}{2} \int_0^l \left(\frac{d^2}{dz^2} y_{\text{и}}\right)^2 dz = \frac{E J_x}{l^3} \sum_{n=1}^{n=\infty} n^4 a_n^2; \quad (5)$$

ее приращение на бесконечно малом перемещении  $da_n$ :

$$dU_{\text{и}} = \frac{\partial U_{\text{и}}}{\partial a_n} da_n = \frac{2 E J_x \pi^4}{l^3} n^4 a_n da_n. \quad (6)$$

Сближение концов пилы при изгибе  $\lambda$  находим по известной формуле [5–7]

$$\lambda = \frac{1}{2} \int_0^l \left( \frac{dy_u}{dz} \right)^2 dz = \frac{\pi^2}{4l} \sum_{n=1}^{n=\infty} n^2 a_n^2. \quad (7)$$

Работа силы натяжения пилы ( $N = N_z b$ ) на бесконечно малом перемещении  $da_n$

$$dA_N = \frac{\partial A_N}{\partial a_n} da_n = N \frac{\pi^2}{2l} n^2 a_n da_n. \quad (8)$$

Из условия равновесия системы следует, что  $dU_u = dA_Q - dA_N$  или

$$\frac{2E J_x \pi^4}{l^3} n^4 a_n da_n = \frac{Q}{2} \left( 1 - \cos \frac{2n\pi z_c}{l} \right) da_n - N \frac{\pi^2}{2l} n^2 a_n da_n, \quad (9)$$

откуда  $a_n = \frac{Q \left( 1 - \cos \frac{2n\pi z_c}{l} \right)}{\frac{4E J_x \pi^4}{l^3} n^4 + N \frac{\pi^2}{l} n^2}$ .

Прогиб от изгиба пилы

$$y_u = \frac{Q l^3}{2E J_x \pi^4} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2 (4n^2 + \alpha)} \left( 1 - \cos \frac{2n\pi z_c}{l} \right) \left( 1 - \cos \frac{2n\pi z}{l} \right), \quad (10)$$

где  $\alpha = N l^2 / (E J_x \pi^2)$ .

Представим угол поворота сечений пилы в виде тригонометрического ряда

$$\beta = b_1 \sin \frac{\pi z}{l} + b_2 \sin \frac{2\pi z}{l} + b_3 \sin \frac{3\pi z}{l} + \dots = \sum_{n=1}^{n=\infty} b_n \sin \frac{n\pi z}{l}. \quad (11)$$

Выражение (11) удовлетворяет условиям на концах при  $z = 0$  и  $z = l$ ,  $\beta = 0$ , что соответствует случаю шарнирного закрепления (рисунок, а). Данный случай подробно рассмотрен в [2]; здесь приведем конечную формулу для определения прогиба пилы при кручении:

$$y_k = \frac{2Q x_c x l}{\pi^2 \left( C + \frac{N b^2}{12} \right)} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \sin \frac{n\pi z_c}{l} \sin \frac{n\pi z}{l}. \quad (12)$$

Полный прогиб пилы определяется выражением

$$y = y_u + y_k. \quad (13)$$

После подстановки (10) и (12) в уравнение (13) получаем

$$y = \frac{2Q l}{\pi^2} \left( \frac{l^2}{4E J_x \pi^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2 (4n^2 + \alpha)} \left( 1 - \cos \frac{2n\pi z_c}{l} \right) \left( 1 - \cos \frac{2n\pi z}{l} \right) + \frac{x_c x}{C + \frac{N b^2}{12}} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \sin \frac{n\pi z_c}{l} \sin \frac{n\pi z}{l} \right). \quad (14)$$

Для случая, имеющего практическое значение, когда боковая сила  $Q$  приложена к кромке пилы ( $x_c = b/2$ ) на середине ее свободной длины ( $z_c = l/2$ ), прогиб  $y$  при начальной жесткости  $j_n$  определяют в точке приложения боковой силы ( $x = x_c$ ,  $y = y_c$ ,  $z = z_c$ ):

для шарнирного закрепления опор

$$y = \frac{2Ql}{\pi^2} \left( \frac{l^2}{E J_x \pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n^2(n^2 + \alpha)} + \frac{b^2}{4C + \frac{N b^2}{3}} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \right); \quad (15)$$

для закрепления в виде заделки

$$y = \frac{2Ql}{\pi^2} \left( \frac{l^2}{E J_x \pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n^2(4n^2 + \alpha)} + \frac{b^2}{4C + \frac{N b^2}{3}} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \right). \quad (16)$$

После подстановки (15), (16) в выражение (1) получаем формулу для определения начальной жесткости:

для шарнирного закрепления опор

$$j_n = 1 / \frac{2l}{\pi^2} \left( \frac{l^2}{E J_x \pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n^2(n^2 + \alpha)} + \frac{b^2}{4C + \frac{N b^2}{3}} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \right); \quad (17)$$

для закрепления в виде заделки

$$j_n = 1 / \frac{2l}{\pi^2} \left( \frac{l^2}{E J_x \pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n^2(4n^2 + \alpha)} + \frac{b^2}{4C + \frac{N b^2}{3}} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \right). \quad (18)$$

Проведем расчет начальной жесткости рамной пилы по формулам (17) и (18).

Имеем пилу со следующими параметрами:  $l = 1000$  мм;  $s = 2$  мм;  $N = 50$  кН;  $b = 160$  мм;  $E = 2,15 \cdot 10^5$  МПа;  $G = 8,1 \cdot 10^4$  МПа. При  $n = 1, 3, 5 \dots 10001$  после подстановки в формулы (17), (18) имеем  $j_n = 62,1$  и  $62,9$  Н/мм. Таким образом, полученные результаты отличаются на 1,3 %, что приемлемо для практики.

Следовательно, при существующих параметрах рамных пил тип опор не оказывает существенного влияния на их начальную жесткость, поэтому ее можно определять по формулам как для шарнирного закрепления концов (17), так и для закрепления концов в виде заделок (18).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем / Н.А. Алфутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 318 с.

2. *Иванкин И.И.* Теоретические исследования начальной жесткости ленточных пил / И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2000. – № 3. – С. 112 – 119. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Прокофьев Г.Ф.* Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.

4. *Прокофьев Г.Ф.* Некоторые вопросы точности рамного пиления / Г.Ф. Прокофьев // Совершенствование технологии и оборудования лесопильного производства. – Архангельск, 1981. – С. 69 – 75.

5. *Тимошенко С.П.* Прочность и колебания элементов конструкций / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

6. *Тимошенко С.П.* Сопротивление материалов. Т. 2 / С.П. Тимошенко. – 3-е изд. – М.: Наука, 1965. – 480 с.

7. *Тимошенко С.П.* Статические и динамические проблемы теории упругости / С.П. Тимошенко. – Киев: Наук. думка, 1975. – 563 с.

8. *Тимошенко С.П.* Устойчивость упругих систем / С.П. Тимошенко. – 2-е изд. – М., Гостехиздат, 1955. – 576 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 16.01.03

*I.I. Ivankin*

### **To Question of Support Types Selection when Determining Initial Stiffness of Band Saws**

It is shown that under existing parameters of frame saws the support type doesn't provide any considerable effect on their initial stiffness, therefore it is possible to determine it based on formulae both for ends pinning and ends fixed as seals.

---

**ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**

УДК 676.1.038.2

***Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров, И.Н. Ковернинский, Д.А. Дулькин***

Яблочкин Николай Иванович родился в 1954 г., окончил в 1984 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, заместитель генерального директора ОАО «Караваево». Имеет 14 печатных работ в области производства и научных основ высокоэффективной переработки макулатурного сырья в широкий ассортимент бумаги, картона и изделий из них.



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 300 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Ковернинский Иван Николаевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. химико-технологический факультет Ленинградской лесотехнической академии, доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, почетный работник высшего профессионального образования РФ, директор научного центра ОАО «Вторресурсы-Караваево». Имеет 129 научных работ в области теории и технологии производства бумажно-картонной продукции.



Дулькин Д.А. родился в 1966 г., окончил в 1989 г. высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана, исполнительный директор ОАО «Полотняно-заводская бумажная фабрика». Область научных интересов – технология бумаги и картона, использование макулатуры и современных химических средств.

**ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА  
В ЦЕНТРОБЕЖНО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ  
ФРАКЦИОНАТОРЕ**

Рассмотрены необходимость фракционирования вторичного волокна в технологических схемах подготовки макулатурной массы и проблемы, связанные с данной задачей; проведено сравнение эффективности работы новой конструкции центробежно-гидродинамического фракционатора с существующими.

*Ключевые слова:* фракционирование, вторичное волокно (макулатура), тест-лайнер, сортировки, фракционаторы, гидродинамическое фракционирование.

*Общие положения*

В бумажной промышленности России наблюдается устойчивая тенденция роста потребления вторичного волокнистого материала (макулатуры) для производства различных видов бумажной продукции.

Макулатура характеризуется высокой полидисперсностью и является чрезвычайно неоднородным по компонентному составу вторичным полуфабрикатом, который содержит: во-первых, вторичные волокна из небеленых и беленых видов целлюлозы, полуцеллюлозы и механической массы, полученных различными способами из древесины различных пород; во-вторых, проклеивающие химические гидрофобные вещества на основе канифоли, синтетических химических веществ, воска, парафина и др.; в-третьих, вспомогательные химические вещества на основе катионных, окисленных и анионных сшитых бурой крахмалов и других синтетических веществ, повышающих механические характеристики бумаги и картона; в-четвертых, наполнители – карбонат кальция, каолин, двуокись титана и др.; в-пятых, механические включения и примеси нецеллюлозного происхождения различного размера и плотности, отрицательно влияющие на механическую прочность бумаги и картона и ухудшающие внешний вид их поверхностей. В связи с этим вторичный волокнистый материал необходимо подвергать сортированию и очистке.

У вторичных полуфабрикатов волокна подверглись как минимум одному циклу переработки, т.е. гидратации, размолу, изменению фракционного состава по длине волокна при сортировании и отливу, сушке. В результате изменяются их средневзвешенная длина, геометрия пор и микротрещин в стенке волокон, уменьшается удельная поверхность, ороговекает поверхность волокон, что приводит при повторном использовании к снижению степени гидратации. Волокна становятся более жесткими и хрупкими, снижается способность к внешнему и внутреннему фибриллированию, а, следовательно, и способность образовывать межволоконные связи. Эти свойства ухудшаются при каждом последующем цикле переработки. Как правило, бумага и картон, произведенные из вторичного волокна имеют меньшую прочность [41, 47, 63, 77, 94, 96].

Из работ [41, 63, 77, 94, 96] следует, что вторичный волокнистый материал является крайне неоднородной полидисперсной системой, состоящей из волокон различной длины и толщины, полученных различными способами из различных пород древесины. Предлагается бумажную массу из вторичного материала условно делить на длинно- и коротковолокнистую фракции. Длинноволокнистая фракция характеризуется заметно большей средней длиной волокна, низкой степенью помола и потенциально высокими прочностными свойствами. Коротковолокнистая фракция представляет собой обрывки и фрагменты сильноороговевших волокон, которые характеризуются высокой степенью помола, невысокой средней длиной, недостаточными бумагообразующими свойствами и особой способностью к укорочению в процессе размала вследствие повышенной хрупкости. Коротковолок-

нистая фракция обуславливает увеличение степени помола бумажной массы и препятствует оптимальному воздействию при размолу на длинноволокнистую фракцию.

Совместный размол коротко- и длинноволокнистой фракций приводит к еще большему измельчению коротких и недостаточной обработке длинных волокон. Приготовленная таким образом бумажная масса характеризуется невысокими бумагообразующими свойствами, что в первую очередь проявляется в понижении способности к обезвоживанию и образованию межволоконных сил связи. Таким образом, уменьшаются скорость бумагоделательной машины и механическая прочность волокон. В работах [4, 9, 17, 41, 74, 92, 93, 95] указывается, что псевдо- или квазипомол бумажной массы из вторичных волокон увеличивается с расчетом содержания в ней мелких (длина до 0,3 мм) и очень мелких (мельштоф) волокон, количество которых в зависимости от вида макулатуры и числа циклов ее переработки находится в пределах от 5 до 15 % и более. Авторы работ [86, 99] провели исследования, показавшие, что у бумажной массы со степенью помола 50 °ШР после отделения 5 ... 8 % мелкого волокна степень помола уменьшилась до 15 °ШР, у бумажной массы со степенью помола 48 °ШР после отделения 16 % мелких волокон степень помола составила 16 °ШР.

Для реализации селективной обработки коротко- и длинноволокнистой фракций вторичного волокнистого материала с целью повышения бумагообразующих свойств необходимо фракционирование, т.е. получение двух волокнистых фракций с разными свойствами. С этой целью используется специальное оборудование. Многие системы массоподготовки объединяют сортирование и фракционирование. В этом случае масса вначале подвергается грубому сортированию на сортировках с щелевыми ситами, а на стадии фракционирования используются сита с круглыми отверстиями [8, 12, 32, 36].

После фракционирования коротковолокнистый материал в зависимости от его физических характеристик и технологического назначения либо вообще не подвергают размолу, либо размалывают отдельно. Длинноволокнистую фракцию диспергируют и размалывают в целях гомогенизации и повышения прочности бумажной массы [13, 58, 64, 68, 70, 73, 97].

Бумажная масса, полученная из смеси коротковолокнистой и размолотой длинноволокнистой фракций, будет иметь меньшую степень помола, чем при размолу нефракционированной массы до достижения идентичных значений прочностных показателей бумаги или картона. Вместе с этим повышается скорость обезвоживания бумажной массы на сетке бумаго- и картоноделательных машин и создается реальная возможность увеличения производительности. Прочностные показатели бумажной продукции в зависимости от качества макулатуры повышаются на 19 % и более при одновременном снижении затрат электроэнергии на размол до 25 % [13, 58, 70, 74, 93, 97].

Фракционирование позволяет более эффективно и экономично обрабатывать одну из фракций волокнистого материала с целью повышения ее бумагообразующих свойств без ухудшения качества другой фракции или обрабатывать обе фракции до требуемого уровня качества; уменьшить вариацию характеристик производимой продукции, обусловленную колебанием относительного содержания фракций по длине волокна в перерабатываемой бумажной массе [13, 58, 64, 73, 74, 95, 97].

Удалением из низкосортной макулатурной массы коротковолокнистой фракции можно добиться повышения качества приготовления из нее бумажной массы. Фракции волокнистых материалов после соответствующей обработки могут быть использованы для различных видов бумажной продукции, отличающихся по своим требованиям к прочностным показателям, или различных слоев картона [70, 97].

Таким образом, приготовление бумажной массы из макулатуры с использованием технологической операции фракционирования и отдельной обработки фракций до максимально возможного восстановления бумагообразующих свойств волокнистого материала позволяет значительно улучшить потребительские свойства бумажной продукции. Существующие в настоящее время способы разделения волокнистого материала из макулатуры не всегда удовлетворяют возрастающим требованиям к качеству подготовленной бумажной массы. Конструкции фракционаторов, реализующие эти способы, характеризуются недостаточной избирательной способностью по разделению волокнистого материала на фракции в зависимости от физических свойств волокон и часто требуют дополнительного введения технологической стадии окончательной очистки массы от мелких частиц загрязняющих включений с меньшей, чем у воды и волокон, удельной плотностью в энергоемкой многоступенчатой установке вихревых конических очистителей, работающих в режиме реверса [43–45, 67].

Поэтому дальнейшее совершенствование техники фракционирования является актуальной задачей.

*Разделение вторичного волокнистого материала на фракции  
в аппаратах различной конструкции*

В настоящее время в бумажном производстве процесс фракционирования волокнистого материала осуществляют способом просеивания более коротких волокон из интенсивно перемешиваемой массы через отверстия ситообразного фракционирующего элемента при перепаде давления по обе его стороны 30 ... 50 кПа (0,3 ... 0,5 кгс/см<sup>2</sup>) и непрерывной очистке сита.

Для реализации этого способа используют различные типы фракционаторов, конструкции которых созданы на базе напорных сортировок закрытого типа и приспособлены для выполнения фракционирования. В случае фракционирования волокнистого материала, содержащего 5 ... 15 % и более мелких (длина до 0,3 мм) и очень мелких волокон (мельштоф), применяют сита с круглыми отверстиями, которые характеризуются проницае-

мостью преимущественно для мелких волокон, соизмеримых с размером отверстий.

Требуемая для данной технологии избирательность разделения по степени помола и средней длине волокон коротковолокнистой фракции регулируется вариацией размеров круглых отверстий сита, диаметр которых изменяется обычно в пределах от 1,0 до 2,2 мм. С уменьшением размеров отверстий степень помола и средневзвешенная длина волокон массы, прошедшей сквозь него, уменьшается. Непрерывность процесса фракционирования в таких аппаратах достигается за счет резкого увеличения турбулентности потока массы и непрерывной очистки поверхности сита от закупоривания движущимися вблизи его специальными устройствами [27, 43, 74, 81, 87].

Фирма «Escher Wyss» на базе турбосепаратора создала аппарат «Fiberfraktor», в котором возможно фракционирование вторичного волокна при концентрации массы до 4 %. Устройством, создающим турбулентность в массе и очищающим сито, служит вращающийся лопастной ротор [58]. Операции фракционирования в этом аппарате должно предшествовать тонкое сортирование массы в сортировке «Fibersorter» [87, 88].

Фирмы «Bird» и «Yngersoll Rand» для вторичного волокна рекомендуют совместно разработанный фракционатор «Centrisorter». Во внутренней цилиндрической полости вертикально размещенного корпуса соосно с ней устанавливается цилиндрическое сито, внутри которого соосно с ним размещен цилиндрический ротор. Образованное между ситом и корпусом пространство служит полостью для прошедшей через сито коротковолокнистой фракции, а пространство между ситом и ротором – полостью для поступающей массы и не прошедшей через сито длинноволокнистой фракции. Масса вторичного волокна поступает тангенциально в верхнюю часть полости для длинноволокнистой фракции. Удаление фракций осуществляется через выводные патрубки, размещенные в нижних частях полостей. На цилиндрической поверхности ротора по крутой винтовой спирали по высоте цилиндра закреплены полусферические выпуклости. Такая конструкция ротора при его вращении создает нисходящий поток массы и способствует лучшему продвижению сгущенной длинноволокнистой фракции к выходному отверстию, что уменьшает возможность разрыва сита. В процессе вращения ротора выпуклости обуславливают сильное турбулентное перемешивание фракционируемой массы и пульсирующие обратные толчки массы. Это приводит к просеиванию коротких волокон через отверстия сита и очистке отверстий сита от закупоривания. Таким образом обеспечивается непрерывность процесса фракционирования вторичных волокон при их концентрации в массе до 4 % и более [27, 81].

С целью повышения качества перемешивания макулатурной массы и очистки поверхности сита от закупоривания его отверстий, а также улучшения условий для создания нисходящего потока массы в полости для длинноволокнистой фракции фирма «Voith» создала фракционатор «Multifraktor», в котором на цилиндрической поверхности ротора полусферические выпукло-

сти заменены на короткие гидродинамические лопасти, расположенные в три яруса по шесть штук в каждом ярусе. Усовершенствование конструкции ротора позволило вести процесс фракционирования вторичного волокна при концентрации от 3 до 5 % [13, 26, 27, 65, 70, 71, 88].

Кроме того, фракционирование выгодно при разделении вторичного волокнистого материала с малой полидисперсностью, содержащего незначительное количество мелких волокон и состоящего в основном из целлюлозных и полуцеллюлозных волокон длиной не менее 1,9 мм. Такое волокно содержится в макулатуре из высокопрочных видов крафт-лайнера. В соответствии с ГОСТ 10700–97 макулатура марки МС-5Б первой и второй категорий состоит из этого волокнистого материала [7].

Фракционирование вторичного материала, состоящего из различного вида волокон с невысокой степенью изменения длины, в первичном цикле рекомендуется проводить на фракционаторах с ситами, имеющими щелевые отверстия с шириной от 0,10 до 0,25 мм, которые являются преимущественно проницаемыми для тонких и длинных целлюлозных волокон и практически непроницаемыми для грубых волокон полуцеллюлозы, характеризующихся значительно большей толщиной, чем целлюлозные волокна [36, 39, 43, 59 – 62, 83, 84].

Фракционирование длиноволокнистого материала также можно осуществлять на фракционаторах «Fiberfraktor», «Centrisorter» и «Multifraktor», но при использовании сит со щелевыми отверстиями. В этом случае в связи с уменьшением площади живого сечения сита [12] производительность фракционаторов существенно снижается. Оптимальная концентрация вторичного волокна, подаваемого на фракционирование составляет 2,5 ... 3,0 % [43].

Однако способ фракционирования волокнистых материалов путем просеивания коротковолокнистой фракции через отверстия сита и существующие для его реализации конструкции фракционаторов имеют следующие недостатки.

1. Многофакторная зависимость эффективности фракционирования от конструктивных и технологических параметров. Качественные показатели процесса фракционирования вторичного волокнистого материала во фракционаторах с ситообразными фракционирующими элементами в значительной степени зависят от размеров отверстий сита; формы отверстий (круглые или щелевые); площади живого сечения сита; толщины сита; интенсивности перемешивания фракционируемой массы; непрерывности очистки отверстий сита от закупоривания; количества загрязняющих включений в массе; концентрации волокна в массе, поступающей на фракционирование; степени помола волокнистого материала; длины волокон; вида волокнистого материала; количества отбираемой коротковолокнистой фракции; окружной скорости вращения ротора; давления массы на входе во фракционатор и перепада давления по обе стороны сита [4, 9, 12, 13, 39, 43, 59 – 61, 65, 71, 73, 74, 83, 84, 87, 88, 93, 97].

Перечисленные переменные факторы значительно затрудняют выбор оптимального режима процесса фракционирования в аппаратах с ситообразными фракционирующими элементами. Конструктивные параметры фракционатора и технологические параметры процесса выбирают для каждого конкретного случая в зависимости от исходного волокнистого материала, технико-экономических показателей фракционирования и приготовления бумажной массы для производства конкретного вида бумаги или картона. При варьировании сортов макулатуры и вида вырабатываемой продукции возникают значительные затруднения, связанные с трудоемкими работами по замене сит и переналадке технологического процесса фракционирования.

2. Необходимость предварительной высококачественной тонкой очистки вторичного волокна от загрязняющих включений перед фракционированием. В результате фракционирования макулатурной массы длинноволокнистая фракция загрязняется различными видами включений за счет уменьшения их количества в коротковолокнистой фракции [64, 65, 70, 71, 73]. При размоле длинноволокнистой фракции загрязняющие включения измельчаются, количество их увеличивается, что влияет на снижение качества продукции. Поэтому в технологической схеме подготовки бумажной массы из вторичного волокна фракционированию всегда предшествует стадия высокоэффективной тонкой очистки массы от различных видов загрязняющих включений с использованием сложной системы тонкого сортирования, состоящей из нескольких напорных сортировок, сита которых обладают селективностью к различному виду сора [8, 12, 83, 84]. Доочистку массы от загрязняющих включений с большей или меньшей, чем у воды и волокон, плотностью, для которых сита не являются преградой, осуществляют в энергоемких многоступенчатых вихревых конических очистителях, которые могут работать в прямоточном режиме или в режиме реверса [8, 43];

3. Недостаточная избирательная способность. Максимально возможное улучшение бумагообразующих свойств вторичного волокна в процессе размола может быть достигнуто только при полном удалении из него мелких (длина до 0,3 мм) и очень мелких (мельштоф) волокон, которые проявляют высокую степень помола и низкие бумагообразующие свойства. Относительное содержание таких волокон во вторичном материале в зависимости от его вида достигает 15 % и более. Из опыта эксплуатации фракционатора «Multifaktor», использующего сита с диаметром отверстий 1,2 ... 2,0 мм при фракционировании вторичного материала (макулатуры) из гофротары [74], содержащей 10 % мелких волокон, установлено, что полное удаление мелких волокон из длинноволокнистой фракции достигалось только при отборе 50 % коротковолокнистой фракции. Таким образом, в коротковолокнистую фракцию переходило 40 % волокон, которые в сильной степени не влияли на качество продукции, т. е. сито не является надежной преградой для волокон, длина которых значительно превышает размеры его отверстий.

Расчетное значение избирательной способности фракционатора, использующего сита с диаметром отверстий 1,8 ... 2,0 мм при фракционировании длинноволокнистого вторичного материала из гофротары составляет всего лишь 20 %.

4. Низкая надежность в эксплуатации. Этот недостаток обусловлен закупориванием отверстий сита; разрывом или деформацией сита; износом сита и конструктивных элементов ротора. Отверстия сита закупориваются как загрязняющими включениями, так и жгутообразными сгустками волокон, создаваемыми эффектом прядения волокон под действием высокочастотных пульсаций в массе при движении сферических выпуклостей или коротких лопастей вблизи перфорированной поверхности сита. Закупоривание отверстий вызывает уменьшение площади живого сечения сита и нарушение режима фракционирования.

Разрыв или деформация конструкции сита вращающимся ротором имеет место при чрезмерном сгущении длинноволокнистой фракции вследствие неожиданного поступления в аппарат длинноволокнистого материала с низкой степенью помола, а также при попадании посторонних предметов или сгустков волокон в зазор между ситом и выпуклостями или лопастями ротора. В результате износа сита, выпуклостей или лопастей роторов абразивными веществами нарушаются геометрические параметры сита и увеличивается зазор между ситом и элементами ротора, что приводит к снижению эффективности процесса фракционирования. В этом случае требуется проведение трудоемких ремонтных работ по восстановлению первоначальных конструктивных параметров фракционатора. Этот недостаток характерен и для напорных сортировок, работающих в режиме сортирования.

Таким образом, для достижения эффекта улучшения бумагообразующих свойств вторичного волокнистого материала и улучшения качества приготовления бумажной массы из макулатуры с использованием фракционирования при производстве бумажно-картонной продукции с повышенной прочностью сопровождается следующими предварительными технологическими процессами: тонкая очистка бумажной массы от различных видов загрязняющих включений в системе тонкого сортирования, состоящей минимум из трех видов напорных сортировок, избирательно удаляющих различные виды загрязнений; заключительная доочистка массы от загрязняющих включений с большей, чем у воды и волокон, плотностью в многоступенчатых вихревых конических очистителях, работающих в прямоточном режиме; окончательная доочистка массы от загрязняющих включений с меньшей, чем у воды и волокон, плотностью в многоступенчатых вихревых конических очистителях, работающих в режиме реверса. Кроме того, для обеспечения непрерывности работы технологической схемы подготовки бумажной массы, аппаратное оформление стадий тонкой очистки и фракционирования из-за низкой надежности в эксплуатации оборудования, должно предусматривать наличие как рабочего, так и резервного оборудования.

На практике процесс фракционирования осуществим с минимальными капитальными затратами лишь на тех предприятиях, где технологическая схема подготовки бумажной массы оснащена современным сортирующим и очистным оборудованием. На предприятиях с устаревшей традиционной технологией подготовки бумажной массы включение процесса фракционирования в аппаратах с ситовидными фракционирующими элементами требует: во-первых, больших капитальных затрат на приобретение оборудования; во-вторых, наличия больших производственных площадей; в третьих, больших капитальных затрат на реконструкцию производства; в-четвертых, значительных затрат электроэнергии несмотря на экономию при размоле только длиноволокнистой фракции. Следовательно, для таких предприятий фракционирование с использованием аппаратов с ситовидными фракционирующими элементами может быть неприемлемо по технико-экономическим соображениям.

Попытка дальнейшего улучшения избирательной способности фракционаторов, реализующих способ просеивания волокон через отверстия сита путем уменьшения размеров отверстий, выявила значительные технические трудности.

Практический опыт эксплуатации фракционаторов, созданных на базе конструкций напорных сортировок закрытого типа, хорошо дополняет теоретический анализ процессов фракционирования с учетом существующих представлений о закономерностях внутреннего гидродинамического поведения потока волокнистой суспензии.

#### *Закономерности гидродинамического поведения волокнистой суспензии*

С точки зрения гидродинамики волокнистая суспензия представляет собой смесь двух фаз: дисперсионной жидкой среды или сплошной внешней фазы – воды, которая является несущей фазой; дисперсной твердой или внутренней прерывистой фазы, включающей волокна технической целлюлозы или механической массы, которые рассматриваются как примесь, увлекаемая несущей фазой. Волокнистая суспензия характеризуется присутствием в ней частиц твердой фазы макроскопических размеров сильно удлиненной формы и является гетерогенной системой, где между частицами дисперсной твердой фазы и дисперсионной жидкой средой имеется четкая поверхность раздела. Волокнистая суспензия механически может быть разделена на составляющие ее компоненты.

Вода относится к категории ньютоновских жидкостей. Единственная динамическая характеристика ньютоновской жидкости – вязкость. Значение вязкости при данной температуре не зависит от напряжения сдвига, т.е. является постоянным коэффициентом в формуле закона Ньютона. Реологическая зависимость напряжения сдвига (касательного напряжения или напряжения внутреннего трения) от градиента скорости (скорости сдвига) для ньютоновских жидкостей выражается прямой линией, исходящей из начала координат [5, 30].

Примесь целлюлозных волокон в воде существенно изменяет гидродинамические свойства образованной системы по сравнению с водой. Поток волокнистой суспензии характеризуется следующими гидродинамическими параметрами: реологической характеристикой (зависимостью между напряжением сдвига и градиентом скорости) [28, 29], внутренней структурой потока [31, 52, 90], распределением полей скоростей в поперечном сечении канала [28, 31, 46, 50, 52, 66, 85], коэффициентом трения [11, 31, 46, 50, 52] и гидродинамическими потерями на трение [11, 31, 46, 50, 52, 54, 66]. Величины гидродинамических параметров зависят от скорости движения потока волокнистой суспензии.

Для волокнистых суспензий реологическая зависимость между напряжением сдвига и градиентом скорости (кривая течения) характеризуется отсутствием прямой пропорциональности, поэтому волокнистые суспензии относятся к категории нормальных или неньютоновских жидкостей. Вязкость неньютоновской жидкости зависит от напряжения сдвига, т.е. является функцией скорости деформации потока [28 – 31, 34, 35].

По внешнему виду кривые течения волокнистых суспензий [28, 29, 34] отличаются от кривых течения известных классов неньютоновских жидкостей [30, 54]. Поэтому волокнистые суспензии представляют собой особый вид неньютоновских жидкостей с ярко выраженной аномалией вязкости [28, 29, 34, 46, 50]. Материалы с такими реологическими характеристиками относятся к веществам со сложным реологическим поведением [5].

Реологическая характеристика волокнистой суспензии содержит области аномального (неньютоновского) и нормального (ньютоновского) поведения сдвигового потока жидкости. Она характеризуется предельным напряжением сдвига при нулевом градиенте скорости и критическим значением градиента скорости. С увеличением градиента скорости в потоке между нулевым и критическим его значениями заключена область неньютоновского внутреннего поведения. Вязкость суспензии в этой области изменяется с ростом скорости сдвига и называется кажущейся вязкостью. При превышении критического значения градиента скорости имеет место область ньютоновского поведения потока суспензии. Кривая течения в этой области потока аналогична кривой течения ньютоновской жидкости. Вязкость приобретает постоянное значение [28, 29].

Значения характеристик аномального реологического внутреннего поведения волокнистой суспензии (предельное напряжение сдвига, критический градиент скорости и вязкость) зависят от физических свойств волокнистого материала, способа получения, степени помола и концентрации волокон в воде и всегда увеличиваются с ростом последнего показателя. Таким образом, неньютоновские свойства суспензии во всех случаях усиливаются с увеличением концентрации волокон в суспензии [28, 29, 34].

Причиной аномального поведения волокнистой суспензии является свойство волокон образовывать в состоянии покоя сетевидную флокулированную волокнистую структуру определенной прочности, что обуславлива-

ет тиксотропные свойства суспензии [28, 29, 31, 40, 46, 50, 52]. Реологическое поведение волокнистой суспензии, как неньютоновской жидкости, на всем протяжении кривой течения регламентируется изменением внутренней структуры потока в зависимости от скорости установившегося его движения. Поток волокнистой суспензии низкой концентрации с увеличением скорости переходит от структурированного стержневого к диспергированному ламинизированному сдвиговому потоку с реализованными тиксотропными свойствами, а средней концентрации – от флокулированного через структурированный к диспергированному ламинизированному сдвиговому потоку с полностью реализованными тиксотропными свойствами [28, 29, 91].

Область неньютоновского реологического поведения суспензии с низкой концентрацией волокон обусловлена присутствием структурированного [28], а средней и высокой – флокулированного и структурированного строения потока [28, 29, 31, 52, 91]. В структурированном потоке наблюдается стержень из переплетенных волокон, который с увеличением скорости постепенно разрушается в направлении от сплошной гладкой стенки канала к его оси, уменьшаясь в диаметре. В пространстве между поверхностью стержня и сплошной гладкой стенкой канала волокна разрушенной структуры образуют диспергированный ламинизированный слой с ориентированными в нем по потоку волокнами. Когда градиент скорости достигает величины критического значения, остаток стержня в центре потока полностью разрушается с образованием по всей площади сечения канала полностью диспергированного ламинизированного сдвигового потока волокнистой суспензии с ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами. Переход внутренней структуры потока суспензии из структурированного состояния в диспергированное зависит от скорости движения, градиента скорости, концентрации волокон в суспензии и физических свойств, т.е. вида волокон. Чем выше концентрация в суспензии одного и того же вида волокон при неизменной степени помола, тем больше скорость, при которой сохраняется стержневой структурированный поток. При неизменной концентрации волокон в суспензии с увеличением степени их помола уменьшается скорость, при которой сохраняется стержневой поток. Таким же образом разрушается и флокулированный поток, но уже до сетчатой стержневой структуры, которая затем разрушается и трансформируется в диспергированный ламинизированный сдвиговой поток с высоким градиентом скорости, ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами, аналогично потоку суспензии с низкой концентрацией волокон [28, 29, 31, 46, 50, 52, 66, 85, 91].

В установившемся режиме диспергированный ламинизированный сдвиговой поток суспензии с ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами имеет ньютоновский характер движения. Область реологической кривой течения с прямой зависимостью напряжения сдвига от градиента скорости, т.е. с ньютонов-

ским реологическим поведением потока, характеризуется диспергированным ламинизированным сдвиговым потоком суспензии с ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами. В таком потоке действуют силы вязкостного трения между водой и ориентированными по потоку волокнами и между водой и гладкими сплошными стенками канала, характерные для ньютоновской жидкости. Ориентированные по потоку волокна подавляют мелкомасштабные турбулентные пульсации, и коэффициент трения в потоке суспензии становится меньше, чем в потоке воды с аналогичной скоростью движения. Однако при чрезмерном увеличении скорости движения суспензии интенсивность турбулентных пульсаций возрастает, а с увеличением концентрации волокон – уменьшается. Кроме того, с увеличением скорости сдвига в потоке суспензии реализация тиксотропных свойств суспензии ускоряется [28, 31, 40, 46, 50, 52, 54, 66, 82, 85, 91]. При обратном уменьшении напряжения сдвига в потоке реализованные тиксотропные свойства сохраняются вплоть до очередного обратного восстановления первоначальных внутренних структур суспензии [16, 82].

Распределение скоростей в поперечном сечении потока волокнистой суспензии зависит от скорости его движения. С увеличением скорости движения потока эпюра скоростей в установившемся режиме изменяется от равноскоростной в начале области ньютоновского поведения реологической характеристики суспензии к параболической в области ньютоновского реологического поведения жидкости [28, 31, 40, 46, 50, 52, 54, 66, 85].

В диспергированном ламинизированном сдвиговом потоке волокнистой суспензии с ориентированными по потоку волокнами возникают гидродинамические силы, воздействующие на волокна в направлении градиента скорости, которые перемещают их из области сдвигового потока с малой скоростью движения суспензии в область потока с большей скоростью движения суспензии. При этом скорость перемещения волокон увеличивается с ростом их длины, что обуславливает увеличение концентрации волокон в потоке суспензии в направлении их перемещения [14, 38, 49, 76].

В процессе трансформации флокулированного потока волокнистой суспензии в структурированный коэффициент трения уменьшается и в диспергированном ламинизированном сдвиговом потоке с ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами достигает меньшего, чем у воды, значения при одинаковых скоростях движения. При дальнейшем одновременном увеличении концентрации волокон в суспензии и скорости ее движения интенсивность уменьшения значений коэффициента трения также возрастает [31, 46, 50, 52, 66, 85]. Гидравлические потери напора в потоке суспензии при движении ее в канале трубопровода аналогичны изменению коэффициента трения [11, 46, 48, 54].

*Работа фракционаторов, реализующих способ просеивания  
волокнистого материала через отверстия сита,  
с позиции гидродинамики волокнистых суспензий*

Рабочим телом фракционаторов является волокнистая суспензия. Задача фракционирования – разделение волокнистого материала с высокой избирательной способностью на фракции в зависимости от физических характеристик волокон. Для этого рабочие органы конструкции фракционатора должны создавать гидродинамическое движение потока волокнистой суспензии, которое необходимо для разделения волокнистого материала на фракции с максимальной избирательной способностью.

Представим модель конструкции фракционатора, реализующую идеальным образом способ просеивания волокон через фракционирующий элемент.

Необходимым и достаточным условием для осуществления гидродинамического процесса фракционирования волокнистого материала является организация в канале аппарата полости для фракционируемой волокнистой суспензии, которая движется под воздействием вращающегося ротора относительно внутренней поверхности ситообразного фракционирующего элемента с большой окружной скоростью. При этом сдвиговый поток волокнистой суспензии диспергирован, ламинизирован, имеет большой градиент скорости, волокна ориентированы по потоку, тиксотропные свойства полностью реализованы. Единственным (заранее технически абсурдным) условием для организации такого сдвигового потока суспензии является, с одной стороны, выполнение фракционирующего элемента сита со сплошной гладкой поверхностью, которая была бы проницаемой для коротковолокнистой фракции с требуемой для технологических целей физической характеристикой и непроницаемой для длиноволокнистой фракции, а с другой – конструкция вращающегося ротора не должна оказывать турбулентно перемешивающего воздействия на поток.

Сразу же после организации такого сдвигового потока, под воздействием напряжений сдвига, в нем возникают гидродинамические силы, воздействующие на волокна в направлении градиента скорости. При этом, чем длиннее волокно, тем большее силовое воздействие оно испытывает в указанном направлении. Под воздействием гидродинамической силы волокна различной длины перемещаются с различной скоростью в направлении градиента скорости, обращенного внутрь аппарата к оси вращающегося ротора. Причем, чем длиннее волокно, тем с большей скоростью оно перемещается поперек сдвигового потока к ротору.

В итоге при непрерывном процессе фракционирования происходит избирательное распределение волокон в зависимости от их длины по толщине сдвигового потока, где самые короткие волокна располагаются вблизи гладкой сплошной поверхности фракционирующего элемента, а самые длинные – вблизи вращающегося ротора. Исходя из первоначально принятых (технически нереализуемых) условий коротковолокнистая фракция

проходит через сплошную гладкую поверхность фракционирующего элемента в полость для этой фракции, и далее обе фракции удаляются из «идеализированного» фракционатора.

Однако в реальной конструкции фракционатора сито, имея прерывистую поверхность, не является сплошной гладкой поверхностью и поэтому не может быть техническим средством для организации внутри аппарата сдвигового потока. Сито с прерывистой рабочей поверхностью вместе с ротором, предназначенным для перемешивания волокнистой массы, не создают никаких предпосылок для присутствия в аппарате явления гидродинамического фракционирования. Таким образом, процесс разделения волокнистого материала на фракции во фракционаторе с ситообразным фракционирующим элементом осуществляется исключительно путем просеивания коротковолокнистой фракции из волокнистой суспензии.

Из выше сказанного следует, что потенциально высокие возможности способа гидродинамического фракционирования, обеспечивающего высокую избирательность разделения волокон по длине, на фракционаторах с ситообразными фракционирующими элементами реализовать невозможно. Можно утверждать, что избирательность разделения на фракционаторах с ситообразными фракционирующими элементами достигла своего предела, дальнейшее совершенствование данных конструкций может только незначительно улучшить избирательную способность.

*Гидродинамическое фракционирование  
вторичного волокнистого материала*

Способ гидродинамического фракционирования волокнистого материала основан на гидродинамическом разделении волокон по толщине сдвигового потока волокнистой суспензии в зависимости от их средней длины и последующего распределения путем распыления различных слоев сдвигового потока по фракциям в зависимости от средней длины волокон.

Гидродинамическое разделение волокнистого материала в зависимости от средней длины волокон осуществляется в организованном на сплошной гладкой поверхности фракционирующего элемента диспергированного ламинированного сдвигового потока волокнистой суспензии с ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами таким образом, что самые короткие волокна располагаются у поверхности фракционирующего элемента и по мере удаления от нее последовательно располагаются в области потока с увеличивающейся средней длиной волокон. Самые длинные волокна размещаются в той области потока, где скорость движения суспензии будет наибольшей.

Распыление сдвигового потока по фракциям в зависимости от средней длины волокон осуществляют различными способами в зависимости от конструкции фракционатора и фракционирующего элемента.

Первая конструкция фракционатора, реализующего способ гидродинамического разделения волокнистого материала на фракции в зависимости от их физических свойств, была создана в начале 70-х годов прошлого сто-

летия в институте Акселя Джонсона (Швеция). Фракционатор представляет собой круглый диск с выполненными внутри его тремя или шестью спиралевидными каналами, берущими начало в центральной части диска и заканчивающимися на периферии. Высота каналов плавно уменьшается в направлении от центра диска по спирали к периферии, таким образом, чтобы горизонтальный уровень жидкостных пробок в нижних частях всех каналов был одинаков и находился на одной линии. Высота выходных каналов равна 15 или 30 мм в зависимости от назначения аппарата. Скорость вращения диска 25 ... 30 об/мин. Оптимальное значение концентрации волокон в суспензии на входе 0,25 %. Движущая сила процесса фракционирования – сила земной гравитации. При вращении диска волокнистая суспензия поступает в каждый из каналов в центральной части диска и передвигается в виде жидкостной пробки вдоль спиралевидного канала, находясь все время в нижней части диска. В процессе движения жидкостной пробки в организованном диспергированном ламинизированном сдвиговом потоке под воздействием напряжений сдвига возникают гидродинамические силы, обуславливающие перемещение волокон в направлении градиента скорости к центральной области потока. Самые длинные волокна достигают этой области первыми и, передвигаясь в ней в переднюю часть пробки и образуя прочную флокулированную структуру, остаются там. Далее в направлении к хвостовой части жидкостной пробки располагаются волокна по мере уменьшения их длины. В хвостовой части располагаются самые короткие волокна. При достижении жидкостной пробкой выходного отверстия канала происходит полное распределение волокон по длине пробки, после чего жидкость последовательно выливается в емкости для сбора фракций в зависимости от длины волокон. Для увеличения производительности фракционатора диски объединяют в барабаны.

Однако конструкция аппарата не нашла широкого распространения в промышленности по причине низкой эксплуатационной надежности и малой концентрации волокон во фракционируемой суспензии. Эксплуатация фракционатора сопровождается явлениями закупоривания выходных отверстий каналов волокнистыми пробками, в результате чего или вообще нарушается процесс, или жидкостная пробка выливается в емкости, предназначенные для других фракций. Это существенно нивелирует высокую избирательную способность самого процесса гидродинамического фракционирования в спиралевидных каналах диска [51, 53, 76].

Для разделения волокнистого материала с концентрацией от 3 до 5 % была предпринята попытка создания гидродинамических фракционаторов, в которых движущей силой процесса является механическая энергия вращения дискообразного фракционирующего элемента, выполненного в виде усеченного конуса правильной формы с параллельными основаниями и обращенной рабочей поверхностью меньшего основания вверх или вниз. Предусматривалась возможность подачи волокнистой суспензии по нормали в центральную часть рабочей поверхности. Емкости для сбора фракций волокнистых материалов в зависимости от их физических свойств размеща-

лись по периферии фракционирующего элемента концентрически и соосно с его вертикальной осью [56, 57].

При обработке суспензии с концентрацией 0,8 и 1,2 % во фракционаторе с фракционирующим элементом диаметром 152 мм при скоростях его вращения 3 200 и 21 000 об/мин наблюдалось хорошее качество разделения волокнистого материала на коротко- и длинноволокнистую фракции, заметно отличающиеся по степени помола. Однако дальнейшее увеличение концентрации волокнистого материала привело к резкому ухудшению качества фракционирования, и при концентрации 3,0 % различие между фракциями по степени помола стало незначительным. Это явление объясняется тем, что при повышении концентрации волокон в суспензии данная конструкция фракционирующего элемента не может реализовать главное требование гидродинамического способа разделения волокон на фракции: организацию диспергированного ламинизированного сдвигового потока суспензии с ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами.

В 70-е годы прошлого века в бумажной промышленности начал проявляться интерес к разделению вторичного волокнистого материала на несколько фракций, волокна которых обладали различными физическими свойствами, с целью последующего раздельного размола для придания заданных свойств с использованием, например, в различных слоях многослойного картона.

С этой целью Шведским научно-исследовательским институтом древесины и фирмой «Niro Atomizer» была разработана конструкция гидродинамического фракционатора для разделения на восемь фракций суспензии вторичного волокнистого материала с концентрацией до 5 %. Фракционатор совмещал в себе одновременно две технологических операции: фракционирование волокнистого материала и очистку фракций от загрязняющих включений. Такое решение упрощало технологическую схему приготовления бумажной массы из макулатуры.

Основным элементом фракционатора является вращающийся с различной скоростью дискообразный фракционирующий элемент с вогнутой рабочей поверхностью. Этот элемент расположен горизонтально вогнутой поверхностью вверх. Волокнистая суспензия подается в центральную часть вогнутой поверхности. В воздушном пространстве по периферии фракционирующего элемента и соосно с ним размещены концентрические емкости сбора фракций волокон. Фракционирующий элемент вращается с большой скоростью.

Под воздействием энергии вращения и центробежных сил суспензия распределяется тонким слоем по вогнутой поверхности и движется в направлении к ее периферии. Благодаря вогнутости элемента суспензия под воздействием центробежных сил прижимается к его рабочей поверхности, что обуславливает увеличение напряжения сдвига в слое движущейся жидкости, под воздействием которого поток волокнистой суспензии с флокулированной структурой превращается в диспергированный ламинизированный сдвиговой поток, где происходит распределение волокон по длине в толще

слоя суспензии от рабочей поверхности в направлении к свободной поверхности слоя. При достижении слоем суспензии периферии рабочей поверхности под действием центробежных сил сдвиговой поток распыляется в воздушном пространстве в факел, в котором сохраняется такое же расположение волокон в зависимости от их длины, как и по толщине слоя сдвигового потока на рабочей поверхности. Фракции волокнистых материалов улавливаются из факела расположенными на их пути емкостями [18, 27, 68 – 70]. При диаметре фракционирующего элемента от 120 до 750 мм и скорости вращения от 1 700 до 20 000 об/мин суспензия с концентрацией 3 % во всех случаях разделялась на фракции с различной степенью помола или средней длиной волокон.

Существенным недостатком данной конструкции является малая избирательная способность при отделении фракций мелких и очень мелких волокон. Во всех фракциях в различных количествах содержатся как мелкие и очень мелкие, так и грубые волокна. Загрязняющие включения с меньшей, чем у воды и волокон, удельной плотностью преимущественно концентрируются в длинноволокнистых фракциях, но в малых количествах содержатся и во всех остальных. Включения с большей, чем у воды и волокон, удельной плотностью концентрируются в основном в коротковолокнистой фракции.

Причина низкой избирательности при разделении потока – неоднородность движущих сил, участвующих в организации сдвигового потока волокнистой суспензии на рабочей поверхности фракционирующего органа [10]. Траектория движения сдвигового потока суспензии на рабочей поверхности вращающегося фракционирующего органа является результирующей от векторного сложения траекторий окружных и радиальных составляющих сдвиговых потоков. Движущей силой организации окружного сдвигового потока является энергия вращения фракционирующего органа, а движущей силой организации радиального сдвигового потока – центробежные силы, возникающие при вращении этого органа. При векторном сложении на рабочей поверхности направлений движения элементарных слоев по толщине окружного сдвигового потока с направлениями движения элементарных слоев по толщине радиального сдвигового потока образуются результирующие направления движения элементарных слоев, которые и образуют траекторию движения сдвигового потока, организованного на рабочей поверхности фракционирующего органа. А так как скорости движения элементарных слоев по толщине окружного сдвигового потока существенно превышают скорости движения аналогичных элементарных слоев по толщине радиального сдвигового потока, то при энергетическом взаимодействии они будут иметь разные направления и скорости движения, что обуславливает не только турбулентное перемешивание волокон в потоке, но и существенное ухудшение условий для организации сдвигового потока с однородным полем скоростей, являющегося главным условием для осуществления гидродинамического фракционирования. Это явление и объясняет причину плохой избирательной способности конструкций фракционаторов с

вращающимися в горизонтальном положении фракционирующими органами.

Таким образом, анализ механизма процесса фракционирования в гидродинамических аппаратах с вращающимися в горизонтальном положении фракционирующими элементами позволяет констатировать следующее: во-первых, гидродинамический фракционатор данной конструкции не может служить оборудованием для высококачественной очистки макулатурной массы от загрязняющих включений; во-вторых, энергия вращения фракционирующего элемента является одновременно как движущей силой процесса фракционирования, так и причиной ухудшения избирательной способности фракционаторов; в-третьих, энергия вращения фракционирующего органа является причиной возникновения на его рабочей поверхности сдвигового потока с неоднородными полями скоростей и напряжений сдвига, которые ухудшают гидродинамические условия осуществления процесса фракционирования; в-четвертых, наилучшие гидродинамические условия для фракционирования волокнистого материала в гидродинамическом аппарате достигаются при организации на сплошной гладкой рабочей поверхности фракционирующего органа сдвигового потока волокнистой суспензии с однородным полем скоростей и напряжений сдвига; в-пятых, наилучшие гидродинамические условия для организации сдвигового потока с однородным полем скоростей и напряжений сдвига могут быть достигнуты только на сплошной гладкой рабочей поверхности неподвижного фракционирующего органа; в-шестых, движущей силой для организации на сплошной гладкой рабочей поверхности фракционирующего органа сдвигового потока с однородным полем скоростей и напряжений сдвига может служить только энергия, приложенная со стороны волокнистой суспензии.

Вышеприведенные условия реализованы в конструкции гидродинамического фракционатора [1 – 3, 20 – 23, 38], где в качестве фракционирующего органа служит неподвижно установленное в горизонтальном положении дискообразное тело вращения, в котором верхняя сплошная гладкая поверхность по периферии плавно переходит в торроидальную поверхность. Под фракционирующим органом по его периферии и соосно с ним на некотором расстоянии расположены несколько концентрически размещенных емкостей для улавливания фракций волокнистых материалов.

В этом случае движущей силой процесса фракционирования является кинетическая энергия свободной струи волокнистой суспензии, направленной по нормали в центральную часть рабочей поверхности фракционирующего органа. В месте встречи свободной струи волокнистой суспензии цилиндрической формы с преградой (рабочей поверхностью) давление суспензии достигает своего удвоенного значения [15]. Под его воздействием струя растекается по рабочей поверхности равномерным слоем и в виде сдвигового потока движется с большой скоростью в направлении от центра к периферии поверхности. Организованный таким образом сдвиговой поток характеризуется однородным полем скоростей, напряжений сдвига и градиентом скорости, направленным вверх по нормали к рабочей поверхности.

Под воздействием гидродинамических сил происходит процесс разделения волокнистого материала по толщине сдвигового потока в зависимости от степени помола и средней длины волокон таким образом, что поток достигает торроидальной поверхности уже с полным разделением волокнистого материала. При этом самые короткие волокна остаются вблизи рабочей поверхности, самые длинные – вблизи свободной поверхности сдвигового потока. Концентрация волокон увеличивается в направлении от рабочей поверхности фракционирующего органа до свободной поверхности сдвигового потока. На торроидальной поверхности сдвиговой поток распыляется в окружающее фракционирующий орган воздушное пространство в факел, в котором сохраняется такое же расположение волокон, что и в сдвиговом потоке. Распыленная волокнистая суспензия с самыми короткими волокнами, огибая торроидальную поверхность, собирается в емкости для коротковолокнистой фракции, расположенные под фракционирующим органом.

Этот тип оборудования имеет фракционирующий орган диаметром 360 мм, торроидальную поверхность диаметром 60 мм с сопловой насадкой диаметром 15 мм. Суспензия концентрацией до 3 % фракционируется с хорошим разделением волокон на фракции, отличающиеся степенью помола и средней длиной волокна. Причем фракционированию успешно могут быть подвергнуты различные виды волокон (вторичные, полуцеллюлоза, механическая масса и др.) [38]. Избирательная способность по отделению мелких и очень мелких волокон из макулатурной массы в этом случае достигала 70 % и выше. Одновременно с фракционированием волокнистого материала конструкция фракционатора способна осуществлять очистку 40 ... 50 % массы волокнистого материала от загрязняющих включений с эффективностью 85 ... 95 % за счет их перевода в длиноволокнистую фракцию. Однако при повышении производительности гидродинамического фракционатора по сухому волокну до 12 т/сут. качество фракционирования волокнистого материала и очистки его от загрязняющих включений резко ухудшаются из-за возникновения в аппарате сильных воздушных потоков, которые турбулизуют и разрушают внутреннюю структуру факела из распыленного волокнистого материала. Этот существенный недостаток характерен для всех типов конструкций гидродинамических фракционаторов.

Конструкции гидродинамических фракционаторов не нашли широкого применения в промышленности, так как обладали производительностью 10 ... 15 т/сут. Однако теоретическое изучение механизма процесса фракционирования в них дало мощный толчок для создания более совершенного способа центробежно-гидродинамического фракционирования волокнистых материалов, что привело к появлению нового поколения конструкций фракционаторов, предусматривающих организацию процесса разделения волокнистого материала на фракции в закрытых аппаратах без движущихся конструктивных элементов и с очень малыми объемами внутренних полостей, образованных сплошными гладкими поверхностями. Центробежно-гидродинамический способ фракционирования предусматривает разделение волокнистого материала на фракции поперек вращающегося вокруг

своей оси сдвигового потока в зависимости от физических свойств волокон за счет энергетического воздействия на волокна направленных навстречу друг другу гидродинамических и центробежных сил, создаваемых в таком потоке.

Эффективным оборудованием для реализации этого способа является центриклинер, работающий в режиме реверса, с диаметром основания его внутренней конической полости менее 80 мм. Данная конструкция и принцип работы учитывают все предпосылки для организации в конической полости вращающегося вокруг ее оси сдвигового потока волокнистой суспензии и создания направленных навстречу друг другу гидродинамических и центробежных сил.

Движущей силой процесса фракционирования в данном случае является кинетическая энергия потока волокнистой суспензии, подаваемого у верхнего основания по касательной тангенциально к сплошной гладкой поверхности конической полости [27, 33, 42, 55, 79, 80, 98]. При этом организуется вращающийся вокруг оси сдвиговой поток суспензии с однородным полем скоростей и напряжений сдвига. Скорость элементарных слоев сдвигового потока увеличивается от минимальной (вблизи конической поверхности) до максимальной (вблизи оси полости). В том же направлении увеличивается и напряжение сдвига в сдвиговом потоке. Градиент скорости в организованном таким образом сдвиговом потоке волокнистой суспензии направлен по радиусу от периферии потока к оси его вращения.

Во вращающемся вокруг оси конической полости поле сдвигового потока на волокна суспензии действует центробежная сила, направленная по радиусу от оси вращающегося сдвигового потока к его периферии – к поверхности конической полости. При этом интенсивность воздействия центробежной силы на волокна убывает с увеличением радиуса вращения сдвигового потока. Одновременно во вращающемся потоке суспензии под воздействием напряжения сдвига возникает гидродинамическая сила, действующая на волокна в направлении градиента скорости в сдвиговом потоке – по радиусу от периферии сдвигового потока вблизи поверхности конической полости к оси его вращения. Интенсивность воздействия гидродинамической силы на волокна увеличивается с ростом их удельной поверхности.

В результате взаимодействия в сдвиговом потоке противоположно направленных гидродинамических и центробежных сил происходит разделение волокнистого материала поперек сдвигового потока на фракции в зависимости не только от степени помола и длины волокон, но и от величины их удельной поверхности. Мелкие и очень мелкие волокна сосредотачиваются вблизи оси вращающегося сдвигового потока и конической полости, самые длинные и грубые волокна – на периферии потока вблизи поверхности полости.

Загрязняющие включения с меньшей, чем у воды и волокон, удельной плотностью под влиянием совпадающих по направлению действия сепарационных центробежной и гидродинамической сил также пере-

мещаются поперек вращающегося сдвигового потока к его оси и концентрируются в коротковолокнистой фракции. Одновременно загрязняющие включения с большей, чем у воды и волокон, удельной плотностью под действием центробежной силы отбрасываются на периферию вращающегося сдвигового потока к стенке конической полости и, передвигаясь по ней вместе с длинными грубыми волокнами к вершине конической полости, удаляются через выходное отверстие для длиноволокнистой фракции. Коротковолокнистая фракция удаляется через отверстие в центральной патрубке основания центриклинера. В зависимости от технологических требований к волокнистому материалу количество удаляемой коротковолокнистой фракции по сухому волокну регулируется в пределах 10 ... 50 % объемным расходом суспензии из коротковолокнистой фракции.

Избирательная способность фракционатора в сильной степени определяет свойства волокнистого материала подвергнутого процессу фракционирования. Для проведения эксперимента по определению избирательной способности процесса фракционирования был выбран центриклинер фирмы «Baueg» со следующими конструктивными параметрами: диаметр конической полости – 7 ... 6 мм, диаметр отверстия напорного патрубка для выхода коротковолокнистой фракции – 16 мм, диаметр отверстия патрубка для выхода длиноволокнистой фракции – 9 мм. Данные эксперимента представлены в работах [24, 78].

Бумажная масса, полученная из бывших в употреблении гофроящиков, имела степень помола 36 °ШР и содержание мелких (до 0,3 мм) волокон 12,3 %. При проведении эксперимента (давление на входе фракционатора 600 кПа, концентрация массы 0,6 %) были получены фракции: коротковолокнистая, содержащая 12,3 % сухого волокна со степенью помола 71 °ШР; длиноволокнистая со степенью помола 22 °ШР.

Избирательная способность фракционатора  $Y$  при данных конструктивных и технологических параметрах

$$Y = \frac{g_1}{g_2} \cdot 100 = \frac{7,38}{12,3} \cdot 100 = 60\%.$$

Здесь  $g_1$  – содержание сухих волокон длиной 0,3 мм в отфракционированной коротковолокнистой фракции, %;

$g_2$  – масса сухих волокон коротковолокнистой фракции, %.

Эффективное разделение макулатурной массы из гофрокартона на несколько фракций с одновременной очисткой фракций от тяжелых и легких загрязняющих включений достигается на созданном в Канаде центробежно-гидродинамическом фракционаторе [55], состоящем из шести ступеней фракционирования с применением центриклинеров фирмы «Baueg». Избирательная способность аппарата 60 %. Фракции волокнистых материалов используют повторно в производстве гофрированного картона.

Широкое применение данного вида оборудования в промышленности сдерживается требуемой невысокой (0,5 %) концентрацией массы, поступающей на фракционирование. Попытки увеличить этот параметр сопро-

вождались ухудшением качественных показателей фракционирования волокнистого материала.

Основной причиной этого недостатка в конструкции центробежно-гидродинамического фракционатора, где в качестве фракционирующего органа использован центриклинер, является отсутствие возможности реализации необходимого и достаточного условия – организации в рабочей полости центриклинера вращающегося диспергированного ламинизированного сдвигового потока волокнистой суспензии с ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами. Это условие выполняется только при использовании суспензии с концентрацией 0,1 ... 0,5 %.

Таким образом, фракционирование волокнистой суспензии с концентрацией волокон свыше 0,5 % сопровождается резким ухудшением избирательной способности фракционатора, что обусловлено физической несовместимостью происходящих процессов при повышении концентрации суспензии.

Авторы работ [25, 37] создали более совершенный способ центробежно-гидродинамического фракционирования в дефлокуляторе, выполненном в виде трубопровода определенной длины и диаметра. В отличие от предыдущей концентрации в этом аппарате организован диспергированный ламинизированный сдвиговый поток с ориентированными по потоку волокнами и полностью реализованными тиксотропными свойствами.

Основным преимуществом центробежно-гидродинамических фракционаторов перед другими аппаратами аналогичного назначения является возможность совмещения в них нескольких технологических операций: удаление из волокнистой массы мелких и очень мелких (мельштоф) волокон; фракционирование по длине волокна материалов различного вида; очистка подлежащей размолу длинноволокнистой фракции от загрязняющих включений с плотностью меньшей, чем у воды и волокон; очистка коротковолокнистой фракции от загрязняющих включений с плотностью большей, чем у воды и волокон; сгущение длинноволокнистой фракции перед размолом.

Таким образом, использование центробежно-гидродинамического фракционатора в технологии материалов из вторичного волокна может обеспечить не только упрощение технологической схемы подготовки бумажной массы для повышения качества продукции, но и экономию электроэнергии.

Преимущества нового центробежно-гидродинамического фракционатора перед широко используемым в ЦБП фракционатором типа «Multifaktor» фирмы «Voith» с ситообразным фракционирующим элементом и гидродинамическим фракционатором представлены в таблице.

Новый центробежно-гидродинамический фракционатор состоит из пяти ступеней: первая предназначена для удаления из массы мелких и очень мелких волокон совместно с легкими загрязнениями; вторая – для

## Технические характеристики фракционаторов

Характеристика	«Multifraktor» с диаметром отверстий в ситах, мм [26]		Гидродинамический фракционатор [1 – 3, 20 – 23, 38]	Центробежно- гидродинамический фракционатор [6, 24, 37]
	1	2		
Производительность, т/сут.	100...300		15...30	≥ 5...300
Давление на входе, МПа	0,30...0,35		0,42...0,60	0,30...0,60
Концентрация поступающей массы, %	> 3,0		> 3,5	> 3,5
Избирательная способность по мелкому волокну, %	60   20		40...72	76...93
Число фракций, шт.	2		2 и 3	≥ 2
Масса фракционатора, кг	2000...3000		300...400	200...400
Потребление электроэнергии, кВт·ч/т	20   11		30...60	24...50

длинноволокнистой фракции (относительная доля которой примерно 40 %) от тяжелых мелких загрязнений и доочистки коротковолокнистой фракции на вибрационной сортировке с щелевыми ситами. Установка в технологической схеме производства тест-лайнера фракционатора новой конструкции позволит экономить порядка 100 кВт·ч/т сухого волокна.

Анализ изложенного выше показал, что одной из наиболее важных технологий целенаправленного использования качества волокнистой массы с минимальной обработкой является фракционирование. Оно позволяет применять отдельные фракции вторичной массы в соответствии с их бумагообразующими свойствами в композиции различных видов бумаги и картона. Экономически целесообразно соотношение между длинно- и коротковолокнистой фракциями около 40 ... 60 % [90].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1116771 СССР, МКИ Д21Д 5/02. Устройство для сортирования твердых частиц суспензии / А.В. Яхно. – Оpubл. 1.06.1984.
2. А. с. 1139174 СССР, МКИ Д21Д 5/02. Устройство для сортирования твердых частиц суспензии / А.В. Яхно. – Оpubл. 8.10.1984.
3. А. с. 1522807 СССР, МКИ Д21Д 5/02. Устройство для сортирования твердых частиц суспензии / А.В. Яхно. – Оpubл. 8.10.1984.
4. Барсов В.В. Теория и практика фракционирования целлюлозного волокна. О глубоком отборе мелкого целлюлозного волокна / В.В. Барсов // Тр. ЛТИ ЦБП. Вып. 18. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – С. 37–44.
5. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем. / Е.Е. Бибик. – Ленинград, 1981. – 171 с.
6. Бумагоделательное оборудование: каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1978. – 206 с.
7. ГОСТ 10700–1997. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия.
8. Дулькин Д.А. Мировые тенденции в развитии техники и технологии переработки макулатуры / Д.А. Дулькин [и др.]. – Архангельск: АГТУ, 2002. – 109 с.

9. *Зайцев Б.Г.* Рациональная система приготовления волокнистого материала из макулатуры и новая концепция в создании технологического оборудования нового поколения / Б.Г. Зайцев [и др.] // Создание конкурентоспособного оборудования и технологий для изготовления бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: науч. тр. 3-й Междунар. научно-техн. конф. – Караваево-Правдинск, 2002. – С. 33–36.

10. *Киселев П.Г.* Гидравлика. Основы механики жидкости / П.Г. Киселев. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.

11. *Климов В.И.* Гидротранспорт волокнистых материалов в целлюлозно-бумажном производстве / В.И. Климов. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 280 с.

12. *Кугушев И.Д.* Сортирование бумажной массы / И.Д. Кугушев, К.А. Смирнов. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 200 с.

13. *Ламбергер Э.* Фракционирование макулатуры - средство к управлению качеством и его улучшению / Э. Ламбергер // Материалы фирмы «Voith». – М., 1985. – 15 с.

14. *Линд А.М.* Роль выходного отверстия напорного ящика бумажной машины в формировании бумажного листа / А.М. Линд: // Бум. пром-сть. – 1935. – № 1. – С. 82–92.

15. *Нурок Г.А.* Гидромеханизация горных работ / Г.А. Нурок. – М.: Госгортехиздат, 1959. – 391 с.

16. *Овчинников П.Ф.* Реология тиксотропных систем / П.Ф. Овчинников, Н.Н. Круглицкий, Н.В. Михайлов. – Киев: Наук. думка, 1972. – 120 с.

17. Пат. 86538 Польша, Д21С 5/02. Sposob przerobu makulatury na papier / E. Szwarczstain, K. Przybysz – Publ. 15.11.1976.

18. Пат. 2632999 ФРГ, В01Д 21/26. Verfahren zum Zerlegen einer flüssigen Suspension von festen Partikeln in Fraktionen mit verschiedenen Durchschnittsei – gesellschaften / Annilder: A/S Nizo Atomizer. – Publ. 10.02.1977.

19. Пат. 2037340 Великобритания. Utilizing waste paper / M. Lalak, A. Kostka – Publ. 9.07.80.

20. Пат. 198034 Италия, Д21Д 5/02. Dispositivo per dividere in frazioni le particelle solide di una sospensione / A.V. Yakhno. – Publ. 31.12.85.

21. Пат. 73475 Финляндия, С1. Д21Д 5/00. Anerdning för Klassering av fasta partiktart fraktioner / A.V. Yakhno. – Publ. 30.06.87.

22. Пат. 257556 ГДР, Д21Д 5/02. Vorrichtung zum Sortieren der festen Teilchen einer Suspension / A.W. Jachno. – Publ. 22.06.88.

23. Пат. 259019 ЧСР, С1. Д21Д 5/02. Zařizení pro třídění pevných částic suspenze / A.V. Yachno. – Vydáno 03.01.89.

24. Пат. 2210651 РФ, 7 D 21 D 1/32, G 01 N 33/34. Устройство для определения качества приготовления волокнистого материала / В.Б. Зайцев, М.Д. Овчинников, И.Н. Ковернинский, Н.И. Яблочкин. – Оpubл. 10.08.2004. – Бюл. № 22.

25. Пат. 2210653 РФ, 7 D 21 D 5/18. Способ центробежно-гидродинамической обработки волокнистой суспензии и установка вихревых конических очистителей для его осуществления / В.Б. Зайцев, М.Д. Овчинников, И.Н. Ковернинский, Н.И. Яблочкин. – Оpubл. 10.08.2004. – Бюл. № 22.

26. *Примаков С.Ф.* Технология бумаги и картона / С.Ф. Примаков, В.А. Барбаш, А.П. Шутько. – М.: Экология, 2000. – 304 с.

27. *Смоляницкий Б.З.* Переработка макулатуры / Б.З. Смоляницкий. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 175 с.

28. *Терентьев О.А.* Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве / О.А. Терентьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 248 с.
29. *Тотухов Ю.А.* Теоретическая модель реологической характеристики волокнистой суспензии повышенной концентрации / Ю.А. Тотухов, О.А. Терентьев // *Машины и оборудование ЦБП: межвуз. сб. науч. тр., вып. V.* – Ленинград: ЛТА, 1977. – С. 48–50.
30. *Уилкинсон У.Л.* Неньютоновские жидкости / У.Л. Уилкинсон; пер. с англ. З.П. Шульмана. – М.: Мир, 1964. – 216 с.
31. *Форгес О.Л.* Гидродинамическое поведение волокон, применяемых для выработки бумаги / О.Л. Форгес, А.А. Робертсон, С.Г. Мезон // *Основные представления о волокнах, применяемых в бумажной промышленности: материалы симп.* – М.: Гослесбумиздат, 1962. – С. 458–489.
32. *Хертль Э.* Современные установки для массоподготовки / Э. Хертль // *Оборудование и общие концепции: материалы фирмы «Andritz».* – М., 2001. – 20 с.
33. *Чичаев В.А.* Оборудование целлюлозно-бумажного производства Том 1. Оборудование для производства волокнистых полуфабрикатов / В.А. Чичаев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – С. 244–260.
34. *Шайдулов Г.Ф.* О вязкости и упругости бумажной массы / Г.Ф. Шайдулов // *Коллоидный журнал.* – 1955. – Т. XVII, вып. 5. – С. 397–402.
35. *Шульман З.П.* Пограничный слой неньютоновских жидкостей / З.П. Шульман, Б.М. Берковский. – Минск, 1966. – 240 с.
36. *Яблочкин Н.И.* Макулатура в технологии картона / Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров, И.Н. Ковернинский. – Архангельск: АГТУ, 2004. – 252 с.
37. *Яблочкин Н.И.* Фракционирование и новый фракционер для повышения эффективности использования вторичного волокна / Н.И. Яблочкин, Д.А. Дулькикин, И.Н. Ковернинский // *Теория и технология бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: науч. тр. 5-й Междунар. научно-техн. конф.* – Правда – Караваево, 2004. – 100 с.
38. *Яхно А.В.* Установка для сортирования волокнистых материалов (гидродинамическая сортировка) / А.В. Яхно // *Совершенствование технологии и оборудования по переработке макулатуры: сб. науч. тр. УкрНИИБ.* – Киев, 1989. – С. 83–94.
39. *Ackermann Ch.* Entfernung von Makro-Stickers bei der Aufbereitung gemischter Altpapiere für die Herstellung von Wellpappenrohpa-pieren / Ch. Ackermann, H.-J. Putz, L. Gottsching // *Wochenblatt für Papierfabrikation.* – 2000. – N 7. – S. 410–418.
40. *Andersson O.* Some Observation on fibre suspensions in turbulent motion / O. Andersson // *Svensk Papperstidning.* – 1966. – Vol. 69, N 2. – P. 23–31.
41. *Blechsmidt Y.* Morphologische und chemische Eigenschaften von Altpapierstoffen / Y. Blechsmidt, Y. Vogel // *Zellstoff und Papier.* – 1981. – N 3. – S. 113–118.
42. *Bliss T.* A study of fiber fractionation using centrifugal cleaners / T. Bliss // *Masters Thesis.* – Miami University, 1983.
43. *Bliss T.* Pulp fractionation can benefit multiplayer paperboard operations / T. Bliss // *Pulp and Paper.* – 1987. – N 2. – P. 104–107.
44. *Bliss T.* Through-flow cleaners of fer good efficiency with low pressure drop / T. Bliss // *Pulp and Paper.* – 1985. – N 69/3. – P. 131–135.
45. *Boettohet P.C.* Paper presented at 1986 Tappi Pulping Conference / P.C. Boettohet. – Toronto, 1986.

46. *Bugliarello G.* Rheological models and laminar flow of fiber suspensions / G. Bugliarello, J.W. Daily // *Tappi*. – December, 1961. – Vol. 44, N 12. – P. 881–893.
47. *Carlsson G.* Hornification of Cellulosic fibers during wet pressing / G. Carlsson, T. Lindstrom // *Svensk Papperstidning*. – 1984. – T. 87, N 15. – P. 119–125.
48. *Condolios E.* Strömung von Faserstoff – Suspensionen durch Rohrlitungen / E. Condolios, J. Constans // *Allgemein Papier Rundschau*. – 1964. – N 3. – S. 136–138.
49. *Gottsching L.* Faserfraktionierung mit Hilfe hydrodynamischer Kräfte – Eine Studie über den Johnson-Fraktionator / L. Gottsching, L. Stürmer // *Wocheublat für Papier – fabrication*. – 1975. – 103, N 11–12. – S. 372–381.
50. *Daily J.W.* Basic data for dilute fiber suspensions in uniform flow with shear / J.W. Daily, G. Bugliarello // *Tappi*. – 1961. – Vol. 44, N 7. – P. 497–512.
51. Der Johnson-Fraktionator und einige seiner Einsatzmöglichkeiten in der Zellstoff und Papierindustrie // *Das Papier*. – 1973. – T. 27, N 3. – S. 105–107.
52. *Forgacs O.L.* The hydrodynamic behaviour of papermarking fibres / O.L. Forgacs, A.A. Robertson, S.G. Mason // *Pulp and Paper Magazine of Canada*. – 1958. – Vol. 59, N 5. – P. 117–128.
53. *Gavelin G.* Time to take another look at mechanical pulp fractionation / G. Gavelin // *Paper Trade Journal*. – 1971. – Vol. 155, N 44. – P. 40–42.
54. *Hemström G.* Boundary layer studies in Pulp suspension flow / G. Hemström, K. Moller, B. Norman // *Tappi*. – 1976. – Vol. 59, N 8. – P. 115–118.
55. *Ho Sheau-Ling.* Fibre fractionation in hydrocyclones / Ling Ho Sheau, T. Rehmat, R. Branion // 86<sup>th</sup> Annu. Meet. PAPTAC, Montreal, Febr. 1-3, 2000. – Montreal: Pulp and Pap. Techn. Assoc. Can., 2000. – P. 193–215.
56. *Klungnes J.H.* Disc separation wetting angle differences / J.H. Klungnes // *Tappi Journal*. – 1987. – July. – P. 125–127.
57. *Klungnes J.H.* Fiber separation with vaneless spinning Disc: Application / J.H. Klungnes, A.R. Oroskar, J. Crosby // *Tappi Journal*. – June. – P. 78–82.
58. *Leblanc P.* Fractionation of Secondary Fibers / P. Leblanc, R. Harrison // *Tappi*. – 1975. – Vol. 58, N 4. – P. 85–87.
59. *Lindgren K.* How to screen Waste Paper Stock / K. Lindgren // *Paper Trade Journal*. – 1955. – Vol. 139, N 17. – P. 33.
60. *Lindgren K.* Modern Pulp screening equipment and systems / K. Lindgren // *Paper Trade Journal*. – 1955. – Vol. 139, N 13. – P. 30–37.
61. *Lindgren K.* New Development in groundwood Pulp Screening / K. Lindgren // *Paper Trade Journal*. – 1955. – Vol. 139, N 16. – P. 33–34.
62. *Lindsay M.* High-consistency screening guts Equipment costs / M. Lindsay // *Pulp and Paper*. – 1984. – Vol. 56, N 3. – P. 80–82.
63. *Mc-Kee R.C.* Effekt of repulping on sheet properties and fiber characteristics / R. C. Mc-Kee // *Paper Trade Journal*. – 1971. – Vol. 155, N 24. – P. 34–40.
64. *Menges W.* Einsatz und Funktion im Praktischen Betrieb T. II. / W. Menges // *Wochenblatt für Papierfabrikation*. – 1982. – N 11/12. – S. 374–379.
65. *Menges W.* Wastepaper fiber fractionation is the key at PWAs Redenfelden mill / W. Menges // *Pulp and Paper*. – 1984. – N 58. – P. 118–122.
66. *Mih W.* Velocity profile measurements and a phenomenological description of turbulent fiber suspension pipe flow / W. Mih, J. Parker // *Tappi*. – May, 1967. – Vol. 50, N 5. – P. 237–246.
67. *Mitra R.* Description and operating experience of an optimized and fully automated stock preparation system / R. Mitra // *Pulp and Paper*. – 1985. – N 87/5. – P. 51–55.

68. *Moller K.* Dickstoffsartierung mit Sprühverfahren / K. Moller [et al.] // Wocheblatt für Papierfabrikation. – 1978. – N 11/12. – S. 445–448.
69. *Moller K.* High-consistency pulp fractionation with an atomizer / K. Moller [et al.] // Tappi. – 1980. – Vol. 63, N 9. – P. 89–91.
70. *Moller K.* Schreening cleaning and fractionation with atomiser. / K. Moller [et al.] // Paper Technology and Yndustry. – 1979. – Vol. 20, N 3. – P. 110–114.
71. *Musselmann W.* Die Fraktionierung von Fasserstoffen aus Altpapier W. Musselmann // Wochenblatt für Papierfabrikation. – 1978. – N 6. – S. 242–377.
72. *Musselmann W.* Die Sortierung von Altpapier im Bereich mittlerer Stoffdichte. Betriebserfahrungen mit Contaminex und Turbosorter / W. Musselmann, W. Menges // Wochenblatt für Papierfabrikation. – 1983. – N 11/12. – S. 376 – 388.
73. *Musselmann W.* Grundlagen, Einflussgrößen der Fraktionierung und Eigenschaften der Fraktionen. T. I / W. Musselmann // Wochenblatt für Paperfabrikation. – 1982. – N 11/12. – S. 368–373.
74. *Musselmann W.* Konzept und Funktion einer Altpapierfaserfraktionierungsanlage und Erfahrungen im praktischem Betrieb / W. Musselmann, W. Menges // Wochenblatt für Papierfabrikation. – 1982. – N 11/12. – S. 368–379.
75. *Nordman L. S.* The Determination of Fiber Length Distribution in Connection with Beating Research / L.S. Nordman, J.A. Niemi // Tappi. – 1960. – Vol. 43, N 3. – P. 260–266.
76. *Olgard G.* Fractionation of fiber suspensions by liquid column flow / G. Olgard // Tappi. – 1970. – Vol. 53. – P. 1240–1246.
77. *Pakarinen H.* Papermaking science and technology. Book 7. Recycled fiber an deinking / H. Pakarinen, L. Gottsching. – Finland: Jyvaskila, 2000.– 649 p.
78. Pat. 2,878,934. Cl. 209-211USA. Method and Apparatus separating dirt from Aqueous Suspensions of Pulp Fibers. / G.H. Tomlinson. – Publ. 24.03.59.
79. Pat. 3,085,927. Cl. 162-55 USA. Process for preparation of fibers having differing characteristics / A.W. Pesch, D. Ala– Pr. 16.05.63.
80. Pat. 3,301,745. Cl. 162-55 USA. Pulp processing method for mixed cellulosic materials / C. Sydney, P. Ridiey, B. Ralph – Pr. 31.01.67.
81. Pat. 3363759 USA, MKU 209-273. Screening apparatus with rotary Pulsing member / Y. C. Pounder. – Publ. 16.01.68.
82. *Raij U.* An experimental ynvestigation of paper pulp stock flow in a straight pine / U. Raij, D. Wahren // Svensk Papperstidning. – 1964. – Vol. 67, N 5. – P. 186 – 195.
83. *Ranhagen G.* How to screen sulphite pulp / G. Ranhagen // Paper Trade Journal. – 1954. – Vol. 138, N 1. – P. 19–22.
84. *Rienecker R.* Sortierung von Altpapierstoff zur Herstellung von graphischen Papieren / R. Rienecker // Wochenblatt für Papierfabrikation. – 1997. – N 23/24. – S. 1149–1159.
85. *Sanders H.T.* Consistency distributions in turbulent tube flow of fiber suspensions / H.T. Sanders, H. Meyer // Tappi. – May, 1971. – Vol. 54, N 5. – P. 722–730.
86. *Sandgren B.* Studies on pulp Crill / B. Sandgren, D. Wahren // Svensk Papperstidning. – 1960. – T. 63, N23. – P. 854–858.
87. *Selder H.* Faser fraktionierung-ein neuer Weg zur Optimierung der Papierqualität bei gleichzeitiger senkung der Rohstoff und Energiekosten / H. Selder // Paper. – 1984. – N 29/9. – S. 435–440.
88. *Selder H.* The escher wyss fibersorter for the high density screening of recycled fibres / H. Selder, W.H. Siewert // Materials of conf. Tappi. – Seattle, 1980.

89. *Siewert W.H.* Funktion und Bedeutung eines neuartigen Endstufensortierers für die Stiffaufbereitung / W.H. Siewert // Sonderdruck aus der Zeitschrift «Das Papier». – 1983. – N 10. – S. 1–8.

90. *Siewert W.H.* Потенциал улучшения качества макулатурной массы / W.H. Siewert // Wochenblatt für Papierfabrikation. – 1996. – N 6. – С. 217–220.

91. *Skali Lami S.* Ecoulement de pate a papier en conduite floculation et turbulence / S. Skali Lami, G. Cagnet, D. Quemada // Journal de Mecanique Theorione et Appliquie. – 1985. – P. 253–266.

92. *Souček M.* Změny Vlastnosti Vlákén při mleti / M. Souček // Papir a celuloza. – 1965. – S. 17–19.

93. *Strazdins E.* Conenical Aids can Effect Strenct loss secondary Fiber Furnish usd / E. Strazdins // Pulp Pappé. – 1984. – N 3. – P. 73–77.

94. *Stürmer Z.* Physikalische Eigenschaften von Sekundäкафыкыещааут under dem Einfluss ihrer Vorgeschichte. Т. III. Einflussy der Papierherstellung (Zustand der Primärfaserstoffe, Hilfstoffe, Blattbildung, Trocknung) / Z. Stürmer, L. Göttsching // Wochenblatt für Papierfabrikation. – 1979. – N 3. – S. 69–78.

95. *Szwarcztajn E.* Einige Aspekte der Fraktionierung von Zellstoff und Altpapier / E. Szwarcztajn, K. Przybyez // Das Papier. – 1975. – Heft 7, Т. 29. – S. 295–300.

96. *Under E.* Zur morphologischen Bewertung von Altpapierstoffen mit der Siebanalyse / E. Under, F. Freund // Zellstoff und Papier. – 1976. – N 3. – S. 76–82.

97. *Weber A.* Fasserfraktionierung mit dem Cellusizer / A. Weber // Wochenblatt für Paperfabrikation. – 1978. – N 8. – S. 309–311.

98. *Wood R.* Distribution of fibre specific surfase of papermarking pulps / R. Wood, A. Karnis // Pulp and Paper. – 1979. – N 4. – P. 73–79.

99. *Yngmanson W.L.* [et. al.] // Tappi. – 1959. – Т. 42, N 1. – P. 29.

ОАО «Караваево»

Архангельский государственный  
технический университет

ОАО «Вторресурсы – Караваево»

ОАО «Полотняно-заводская бумажная фабрика

Поступила 25.11.04

*N. I. Yablochkin, V.I. Komarov, I.N. Koverninsky, D.A. Dulkan*

### **Fractionating of Secondary Fiber in Centrifugal-hydrodynamic Fractionator**

The necessity of secondary fiber fractionating in the process flowsheets for preparing waste paper mass and problems related to this task are considered; the operational efficiency of the new design of centrifugal-hydrodynamic fractionator is compared to the existing ones.

---

УДК 661.728.85

**М.В. Ефанов**

Ефанов Максим Викторович родился в 1973 г, окончил в 1995 г. Алтайский государственный университет, кандидат химических наук, старший научный сотрудник НИИ древесных термопластов при Алтайском государственном университете. Имеет более 50 работ в области химии древесины.



### **КСАНТОГЕНИРОВАНИЕ ЛИГНИНА И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В СРЕДЕ ПРОПАНОЛА-2**

Изучен функциональный состав продуктов ксантогенирования лигнина и целлюлозы в среде пропанола-2; показано, что лигнин оказывается более реакционноспособным, чем целлюлоза.

*Ключевые слова:* ксантогенирование, лигнин, целлюлоза, пропанол-2, функциональный состав.

Ксантогенирование целлюлозы – широко применяемый в промышленности химических волокон процесс [10].

Известны способы ксантогенирования целлюлозы, активированной щелочными растворами в воде, с последующим отжимом и смешением с сероуглеродом, в результате чего получают ксантогенированные продукты [5, 7]. Данные способы обладают существенными технологическими недостатками: обязательная предварительная активация целлюлозы, необходимость регенерации растворов NaOH, высокий расход реагента (сероуглерода) на побочные реакции, что приводит к значительному увеличению продолжительности ксантогенирования и ухудшению экологической ситуации. В литературе имеются сведения о взаимодействии отдельных углеводных компонентов древесины (целлюлоза, олигосахариды и гемицеллюлозы) с сероуглеродом в присутствии гидроксида натрия [4, 8, 9], однако практически отсутствуют работы по непосредственному ксантогенированию лигнина, древесины и других лигноуглеводных материалов (ЛУМ).

Преимущества в использовании ЛУМ: значительно удешевляется конечный продукт; появляется возможность реализации безотходной технологии (все основные компоненты лигноуглеводных материалов – целлюлоза, лигнин, гемицеллюлозы – ксантогенируются и в дальнейшем используются); отпадает необходимость разделения лигноуглеводного комплекса на лигнин и углеводную часть; получаемые ксантогенированные ЛУМ обладают более широким спектром свойств, чем ксантогенаты целлюлозы. Использование ЛУМ для ксантогенирования способствует расширению и удешевлению сырьевой базы.

Ранее нами был разработан способ суспензионного ксантогенирования ЛУМ в среде пропанола-2 [1, 2], который состоит из двух стадий: предварительной щелочной активации сырья в среде пропанола-2 и собственно

ксантогенирования в этой же среде. К недостаткам этого способа следует отнести: необходимость использования растворителя (пропанол-2); двухстадийность, высокая температура щелочной обработки (40 ... 100 °С) и ксантогенирования (40 ... 60 °С); общая продолжительность процесса 4 ... 6 ч.

Целью настоящего исследования является сравнительное изучение ксантогенирования основных компонентов ЛУМ (лигнин и целлюлоза) и некоторых физико-химических свойств их ксантогенатов.

Для проведения эксперимента из исходного сырья (древесина осины) были выделены медноаммиачный лигнин и целлюлоза по методу Кюршнера [6]. Функциональный химический анализ исходного сырья осуществляли по общепринятым методикам [11] (см. таблицу).

Ксантогенирование основных компонентов ЛУМ проводили по следующей методике: навеску (5,0 г) воздушно-сухих образцов лигнина и целлюлозы обрабатывали раствором NaOH в пропанол-2 (из расчета 0,5 г NaOH/г сырья) при гидромодуле 10 и температуре 60 °С в течение 3 ч, а затем после отжима – сероуглеродом (в расчете 1 г CS<sub>2</sub>/г сырья) при 50 °С в течение 3 ч. Полученные продукты промывали этанолом, сушили на воздухе, из них в дальнейшем готовили разбавленные растворы для определения относительной вязкости.

Содержание серы в полученных продуктах определяли методом сжигания в кислороде по Шенигеру [3], растворимость в воде и 6 %-м растворе NaOH – согласно [6], относительную вязкость  $\eta_{\text{отн}}$  1 %-х растворов ксантогенатов в 6 %-м растворе NaOH – вискозиметрически с использованием вискозиметра Убеллоде (диаметр капилляра 0,6 мм, длина 80 мм) при температуре (20 ± 1) °С (термостат).

Как показали результаты экспериментов (см. таблицу), лигнин в реакции ксантогенирования более реакционноспособен, чем целлюлоза.

Таким образом, при ксантогенировании в среде пропанола-2 степень превращения гидроксильных групп лигнина и растворимость продуктов его ксантогенирования выше, чем у целлюлозы.

#### Функциональный состав и свойства продуктов ксантогенирования лигнина и целлюлозы

Образец	Содержание, %			Физико-химические свойства	
	ОН	ОСН <sub>3</sub>	S	Растворимость в 6 %-м NaOH, %	Относительная вязкость
Лигнин	10,4	18,5	–	–	–
Целлюлоза	31,5	–	–	–	–
Ксантогенат:					
лигнина	7,1	17,2	12,3	94	1,07
целлюлозы	26,5	–	8,76	76	1,24

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефанов М.В. // Химия природных соединений. – 2002. – № 1. – С. 65–69. (М.В. Ефанов, Л.А. Першина).
2. Ефанов М.В. // Тез. докл. Всеросс. конф. «Наука – производству. Лес-техпродукция – 2001». – М.: НТО Бум. пром-сти, 2001. – С. 19-20. (М.В. Ефанов, Л.А. Першина).
3. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений / В.А. Климова. – М.: Химия, 1975. – 211 с.
4. Пакшвер А.Б. // Химические волокна. – 1987. – № 1. – С. 43–44. (А.Б. Пакшвер, Э.З. Кипершлак, А.В. Данюкова).
5. Пат. 3469969 США. МПК С 08 В 9/00.
6. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 411 с.
7. Роговин З.А. Основы химической технологии производства искусственных волокон. Т. 1 / З.А. Роговин. – М.: Химия, 1974. – 472 с.
8. Роговин З.А. Химия целлюлозы. / З.А. Роговин. – М.: Химия, 1972. – 520 с.
9. Серков А.А. // Химические волокна. – 1984. – № 5. – С. 25–26. (А.А. Серков, Л.А. Вольф).
10. Химические волокна / Под ред. А.А. Конкина. – М.: ВНИИВ, 1968. – 244 с.
11. Черонис Н. Функциональный анализ органических соединений / Н. Черонис, Т. Ма. – М.: Мир, 1974. – 568 с.

Алтайский государственный  
университет

Поступила 11.02.04

*М.Е. Efanov*

### **Xanthation of Lignin and Cellulose in Propanol-2 Medium**

Functional composition of lignin and cellulose products in propanol-2 medium has been studied. Lignin is shown to possess higher reactivity than cellulose.

---

УДК 676.088:628.34

### **К.Б. Воронцов, Е.Д. Гельфанд**

Воронцов Константин Борисович родился в 1979 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии АГТУ. Имеет 4 печатные работы в области биотехнологии, охраны окружающей среды.



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 340 печатных трудов в области химической технологии древесины и биотехнологии.



### **К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ СБРОСА ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ НА СУЛЬФИТ-ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Разработаны технические решения по очистке сульфитно-щелоковых сред, позволяющие уменьшить сброс лигносульфонатов в природные водоемы примерно в 2 раза.

*Ключевые слова:* сульфитно-щелоковые среды, лигносульфонаты, очистка.

В России действует около 15 сульфит-целлюлозных заводов. Все они сбрасывают в канализацию лигносульфонаты (ЛС) в составе так называемых щелоксодержащих вод (кислые стоки, промывные воды). Особая экологическая опасность сброса ЛС состоит в том, что даже при наличии хорошей биологической очистки стоков они не устраняются и, в конечном итоге, целиком оказываются в природных водоемах (в составе биологически очищенных сточных вод).

Объемы сброса ЛС в составе щелоксодержащих сточных вод определяются двумя факторами: а) «выходом» ЛС, который составляет около 500 кг/т целлюлозы [4], б) степенью отбора щелоков, которая даже в лучшие годы существования отрасли не превышала в среднем 65 % [2].

В последние годы многие предприятия значительно увеличили сброс ЛС не только в составе щелоксодержащих сточных вод, но также в виде непосредственно щелока или сульфитно-дрожжевой бражки, концентрация ЛС в которых составляет 5 ... 6 %. Отдельные предприятия осуществляют сброс всех вырабатываемых щелоков.

К настоящему времени нет промышленно приемлемого решения по очистке от ЛС сбрасываемых в канализацию сред – щелоксодержащих сточных вод, щелока или сульфитно-дрожжевой бражки.

В данной статье представлены результаты наших исследований по частичной очистке сульфитно-щелочных сред от ЛС.

В исследованиях по очистке щелоксодержащих сточных вод установлено [3], что последовательная обработка солями металлов и известковым молоком приводит к высаживанию из раствора до 55 % ЛС. Наилучший эффект достигается при использовании солей алюминия (дозировка около 6 мг-экв/л) и дозировке известкового молока, обеспечивающей рН среды около 12 (что соответствует расходу извести 70 ... 80 мг-экв/л). Расход реагентов на 1 кг высаженных ЛС: сульфат алюминия – 0,24 кг; известь (по СаО) – 1,5 кг.

Для очистки от ЛС щелочков нами испытан предложенный ранее прием известкования [5]. Как показали наши исследования [1], при обработке щелочков на натриевом основании известкование обеспечивает 50 %-ую очистку от ЛС, при этом расход СаО составляет около 1,1 кг на 1 кг высаженных ЛС.

Установлено, что при известковании сульфитно-дрожжевой бражки ЛС практически не высаживаются, хотя концентрация ЛС в ней такая же, как и в щелоках. Обработка сульфитно-дрожжевой бражки солями алюминия и известью дает несколько меньший (до 45 %) эффект по сравнению с щелоксодержащими сточными водами, но при большей дозировке соли алюминия (до 50 мг-экв/л). Поэтому для очистки бражки нами разработана специальная технология, которая включает в качестве обязательного элемента параллельное проведение двух процессов: очистки собственно сульфитно-дрожжевой бражки, а также очистки щелоксодержащей сточной воды. Эти процессы взаимосвязаны, так как весь осадок ЛС от очистки щелоксодержащей сточной воды используется в качестве реагента для обработки сульфитно-дрожжевой бражки на первой стадии с последующим введением известкового молока до рН 12 на второй стадии и отделением осадка (см. рисунок).

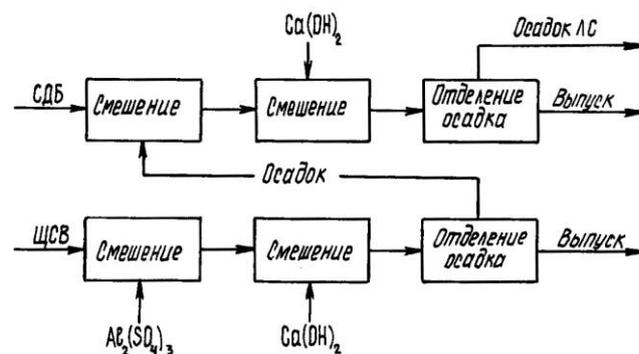


Схема обработки сульфитно-дрожжевой бражки  
(СДБ) и щелоксодержащей сточной воды (ЩСВ)

В таблице приведены основные показатели очистки по предлагаемой схеме в зависимости от соотношения количества ЛС, сбрасываемых с сульфитно-дрожжевой бражкой и щелоксодержащими сточными водами (концентрация ЛС, определенная по методу Пирла – Бенсона [6], в сульфитно-дрожжевой бражке – 55 г/л, в щелоксодержащей сточной воде – 2,5 г/л).

В настоящее время изучаются различные варианты минимизации расхода извести и утилизации образующегося осадка ЛС. Установлено, что осадок содержит примерно 40 ... 50 % кальция (в пересчете на СаО), остальное – преимущественно ЛС, которые могут быть переведены в растворимое состояние и отделены от минеральной части.

**Результаты очистки сульфитно-дрожжевой бражки  
и щелоксодержащей сточной воды**

Показатель	Численное значение показателя для соотношений ЛС, сбрасываемых с СДБ и ЩСВ				
	1,0 : 2,3	1,0 : 1,5	1,0 : 1,0	1,5 : 1,0	2,3 : 1,0
Эффект очистки от ЛС (по данным материаль- ных балансов), %:					
в потоке СДБ	81	70	68	75	45
в потоке ЩСВ	60	60	60	60	60
общий	66	64	64	69	49
Удельный расход, кг/кг удаленных ЛС					
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,13	0,12	0,10	0,07	0,07
Са(ОН) <sub>2</sub> в пересчете на СаО	1,18	1,11	1,02	0,86	1,72

*Вывод*

Сброс лигносульфонатов на сульфит-целлюлозных предприятиях может быть уменьшен более чем в 2 раза путем известкования (для щелока) или последовательной обработки сульфатом алюминия и известью (для сульфитно-дрожжевой бражки и щелоксодержащих сточных вод).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронцов К.Б.* Обработка сульфитных щелоков известкованием / К.Б. Воронцов, Е.Д. Гельфанд // Лесн. журн. – 2004. – № 2. – С. 102–105. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Гимашева Р.Г.* Использование в биотехнологии углеводов ресурса сульфитных щелоков в отрасли / Р.Г. Гимашева, С.А. Сапотницкий // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. – 1989. – № 3. – С. 29–31.
3. Заявка РФ № 2004101915, МПК 6 С02 F1/58. Способ очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства / Е.Д. Гельфанд, К.Б. Воронцов; заявитель – АГТУ.
4. *Сапотницкий С.А.* Использование сульфитных щелоков / С.А. Сапотницкий. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 284 с.

---

5. Сапотницкий С.А. Использование сульфитных щелоков / С.А. Сапотницкий. – изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 224 с.

6. Унифицированные методы анализа вод. – М.: Химия, 1971. – 376 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 06.04.04

*K.B. Vorontsov, E.D. Gelfand*

**To Question of Lignosulphonates Discharge Reduction  
at Sulphite-pulp Mills**

Technical solutions have been developed for sulphite-alkaline media treatment allowing to reduce the discharge of lignosulphonates into natural reservoirs almost twice.

---

УДК 676.2.036

*В.К. Дубовый*

**СНИЖЕНИЕ СУЛЬФАТНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ  
ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ  
БУМАГОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ  
ВОЛОКОН С НЕОРГАНИЧЕСКИМИ СВЯЗУЮЩИМИ**

Экспериментально изучено влияние степени замыкания водооборота на свойства бумаги из минеральных волокон с неорганическими связующими и возможные методы снижения минерализации оборотной воды без ухудшения прочности бумагоподобных композитов.

*Ключевые слова:* бумага, минеральные волокна, соединения алюминия, силикат натрия, замыкание водооборота, хлористый барий.

В связи с возрастающими требованиями, предъявляемыми к чистоте промышленных стоков, одним из основных направлений научно-исследовательских работ в области совершенствования или создания процессов, связанных с применением химических добавок, является разработка технологии сокращенного водопользования. Однако замыкание водооборота может сказаться на качестве продукции. Исходя из этого, решено изучить влияние степени замыкания водооборота на свойства образцов из минеральных волокон и пути снижения минерализации оборотной воды при их приготовлении.

С целью уменьшения содержания сульфат-ионов в сточной воде при использовании в качестве связующих минеральных волокон сульфата алюминия и силиката натрия непосредственно в композицию вводили раствор хлористого бария. Серию опытов проводили на каолиновом волокне. В распущенное в свежей воде каолиновое волокно при перемешивании вводили добавки сульфата алюминия и силиката натрия (в количестве 5 % оксида алюминия и 10 % оксида кремния). Через 10 минут (время, достаточное для образования алюмосиликатной связки и равномерного распределения ее между волокнами) в массу добавляли 5 %-й раствор хлорида бария. После этого сразу же проводили отлив, разбавляя полученную композицию свежей водой при изготовлении первого образца и оборотной водой от предыдущего при отливе каждого последующего образца. Таким образом, получался частично замкнутый цикл. Количество использованной в обороте воды составляло 70 %, 30 % приходилось на свежую воду, поступившую с волокном. Концентрация волокна в массе при отливе составляла 0,3 %, масса 1 м<sup>2</sup> полученного материала без учета массы связующего – 300 г. Для сравнения изготавливали образцы без добавок хлористого бария. Для получения образцов использовали листоотливной аппарат «Нобль Вуд» с замкнутой системой водооборота.

При добавке к массе хлористого бария в количестве, эквивалентном накопившемуся в оборотной воде иону сульфата, наблюдалась потеря проч-

Таблица 1

Накопление сульфат-аниона и катиона алюминия (мг/л) в воде при изготовлении композиционных материалов на основе каолинового волокна (2 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 5 %  $\text{SiO}_2$ )

Цикл отлива	$\text{SO}_4^{-2}$	$\text{Al}^{+3}$
Исходный	560	74
1	545	–
2	777	9
3	893	12
4	968	15
5	978	18
6	995	28
7	1001	28
8	1000	30
9	1000	30

ности образцов, составляющая 75 % от первоначальной. Большое количество высадившегося на волокнах сульфата бария, сыграло роль инертного накопителя, что существенно сказалось на прочности связей волокна с алюмосиликатом. Необходимо было найти такое количество хлористого бария, которое бы заметно снизило уровень накопленного в сточной воде сульфат-аниона и не сказалось на прочности образцов.

Если принять установившееся постоянным количество ионов сульфата, равным 1000 мг/л (табл. 1), то для связывания 1/5 части анионов (0,2 г) необходимо добавить 0,29 г иона бария к волокну (расчет проведен по эквивалентным массам). При связывании половины накопившихся ионов сульфата расход хлористого бария составит 35,5 %. Эксперимент проводили как на неочищенном, так и очищенном от «корольков» каолиновом волокне.

В табл. 2 представлены результаты определения свойств образцов и качества оборотной воды при добавках в массу хлористого бария в количествах, теоретически связывающих 1/5 и 1/2 часть накопленных в оборотной воде ионов сульфата.

Анализ данных табл. 2 показывает, что при использовании хлористого бария наблюдается незначительное ухудшение прочности образцов при увеличении числа оборотов воды в цикле, что происходит, по видимому, в результате повышения количества осажденного на волокне сульфата бария, играющего роль наполнителя. При добавке 14 % хлористого бария наблюдается уменьшение равновесного содержания сульфат-ионов в оборотной воде на 50 % при одновременном снижении прочности образцов на 30 %. Увеличение расхода хлористого бария к волокну до 35,5 % приводит к уменьшению равновесного содержания сульфат-ионов в оборотной воде в 10 раз по сравнению с контрольными образцами. Однако в этом случае отмечено и одновременное снижение прочности образцов почти на 60 %.

Таблица 2

Влияние добавок хлористого бария в волокнистую массу с алюмосиликатным связующим на качество композиционного материала из неочищенного (числитель) и очищенного от «корольков» (знаменатель) каолинового волокна и оборотной воды

Цикл отлива	Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Разрывной груз, Н	Предел прочности, МПа	Содержание SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , мг/л
Образцы без добавок BaCl <sub>2</sub>				
Исходный	300 / 300	–	–	520 / 520
1	320 / 321	10,0 / 13,0	0,322 / 0,412	486 / 500
2	325 / 328	9,6 / 13,6	0,320 / 0,432	670 / 738
3	330 / 330	9,8 / 13,4	0,326 / 0,425	820 / 870
4	330 / 340	10,2 / 14,4	0,340 / 0,457	900 / 935
5	335 / 345	11,2 / 14,0	0,356 / 0,444	1010 / 980
6	335 / 345	11,0 / 14,5	0,349 / 0,439	1014 / 1030
7	340 / 345	11,4 / 14,2	0,362 / 0,439	1112 / 1030
8	340 / –	11,2 / –	0,356 / –	1112 / 1028
Образцы с добавками 14,0 % BaCl <sub>2</sub>				
Исходный	320 / 315	–	–	520 / 520
1	345 / 335	8,1 / 10,8	0,270 / 0,360	325 / 272
2	355 / 345	7,6 / 12,0	0,241 / 0,380	526 / 403
3	360 / 360	7,8 / 11,8	0,248 / 0,393	598 / 506
4	370 / 365	7,2 / 10,2	0,229 / 0,340	598 / 579
5	375 / 365	6,8 / 10,0	0,216 / 0,317	614 / 614
6	380 / 365	7,2 / 10,2	0,229 / 0,323	608 / 620
7	380 / 365	7,4 / 10,0	0,234 / 0,317	620 / 622
Образцы с добавками 35,5 % BaCl <sub>2</sub>				
Исходный	325 / 325	–	–	520 / –
1	355 / 360	5,4 / 7,2	0,171 / 0,240	48 / 50
2	365 / 370	4,6 / 7,4	0,146 / 0,247	76 / 85
3	370 / 375	4,8 / 7,2	0,152 / 0,245	98 / 102
4	375 / 375	4,3 / 7,0	0,137 / 0,222	102 / 106
5	380 / 380	4,2 / 6,6	0,133 / 0,200	108 / 102
6	390 / 380	4,4 / 7,0	0,133 / 0,212	102 / 112
7	390 / 385	4,4 / 7,1	0,140 / 0,215	112 / 102
8	390 / 385	4,5 / 6,8	0,142 / 0,206	– / 106

Примечание. Толщина образцов 2,0 ... 2,2 мм.

Характер изменения исследуемых показателей в целом сохраняется и в образцах из очищенного волокна. Отличия состоят в том, что уровень прочности показателей образцов из очищенного волокна выше, так как отсутствуют «корольки», нарушающие однородность структуры образцов и являющиеся в какой-то мере абразивными частицами. На неочищенном волокне наблюдается больший прирост массы образцов с увеличением цикла отлива, что объясняется, по-видимому, большим удержанием сульфата бария на «корольках».

Снижение прочности образцов из очищенного волокна при добавке 14,0 % BaCl<sub>2</sub> составляет 29,0 %; при добавке 35,5 % – уже 52,0 %. Одновременно минерализация воды сульфат-ионами соответственно снижается на 40 и 90 %.

Таким образом, включая в оборот 70 % воды, используемой в производстве композиционного материала с алюмосиликатной связкой, и добавки  $BaCl_2$  в композиции, можно достичь значительного снижения загрязнения сточных вод сульфат-ионами, однако несколько потерять в прочности материала.

В соответствии с этим перед нами была поставлена задача изучить возможности устранения или снижения вредного влияния хлористого бария на прочность получаемого композиционного материала. В ходе эксперимента необходимо было определить влияние порядка ввода химикатов в волокно и кислотности массы при отливе на прочность материала и степень минерализации оборотной воды. Использовали неочищенное от «корольков» каолиновое волокно и связующее следующего состава: 5 %  $Al_2O_3$ , 10 %  $SiO_2$ , 14 %  $BaCl_2$  (11,5 %  $BaO$ ).

В табл. 3 даны характеристики образцов и оборотной воды двух вариантов отлива: I вариант – хлористый барий вводили в композиционную массу непосредственно (за 1 мин) перед отливом; II – порядок ввода химикатов был следующим: сульфат алюминия, хлористый барий, жидкое стекло. Полученную массу перемешивали в течение 10 мин, после чего проводили отлив. Таким образом, имелось время для взаимодействия бария с алюмосиликатом. Перед отливом композиционную массу на каждую отливку разбавляли оборотной водой от предыдущей отливки (за исключением первой, которую разбавляли свежей водой). Для сравнения приведены данные для образцов с алюмосиликатной связкой без добавок хлористого бария.

Анализ данных табл. 3 показал, что при одинаковом характере накопления ионов сульфата в I и II вариантах, вариант II предпочтительнее в связи с более высокой прочностью образцов. По-видимому, когда хлористый барий добавляют в композицию за 1 мин до отлива, образующийся при взаимодействии ионов сульфата и бария осадок в какой-то

Таблица 3

**Влияние порядка ввода химикатов в каолиновое волокно на качество композиционного материала и оборотной воды**

Цикл отлива	Разрывной груз, Н, при отливе			Содержание $SO_4^{2-}$ , мг/л, в воде после отлива		
	без $BaCl_2$	с $BaCl_2$		без $BaCl_2$	с $BaCl_2$	
		I	II		I	II
Исходный	–	–	–	520	420	420
1	10,0	8,1	9,2	486	320	256
2	9,6	7,6	8,9	670	526	475
3	9,8	7,8	8,9	820	538	537
4	10,2	7,2	8,6	900	598	582
5	11,2	6,8	9,1	1010	614	614

Таблица 4

**Накопление минеральных компонентов в воде при изготовлении  
композиционных материалов на основе каолинового волокна  
(7 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5 % BaO, 6 % SiO<sub>2</sub>)**

Цикл отлива	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	SiO <sub>2</sub>
Исходный	590	180,0
1	544	0,6
2	979	1,2
3	1200	2,4
4	1305	3,0
5	1382	4,8
6	1396	5,0

степени играет роль инертного наполнителя, снижая тем самым показатели прочности. Во втором случае хлористый барий, связывая сульфат-ион, одновременно реагирует с алюмосиликатной связкой, лишь в небольшой степени снижая ее упрочняющее действие.

Эксперименты проводили при той кислотности среды, которая создавалась при введении используемых добавок (рН 4,0 ... 4,2). В ходе проведения планированного эксперимента при варьировании рН и расходов Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, BaCl<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> установлено оптимальное значение рН 8,0 ... 8,5. Применение связующего при этом рН дало хорошее сочетание показателей объемной массы и прочности композита. Химикаты вводили по II варианту, рН устанавливали с помощью раствора гидроксида натрия.

В табл. 4 приведены данные о содержании ионов сульфата и кремния в воде после последовательно изготовленных отливок с использованием оборотной воды. Концентрация массы при отливе составляла 0,3 %, при увеличении разбавления абсолютные значения содержания минеральных веществ могут быть снижены.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что соединения кремния удерживаются практически полностью – в оборотной воде после шестого цикла отлива находится лишь 2,8 % от вводимого в массу диоксида кремния, что составляет 5 мг/л, тогда как Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений (Министерство здравоохранения, 1988 г.) устанавливают ПДК до 30 мг/л.

При сравнении данных табл. 3 и 4 установлено, что при использовании связки состава 5,0 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 11,5 % BaO и 10,0 % SiO<sub>2</sub> накопление сульфат-ионов в воде превышает задаваемое количество в 1,5 раза, тогда как связка 7 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5 % BaO и 8 % SiO<sub>2</sub> накапливает в воде в 2 раза больше сульфатов, что превышает задаваемое количество в 2,3 раза. Таким образом, в целях снижения минерализации воды целесообразно увеличивать расход сульфата алюминия свыше 5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и снижать расход BaCl<sub>2</sub>.

Таблица 5

**Влияние рециркуляции воды на качество композиционного материала  
и оборотной воды при использовании базальтового волокна  
и алюмобариевосиликатной связки**

Цикл отлива	Масса отливки, г	Разрывной груз, Н	Предел прочности, МПа	Содержание $SO_4^{-2}$ , мг/л
Исходный*	–	–	–	60
1	0,38	0,51	1,206	33
2	0,47	0,77	1,492	58
3	0,42	0,65	1,398	62
4	0,46	0,70	1,406	84
5	0,42	0,58	1,172	97
6	0,51	0,84	1,578	108
7	0,46	0,75	1,587	108

\* Задается по расчету.

20 % ВаО, 40 % SiO<sub>2</sub>. Химикаты вводились в указанной последовательности, концентрация массы при отливе составляла 0,01 %. Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Данные табл. 5 свидетельствуют о том, что использование оборотной воды благоприятно сказывается на прочности образцов из базальтового волокна. Использование хлористого бария в составе связующего снижает в 2 раза содержание ионов сульфата в отходящей воде после первой отливки (по сравнению с вводимым количеством). Накопление сульфатов в оборотной воде при использовании указанной технологии составляет 180 % к задаваемому.

В табл. 6 представлены данные по накоплению сульфат-ионов в оборотной воде при изготовлении фильтровальных материалов из стеклянных волокон с диаметром пор 0,25 мк, а также по прочности образцов. Исследовали 3 режима отлива: 1-й – 5 % Al<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, 2-й – 10 % Al<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, 3-й – 5 % Al<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> + 6 % Na<sub>2</sub> SiO<sub>3</sub> к волокну. Расходы даны в единицах соответствующих оксидов. Отлив проводили на аппарате ЛОА-2, концентрация волокна при отливе 1,25 %. В обороте использовали 50 % воды, композицию составляли на свежей воде. рН массы при отливе с сульфатом алюминия поддерживали в пределах 7,5 ... 8,0, при отливе со смесью сульфата

Таблица 6

**Влияние добавок химикатов на накопление сульфат-ионов в оборотной воде  
и прочность образцов из стекловолокна**

Цикл отлива	1-й режим		2-й режим		3-й режим	
	Содержание $SO_4^{-2}$ , мг/л	Разрушающее усилие, Н	Содержание $SO_4^{-2}$ , мг/л	Разрушающее усилие, Н	Содержание $SO_4^{-2}$ , мг/л	Разрушающее усилие, Н
1	1870	7,1	3550	9,0	1840	8,2
2	2280	7,0	4720	8,7	2800	7,9
3	2670	5,9	5580	9,5	2780	7,5
4	3140	6,6	6810	8,5	3230	7,9
5	3200	7,2	7200	–	32390	8,8
6	3320	7,0	–	9,5	–	9,0

алюминия и силиката натрия рН снизили до 7,0, так как при более высоких значениях рН обезвоживание было затруднено. Масса 1 м<sup>2</sup> образцов составляла 200 г, толщина колебалась от 1,87 до 1,95 мм.

Результаты испытаний отливок показывают, что при работе со стекловолокном использование 5 % сульфата алюминия приводит к накоплению сульфат-ионов в оборотной воде в количестве, превышающем первоначально заданное в 1,8 раза, что составляет 3320 мг/л. Увеличение расхода сульфата алюминия до 10 % повышает прочность фильтровального материала в среднем на 25 ... 30 %, при этом содержание сульфат-ионов увеличивается более чем в 2 раза.

Используя 3-й режим отлива, можно достичь несколько меньшего эффекта в увеличении прочности (в среднем на 20 ... 22 %), но это достигается без увеличения содержания сульфат-ионов в оборотной воде.

При анализе результатов исследований определились два пути снижения уровня минерализации оборотной воды. Один из них – уменьшение расхода химикатов при одновременном подборе условий отлива композиционных материалов, обеспечивающих оптимальное действие связующего. Факторами, создающими оптимальные условия отлива для данного вида связующего, являются кислотность среды, порядок ввода химикатов, а также продолжительность контакта связующего с минеральным волокном. Другой путь – введение в композиционную массу химиката, который бы связал сульфат-ионы и при этом не ухудшил бы в значительной степени основных требуемых характеристик качества композиционного материала.

Результаты исследования процесса накопления диоксида кремния в оборотной воде показали, что при работе с разными видами минеральных волокон (каолиновое, базальтовое и стекловолокно) соединения кремния удерживаются в композиционном материале практически полностью. Их содержание в оборотной воде при достижении равновесия не превышает 5 ... 10 мг/л, что значительно ниже ПДК (30 мг/л).

#### *Выводы*

1. Добавки хлористого бария в композиционную массу из минеральных волокон с алюмосиликатной связкой позволяют значительно снизить загрязнение оборотной воды сульфат-ионами при некоторой потере прочности образцов.

2. Подбор условий отлива (рН среды, соотношение компонентов связующего и порядок их ввода в композицию) позволяет снизить отрицательное влияние сульфата бария на прочностные свойства композитов.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия  
Поступила 10.12.04

*V.K. Dubovy*

#### **Reduction of Sulphate Mineralization of Recirculated Water when Cooking Paper-like Materials out of Mineral Fibers with Inorganic Binding Agents**

The influence of closing factor of water circulation on the paper properties made of mineral fibers with inorganic binding agents has been studied experimentally as well as possible methods of reducing mineralization of recirculated water without strength deterioration of paper-like composites.



УДК 630\*652

**Н.П. Чупров**

Чупров Николай Прокопьевич родился в 1931 г., окончил в 1954 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией экономики и организации лесного хозяйства СевНИИЛХа, член-корреспондент РАЕН, заслуженный лесовод России. Имеет более 160 печатных работ в области экономики лесного хозяйства и лесной промышленности, лесопользования и лесной таксации.

**К МЕТОДИКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ  
И ДОСТУПНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ ЛЕСА\***

Предложены методика и механизм определения экономической оценки и доступности древесных ресурсов при главном пользовании лесом на рентной основе, рассчитываемой на стадиях «лесовыращивание – лесозаготовки» и «лесовыращивание – лесозаготовки – переработка древесины». Показан порядок расчета экономических показателей, необходимых для экономической оценки древесных ресурсов и их экономической доступности.

*Ключевые слова:* лесные ресурсы, экономическая оценка, рента, доступность.

К лесным ресурсам, как известно, относятся все компоненты, слагающие лесной биогеоценоз и имеющие потенциальное хозяйственное значение. Это разнообразные древесные и недревесные ресурсы леса, средозащитные, рекреационные и другие невещественные полезности леса. Особым ресурсом являются лесные земли как первооснова формирования лесных биогеоценозов.

В современных условиях надо стремиться максимально реализовать все виды лесных ресурсов (в рамках неистощительного пользования) в целях улучшения финансирования лесного хозяйства и пополнения местных и федерального бюджетов. В то же время до сих пор плата за лесные ресурсы обоснована недостаточно, часто занижена или вообще отсутствует. В условиях финансирования лесного хозяйства за счет лесных доходов необходим научно обоснованный метод оценки. В настоящее время наиболее признана экономической наукой рентная оценка природных ресурсов.

Основным ресурсом является древесина, получаемая при главном пользовании лесом. Плата за древесину на корню установлена и взимается с лесозаготовителей. Однако она весьма несовершенна, многократно индексировалась и фактически потеряла свою экономическую основу. Проблема

\* В Порядке постановки.

установления научно обоснованной платы за древесину на корню находится в стадии разработки.

Оценке лесных ресурсов посвящены работы сравнительно небольшого числа экономистов [1–3, 5–8 и др.]. Разработан ряд методических предложений [2, 4, 6]. В соответствии с ними рента, получаемую от использования 1 м<sup>3</sup> древесины на корню ( $R_{л.з}$ ), устанавливаемую на стадии «лесовыращивание – лесозаготовки», рассчитывают по известной формуле [4]:

$$R_{л.з} = \frac{Ц_{л.з}}{1 + \frac{P_{л.з}}{100}} - C_{л.з} - Z_{тр}, \quad (1)$$

где  $Ц_{л.з}$  – средневзвешенная рыночная цена 1 м<sup>3</sup> круглого леса, получаемого на участке (индивидуальная цена), р.;

$C_{л.з}$  – себестоимость заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины в круглом виде на оцениваемом участке, р.;

$Z_{тр}$  – затраты на перевозку древесины к потребителю, р./м<sup>3</sup>;

$P_{л.з}$  – нормативная прибыль, сохраняемая за лесозаготовительным предприятием, %.

Корневая плата за 1 м<sup>3</sup> древесины на корню ( $P$ ), по нашему мнению, должна состоять из двух частей: ренты с 1 м<sup>3</sup> ( $R_{л.з}$ ) и необходимых затрат на воспроизводство лесов, приходящихся на 1 м<sup>3</sup> древесины ( $Z_{л.в}$ ):

$$P = R_{л.з} + Z_{л.в}. \quad (2)$$

Первая часть общей ставки за древесные ресурсы (минимальная ставка), определяемая на рентной основе, при распределении доходов не принадлежит ни лесхозам, ни лесозаготовителям, так как формируется вследствие неравенства природных условий лесозаготовки. Напрямую она не связана с лесовосстановлением и целиком принадлежит государству, которое вправе распределять ее по своему усмотрению (например на муниципальные нужды, в бюджеты России, области и др.). Эта часть платы, в соответствии с действующим законоположением, может устанавливаться по утвержденной «Методике экономической оценки лесов» [2]. Однако в ней нет детального механизма оценки лесных ресурсов. Более подробно он разработан СевНИИЛХом и ВНИИЛМом в «Методических рекомендациях по экономической оценке лесов», рассмотренных и одобренных на НТС Рослесхоза еще в 1996 г., а изданных в 2000 г. [6], и особенно в «Методике экономической оценки лесных ресурсов и лесных земель, доступности древесных ресурсов и формирования платы за ресурсы», разработанной СевНИИЛХом в 2003 г. [4]. В них показан механизм расчетов с дифференциацией по разным видам ресурсов.

Вторая часть ставок платы за древесину на корню в зоне основных лесозаготовок (устанавливаемых субъектами РФ), должна быть такой, чтобы сумма платы по ставкам полностью возмещала затраты на весь цикл лесовыращивания, включая лесовосстановление, охрану лесов и содержание лесной охраны. Если первую часть платы следует устанавливать на рентной основе, то вторую – исходя из потребности затрат на ведение лесного хозяй-

ства области, региона по специально разработанным нормативам и целиком направлять на лесовыращивание. Этот вопрос до сих пор не решен.

Автором предлагается простой механизм расчета второй части ставок платы за древесину на корню для районов основных лесозаготовок по формуле

$$Z_{л.в} = \frac{[(\sum Z_{л.х} + \sum Z_{к} - \sum D_{с.с})K_{н.п}]K_{н.д.с}}{\sum V}, \quad (3)$$

где  $Z_{л.в}$  – требуемые средние затраты на воспроизводство и охрану лесов, приходящиеся на  $1 \text{ м}^3$  заготавливаемой древесины по главному пользованию в области, регионе, р.;

$\sum Z_{л.х}$  – суммарные годовые операционные затраты на ведение лесного хозяйства в области, регионе, тыс. р.;

$\sum Z_{к}$  – капитальные годовые затраты лесного хозяйства на приобретение техники в области, регионе, тыс. р.;

$\sum D_{с.с}$  – планируемая годовая сумма собственных средств лесного хозяйства в области, регионе, тыс. р.,

$\sum V$  – объем заготовки древесины в расчетном году в области, регионе, тыс.  $\text{м}^3$ ;

$K_{н.п}$  – коэффициент, учитывающий нормативную прибыль лесного хозяйства (например 1,15);

$K_{н.д.с}$  – коэффициент, учитывающий налог на добавленную стоимость.

Если на лесовыращивание выделяется дополнительно, кроме собственных средств лесхозов, определенная сумма средств из госбюджета или бюджета субъектов Федерации, размер второй части ставок платы на воспроизводство древесных ресурсов, используемых лесозаготовителями, может быть рассчитан по формуле

$$Z_{л.в} = \frac{[(\sum Z_{л.х} + \sum Z_{к} - \sum D_{с.с} - \sum D_{б})K_{н.п}]K_{н.д.с}}{\sum V}, \quad (4)$$

где  $\sum D_{б}$  – планируемая годовая сумма средств, выделяемая из бюджета на ведение лесного хозяйства области, региона, тыс. р.

Выделение средств из бюджета, на наш взгляд, можно рассматривать как помощь государства лесозаготовителям путем снижения платы за используемые древесные ресурсы на корню.

В малолесных районах, где объем лесозаготовок небольшой, а затраты на ведение лесного хозяйства существенны, значительна средозащитная и рекреационная роль лесов. В этих условиях необходимо выделять больше средств из бюджетов на воспроизводство лесов или вторую часть ставок платы за вырубаемую древесину определять по специальным нормативам, учитывающим затраты на весь цикл лесовыращивания до спелости на вырубаемой площади.

Установленные по области, региону средние ставки второй части платы могут быть дифференцированы по тем же условиям и в той же пропорции, что и устанавливаемые ставки рентной части.

Таблицы общих ставок платы за древесину на корню, дифференцированных по условиям, могут быть составлены следующим образом:

1) по установленным ставкам рассчитывают средневзвешенную по области, региону рентную часть ставки за  $1 \text{ м}^3$ ;

2) по приведенным выше формулам определяют средневзвешенную по области, региону вторую часть ставки платы за  $1 \text{ м}^3$ ;

3) находят процент средневзвешенной второй части ставки от средневзвешенной рентной части ставки;

4) рентные ставки, дифференцированные по условиям (породы, группы крупности древесины, расстояния вывозки, запасы древесины на 1 га и др.), увеличивают на процент разницы средних рентных ставок и части ставок на воспроизводство древесины; в результате составляют таблицы общих средних ставок платы за древесину на корню.

Рентную часть платы за древесину на корню, которая является избыточной частью прибыли лесозаготовительного предприятия, следует изымать из его прибыли. В худших условиях лесозаготовки (плохой и удаленный лесосечный фонд, низкая рентабельность лесозаготовок) этой платы может не быть.

Вторая часть платы, предназначенная для воспроизводства вырубленной древесины, должна быть установлена для всех условий эксплуатации, так как вырубленный древостой в любых условиях требует восстановления и затрат. Эта плата должна входить статьей затрат в себестоимость лесозаготовок. В результате несколько снижаются рентабельность лесозаготовок и рентная часть платы.

Часть платы за древесину на корню, установленная по данным ставкам, соответствующая ее рентной оценке, направляется в федеральный бюджет, вторая должна целиком использоваться на ведение лесного хозяйства области, региона.

Расчеты по экономической рентной оценке древесных и недревесных ресурсов – довольно трудоемкая и сложная работа. Кроме разработанных методик, требуется много исходных, как натуральных, так и стоимостных, показателей и нормативов, которые в практике лесного хозяйства большей частью отсутствуют, и расчеты с «нуля» оказываются нереальными. Необходимо разработать специальные нормативы для экономической оценки лесных ресурсов по крупным регионам страны, учитывающие весь диапазон и специфику лесорастительных и производственно-экономических условий. Для северного региона европейской части РФ они разработаны СевНИИЛХом.

Разработка и использование таких нормативов по регионам страны позволит перейти от установления современной, экономически необоснованной платы за лесные ресурсы к научно обоснованной, базирующейся на рентной оценке.

До сих пор усилия лесозаготовителей были направлены на разработку методики экономической оценки и установления платы за древесину на корню на стадии «лесовыращивание – лесозаготовки», которая взимается

только с лесозаготовителями. Однако это лишь первый этап решения проблемы. Наибольшая часть экономического эффекта от использования древесины реализуется на стадии ее переработки и обработки (целлюлозно-бумажное, фанерное, плитное, лесопильное и другие производства). Заготовка же древесины всегда была и фактически остается низкорентабельным производством в связи с низкими ценами на круглый лес. При плановой экономике нерентабельные предприятия поддерживались государством путем перераспределения прибылей. В современных условиях каждое предприятие существует за счет собственных средств. В связи с низкой рентабельностью лесозаготовок (в 2001 г. в среднем по Архангельской области 9 %) расчетная рента, а значит и рентная часть платы, оказываются низкими, выше которых лесозаготовители не имеют возможности платить. В то же время, если в западных странах плата за древесину на корню достигает 40 % и более от рыночной цены круглого леса, то в Архангельской области в последние годы она составляла 5 ... 7 %.

В связи со сказанным считаем, что целесообразно устанавливать плату за используемые древесные ресурсы не только с лесозаготовительных, но и с целлюлозно-бумажных, лесопильно-деревообрабатывающих и других предприятий, использующих древесное сырье. Для этого необходимо разработать специальную методику и нормативы. При оценке древесины на корню по кругу «лесовыращивание – лесозаготовки – переработка древесины» кроме ренты с лесозаготовителями может взиматься рента с переработчиков древесины. Она может быть рассчитана по формуле

$$R_{\text{пер}} = \left( \frac{\sum C_{\text{пер}}}{1 + \frac{P_{\text{пер}}}{100}} - \sum C_{\text{пер}} \right) : V, \quad (5)$$

где  $R_{\text{пер}}$  – рента, получаемая от переработки 1 м<sup>3</sup> заготовленного и переработанного круглого леса, р./ м<sup>3</sup>;

$\sum C_{\text{пер}}$  – суммарная цена продукции (доход), выработанной из переработанного круглого леса, тыс. р.;

$\sum C_{\text{пер}}$  – суммарные затраты (себестоимость) на выработку продукции из переработанного круглого леса, тыс. р.;

$V$  – объем переработанного круглого леса, тыс. м<sup>3</sup>;

$P_{\text{пер}}$  – нормативная прибыль, установленная для каждого производства, %.

Часть этой ренты может быть направлена на воспроизводство лесных ресурсов и включена в расчет ставок платы за древесину на корню.

На этой же методической основе, с использованием приведенных показателей, устанавливается экономическая доступность древесных ресурсов. На стадии «лесовыращивание – лесозаготовки» она определяется из следующего условия:

$$R_{\text{л.з}} \geq 0. \quad (6)$$

Оценка экономической доступности древесных ресурсов каждого лесного участка (лесотаксационного выдела) выполняется на основе его рентной оценки. Оценку доступности совокупности лесных участков (выделов) целесообразно рассчитывать на основе средневзвешенной рентной оценки, определяемой через запас древесины на этих участках.

Экономическая доступность древесных ресурсов, рассчитываемая по циклу «лесовыращивание – лесозаготовки – переработка древесины», определяется условием, когда общая рента больше или равна нулю:

$$R_{\text{общ}} \geq 0. \quad (7)$$

По данным рентной оценки для изучаемого диапазона условий лесоэксплуатации, рассчитываемой по нормативам, можно составить шкалу, упорядочивающую установление экономической доступности ресурсов древесины по главному пользованию в практике и проектировании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронков П.Т.* Экономическая оценка лесных угодий / П.Т. Воронков. – Новосибирск: Наука, 1976. – 134 с.
2. Методика экономической оценки лесов. – М.: МПР, 2001.
3. *Петров А.П.* Платежи за ресурсы в системе финансирования лесного хозяйства / А.П. Петров // Лесн. хоз-во. – 1996. – № 1. – С. 21–23.
4. *Чупров Н.П.* Методика экономической оценки лесных ресурсов и лесных земель, доступности древесных ресурсов и формирования платы за ресурсы / Н.П. Чупров. – Архангельск: СевНИИЛХ, 2003. – 45 с.
5. *Чупров Н.П.* Экономическая оценка лесов и лесных земель в условиях Севера / Н.П. Чупров, Е.Д. Антуфьева, Н.П. Кузнецова // Лесн. хоз-во. – 1984. – № 6. – С. 26–28.
6. *Чупров Н.П.* Методические рекомендации по экономической оценке лесов / Н.П. Чупров, П.Т. Воронков. – Архангельск: СевНИИЛХ, 2000. – 34 с.
7. *Чупров Н.П.* Экономическая оценка лесных ресурсов и лесных земель в условиях Севера и Северо-Запада России / Н.П. Чупров, М.М. Кудряшов // Лесн. хоз-во. – 2000. – № 3. – С. 25–27.
8. *Чупров Н.П.* Экономическая оценка лесных ресурсов и лесных земель в рыночных условиях / Н.П. Чупров, М.М. Кудряшов, Е.Д. Антуфьева // Лесн. журн. – 1995. – № 4-5. – С. 141–153. – (Изв. высш. учеб. заведений).

СевНИИЛХ

Поступила 20.12.02

*N.P. Chuprov*

#### **On Technique of Economic Evaluation and Accessibility of Forest Wood Resources**

Technique and mechanism of determining economic evaluation and accessibility of wood resources at main felling on rental basis are proposed estimated at stages of “forest growing - forest harvesting” and “forest growing – forest harvesting – woodworking”. Method of calculating economic indices necessary for economic evaluation of wood resources and their economic accessibility is shown.

УДК 658.562.008

**Г.П. Бутко**

Бутко Галина Павловна родилась в 1955 г., окончила в 1977 г. Уральский государственный лесотехнический институт, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и ВЭД предприятия Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 77 печатных научных работ по проблемам оценки ТЭУ производства, инвестиций, конкурентоспособности.



### **КАЧЕСТВО ТОВАРА КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ**

Рассмотрена концепция управления конкурентоспособностью предприятия.

*Ключевые слова:* качество продукции, конкурентоспособность предприятия, сертификация.

На современном этапе среди составляющих конкурентоспособности товара цена уже не доминирует. На лидирующие позиции выходят потребительские свойства (функциональность, дизайн) и уровень сервиса, под которым понимают не только технические, но и социальные аспекты.

Именно то обстоятельство, что современный мировой рынок лесопродукции – это рынок покупателя, побуждает правительства всех промышленно развитых и многих развивающихся стран всячески способствовать наращиванию национального экспорта качественной продукции.

Проблема повышения качества лесопродукции, в том числе экспортных пиломатериалов и фанеры, является одним из важных направлений интенсивного развития. Она охватывает все стороны хозяйственной жизни.

Чтобы добиться успеха в организации внешнеэкономической деятельности, форсировании экспорта, необходимо использовать принципы и методы международного маркетинга, включающие комплексные программы управления качеством экспортной продукции. Существует общепринятое утверждение, что качество – это совокупность потребительских свойств товара, удовлетворяющих конкретную потребность. Или философское определение: качество есть существенная определенность товара, в силу которой он является данным [6]. Эти утверждения необходимо дополнить, выделяя понятия «потребительская стоимость, качество, полезный эффект».

Использование потребительской стоимости продукции деревообработки по группам исследуемых предприятий составляет 30 ... 45 %. Надо уменьшать долю неиспользуемых потребительских свойств любого вида продукции. Однако приближение полезного эффекта товара к потребительской стоимости приводит к раз унификации технологий и других элементов системы по всем стадиям жизненного цикла товаров. Необходимо экономически обосновывать соотношение между потребительской стоимостью и ка-

чеством или полезным эффектом. Например, для продукции глубокой обработки древесины оно должно составлять примерно 0,7, т.е. степень использования потребительной стоимости – не ниже 70 %.

В соответствии с целями эффективности лесных товаров показатели качества могут быть проранжированы так: частные, зависимые (факторы, влияющие на частные показатели качества продукции), обобщающие, интегральные.

Для производства экономически важно не только соответствие выпускаемой продукции современному техническому уровню, но и ее превосходство, прогрессивность по сравнению с лучшими зарубежными образцами, что обеспечивает конкурентоспособность продукции на мировом рынке.

Отдельные авторы предлагают новое видение оптимального уровня качества в увеличении затрат. Смысл состоит в том, что качество и затраты на производство целесообразно рассматривать во взаимосвязи и оценивать по конечному результату – конкурентоспособности продукции [8].

Отношение потребителя к качеству и цене продукции противоположно. Опросы потребителей Германии в 1999 г. подтвердили приоритет качества продукции перед ее ценой – 80 % потребителей на первое место при покупке продукции поставили ее качество, в то время как в 1979 г. это сделали только 20 % потребителей [7]. Таким образом, оценки конкурентоспособности и объемов продаж являются функциями времени.

Поскольку прибыль является составляющей дохода, который зависит от объема продаж, цены продукции, уровня инфляции, то необходимо установить взаимосвязь конкурентоспособности с прибылью через объем продаж.

Качество продукции и цена потребления – важные и главные, но не единственные факторы конкуренции. По нашему мнению, налоги ограничиваются оценкой уровня конкурентоспособности до выхода на рынок; следует относиться к формированию ситуации на рынке активно – повышать имидж, влиять на соотношение между спросом и предложением. Вместе с тем обращаем внимание, что качество продукции остается главным конкурентообразующим фактором.

Вопросы оценки качества рассмотрены в трудах В.В. Окрепилова [5]. Особую значимость представляют нормативы динамичности процессов качества на международном уровне, учет прогресса развития ведущих капиталистических стран. Установлены также преимущества и недостатки оцениваемой продукции по сравнению с аналогами.

Ряд авторов [3, 4] вносят предложения о мерах, которые должны быть приняты для изучения конкурентоспособности и качества продукции как на внутреннем, так и на мировом рынках. Есть даже попытки исследовать потребности потенциальных покупателей продукции с высокими параметрами качества. Отдельные специалисты в области качества [10] предлагают постулат измерения среднего уровня удельных затрат продукции для оценки ее качества. Критерии оценки процесса и качества продукции выдвигаются А.Н. Чубинским [9]. Они формируются на базе требований эф-

фективности производства. Это прочность, производительность процесса, расход сырья. В последнее время предпринимаются попытки расширить границы квалиметрии для оценки качества. Специалисты считают, что квалиметрию можно квалифицировать как научную «дисциплину, изучающую проблематику и методологию оценки качества любых объектов (предметов, процессов)» [3, 5]. Если речь идет об измерении качества объектов, составляющих производительные силы общества (средства труда, предметы труда, технологические процессы и т. п.), а также объектов, выступающих в виде товаров (потребительных стоимостей) или в другой материально-вещественной форме, то такое расширение вполне оправдано. Если же речь идет об измерении качества явлений и процессов, выражающих экономические (производственные) отношения, то с такой постановкой проблемы трудно согласиться.

По нашему мнению, вопросы, связанные с измерениями подобного рода, должны относиться к проблематике экономических наук и, прежде всего, экономической метрологии. Современная концепция управления качеством основана на понимании того факта, что качество – наиболее важный фактор в обеспечении конкурентоспособности любого предприятия и является неотъемлемой частью целого, определяется кругом обязанностей каждого участника проекта, планированием и контролем затрат на обеспечение заданного уровня качества. В основе всей деятельности по обеспечению качества в одних отраслях находится регламентированная система норм и стандартов, в других – система государственных, отраслевых и территориальных стандартов, а также стандартов предприятий и технических условий. В качестве национальных стандартов приняты стандарты Международной организации по стандартизации (ISO). Особое значение имеет внедрение системы качества ISO 9000 или системы всеобщего управления качеством TQM. Эффективность TQM, рассчитанная для предприятий лесопромышленного комплекса, представлена в таблице. В основу методики положен уровень конкурентного статуса (КСП) [1, 2].

Действует государственная система сертификации продукции, осуществляемая под руководством Госстандарта России как национального

#### Эффективность внедрения системы качества

Уровень конкурентного статуса предприятия	Индекс рентабельности	Коэффициент экспорта продукции	Прибыль на одного работающего, тыс. р.	Инвестиции в расчете на один проект, тыс. р.
0,7<КСП<1,0	<u>7,1</u>	<u>1,92</u>	<u>4,2</u>	<u>27,6</u>
	2,7	1,86	1,4	25,0
0,4<КСП<0,7	<u>6,3</u>	<u>1,74</u>	<u>3,2</u>	<u>25,9</u>
	2,7	1,56	1,4	17,0
0<КСП<0,4	<u>5,4</u>	<u>1,56</u>	<u>3,0</u>	<u>22,3</u>
	2,7	1,45	1,4	17,0

Примечание. В числителе – стандарты ISO 9000, в знаменателе – средние показатели в отрасли.

органа по сертификации. При этом продукция сертифицируется на соответствие отечественным или зарубежным стандартам. Качество поставляемых по контракту пиломатериалов соответствует ГОСТ 26002–83 и удостоверяется сертификатом качества. Независимо от того, кому поручены конкретные мероприятия программы качества, ответственность за его обеспечение всегда возлагается на проект-менеджера.

К поставляемой на экспорт продукции деревообработки постоянно повышаются требования (геометрия доски, чистота обработки, внешний вид пиломатериалов, длина изделия). Значительный разброс параметров предельной ошибки выборки лишь подтверждает, что не вся экспортная лесопродукция имеет конкурентоспособные цены, качество, упаковку.

В основу расчета положены критерии оптимального уровня качества продукции. Им может служить комплексный показатель качества продукции, отражающий соотношение полезного суммарного эффекта от потребления продукции и суммарных затрат на ее создание и потребление.

Наибольшую сложность представляет оценка степени конкурентоспособности, т. е. выявление характера конкурентного преимущества предприятия по сравнению с другими. При такой оценке необходимо сделать выбор базовых объектов и критериев для сравнения, получить информацию о рынке товаров (услуг), выпускаемых предприятием.

По нашему мнению, индексная оценка потенциала конкурентоспособности предприятия может быть дополнена качественной характеристикой. Для этого предлагается исходя из 10-балльной системы ввести три качественные оценки потенциала: «низкий», «средний», «высокий». В научной литературе и практике нет таких качественных оценок конкурентоспособности предприятий, как и балльной градации предлагаемых оценок. Поэтому мы предлагаем применить логический подход: потенциал конкурентоспособности предприятия с оценкой ниже 5 баллов соответствует качественной оценке «низкий», поскольку ни способности предприятия, ни ресурсы не могут обеспечить конкурентоспособность даже наполовину. Оценка до 7,5 баллов может соответствовать качественной оценке «средний», свыше 7,5 баллов – «высокий».

Определение интегрального показателя относительной конкурентоспособности основано на сравнении с параметрами существующего или разрабатываемого аналога. Для оценки соотношения необходимо эти параметры определить количественно. Каждый «жесткий» параметр имеет величину, выраженную в конкретных единицах измерения (марка, сорт и т. д.).

На наш взгляд, показатель реальной конкурентоспособности предприятия должен рассчитываться исходя из реальной конкурентоспособности всех производимых им видов продукции.

Стремление объединять в оценке качества потребительские и стоимостные свойства продукции не согласуется с МС ISO серии 9000. Существуют и объективные трудности, препятствующие повышению уровня конкурентоспособности российской лесопродукции на отечественном рынке, а

именно повышение себестоимости продукции из-за роста цен на энергоносители и транспортных тарифов.

Иностранные фирмы до 25 % прибыли расходуют на маркетинг. В России до недавнего времени этому почти не уделялось внимания. В результате отечественная продукция, превосходящая импортную по многим показателям качества, в частности экологическим, физико-механическим свойствам, цене и долговечности, оказывается неконкурентноспособной.

Особое значение имеют: привлечение отечественных и зарубежных фирм к инвестированию конкретных проектов; совершенствование отечественной системы нормирования качества и стандартизации продукции, ее адаптация к новым условиям хозяйствования, пересмотр и внесение изменений в действующие ГОСТы на продукцию деревообработки; качественная реклама, маркетинговые исследования, организация работы по совершенствованию дизайна, стилистического оформления продукции.

В мировой практике широко применяются технические меры защиты и регулирования рынков экспортных товаров. В их числе установление технических требований, стандартов качества, стандартных процедур измерений и аудита, правил маркировки, упаковки и т. д. В этой связи разрабатывается на более отдаленную перспективу стратегия нетарифного регулирования лесопромышленного экспорта на базе сертификации систем качества по стандартам ГОСТ ISO 9000-9004 на предприятиях лесопромышленного комплекса, экспортирующих лесобумажную продукцию. Устанавливая правила и осуществляя инспекционный контроль за сертифицированными системами качества (производств) и услуг через данную систему, можно сделать экономически невыгодной практику нечестной конкуренции, нарушения правил, нанесения ущерба государственным интересам. Также следует ограничить активность мелких, непрофессиональных экспортеров и основной поток экспортных товаров отдать ограниченному кругу предприятий, в том числе находящихся под постоянным контролем структур системы сертификации. Особо следует отметить, что, базируясь на международно признанной системе стандартов ISO 9000, можно через сертификацию лесопромышленного экспорта отвести обвинения в ограничении свободы торговли, обеспечить порядок внутри страны и в отношении неквалифицированных участников рынка.

В настоящее время разработаны международные экологические директивы в виде серии ISO 14000, которые определяют природоохранную деятельность предприятий в XXI в. Отмечается тенденция перехода от национальных к международным требованиям по обеспечению качества продукции, охране лесных ресурсов (требования Хелком, нормы Северных стран). Мировая практика на основе экономических санкций и законодательных актов стимулирует предприятия к переходу на экологически безопасные технологии. Для лесопромышленного комплекса отсутствие отраслевого или централизованного финансирования приводит к необходимости разработки стандартов общественными организациями, например ГОСТ Р 51150–98 «Продукция, свободная от хлорорганических соедине-

ний». Ошибки в подобных стандартах для производителей целлюлозно-бумажной продукции (ЦБП) наносят значительный ущерб. Качество продукции ЦБП подтверждает необходимость нормирования выбросов в атмосферу, учет которых последние 10 лет незначителен. На отечественных предприятиях этот показатель в 20–25 раз выше, чем на лучших зарубежных. В плане НИР отраслевых институтов России данная тематика отсутствует. В США и Германии разработаны нормы по контролю за газовыми выбросами от ЦБП.

Необходимо создать условия адаптации отечественных производителей лесопроductии к техническим требованиям иностранных покупателей, прежде всего к требованиям стандартов СЕН, ДЖАС. Рассмотрим параметры качества продукции. Среди федеральных законов важное место занимает закон РФ «Об обеспечении единства измерений». Введена единая система учета экспертной оценки товаров. Экспертную оценку проводят российские и иностранные специалисты. Эту деятельность осуществляет ЗАО «Леспромсертифика», аккредитованное в 1995 г. в системе «Промсертифика» в качестве органа по сертификации продукции и систем качества. С 1996 г. в рамках Единой системы экспертной оценки количества и качества экспортируемых товаров проводится оценка экспортируемых лесоматериалов. Область аккредитации ЗАО «Леспромсертифика» включает: круглые лесоматериалы, пиломатериалы, фанеру, паркет, целлюлозу, бумагу, картон, обои, бумажные товары, сертификацию систем качества производства деловой древесины и продукции ЦБП. Особое значение представляет совершенствование геометрического метода определения плотного объема древесины, скорректированного по коэффициенту полндревесности.

Качество экспортных пиломатериалов, даже в пределах действующих стандартов, изменяется в значительных пределах (в партии поставок может быть представлено различное соотношение сортов; различные породы в пределах одного вида; влажность, сечения, уровень обработки).

Отсутствие системы качества при выпуске экспортной продукции предприятие вынуждено компенсировать более низкими ценами. Не следует считать, что система качества внедряется на предприятиях, ориентированных только на выпуск высококачественной продукции. Выбор уровня качества – это вопрос политики и планирования качества на основе анализа товарного рынка и потенциала своего предприятия.

Под качеством пиломатериалов будем понимать возможность получения максимального выхода готовых изделий, имеющих кратную готовым изделиям длину и сечение. Поставляемые материалы должны иметь максимальную готовность к потреблению и сохранять свое качество, что диктует необходимость их антисептирования, сушки и упаковки.

Лесная сертификация находится еще в начальной стадии развития, однако потенциально является настолько мощным фактором, что способна через 2-3 года изменить лесопромышленный комплекс всего мира.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бутко Г.П.* Инновации и их инвестирование / Г.П. Бутко // Эффективность работы предприятий и предпринимателей лесопромышленного комплекса для рынка лесобумажной продукции. Экспертное заключение научной группы. – М.: МГУЛеса, 1995. – Вып. 279. – 173 с.
2. *Бутко Г.П.* Стратегия обеспечения конкурентоспособности предприятий лесного комплекса / Г.П. Бутко. – Екатеринбург: УГЛТА, 1999. – 227 с.
3. *Мишин В.М.* Управление качеством: учеб. пособие для вузов / В.М. Мишин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 303 с.
4. *Моисеева Н.К.* Современное предприятие: конкурентоспособность, маркетинг, обновление / Н.К. Моисеева, Ю.П. Анискин. – Т. 1, 2. – М.: Внешторгиздат, 1993.
5. *Окрепилов В.В.* Управление качеством: учеб. для вузов / В.В. Окрепилов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ОАО Изд-во «Экономика», 1998. – 639 с.
6. *Сакато Сиро.* Практическое руководство по управлению качеством / Сиро Сакато. – М.: Экономика, 1980.
7. *Тащюн М.В.* Лесопромышленный комплекс России в условиях перехода к рыночной экономике / М.В. Тащюн. – М.: Финансы, 1995.
8. *Тихонов Р.М.* Конкурентоспособность промышленной продукции / Р.М. Тихонов. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
9. *Чубинский А.Н.* Моделирование процесса склеивания шпона / А.Н. Чубинский // Деревообраб. пром-сть. – 1994. – № 4. – С. 27–28.
10. *Шаевич А.Б.* Аналитическая служба как система / А.В. Шаевич. – М.: Химия, 1981.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 07.04.02

*G.P. Butko*

### **Goods Quality as Basic Element of Competitiveness Support**

Concept of managing company's competitiveness is considered.

УДК 630\*791

**И.А. Платонов**

Платонов Игорь Александрович родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры экономики отраслей АГТУ. Имеет 3 печатные работы по изучению условий эффективности лизинговых операций в лесной отрасли.



### **УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИЗИНГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРИОБРЕТЕНИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Рассмотрен вопрос об эффективности применения лизинговых операций лесозаготовительными предприятиями. На конкретном примере показано, что основным условием выбора варианта приобретения оборудования является чистая приведенная стоимость проектов, которая в лизинговом проекте должна быть выше, чем в кредитном.

*Ключевые слова:* лизинг, инвестиции, расчеты *NPV*, экономическая эффективность, денежный поток, дисконтирование.

Возрастающая доступность заемных средств создает предпосылки для создания множества методов оценки эффективности их привлечения, а также для анализа эффективности отдельных кредитных операций в сравнении с альтернативными вариантами привлечения инвестиций.

Одним из главных критериев оценки приемлемости инвестиций является ожидаемая прибыль от реализации проекта. При этом, как правило, имеется в виду прибыль, остающаяся в распоряжении предприятия после уплаты налогов и обязательных отчислений в различные фонды, т. е. прибыль, свободная от обязательств перед государством. Этот подход предполагает в качестве конечного результата деятельности предприятия чистую прибыль – сумму денежных средств, которой предприятие может свободно распоряжаться по своему усмотрению.

Другой подход включает, кроме этого, рассмотрение денежных средств, использование которых ограничено действующим законодательством. Таким образом, при оценке эффективности того или иного проекта необходимо опираться на потоки денежных средств предприятия, которые для приведения их к сопоставимому виду дисконтируются на определенную дату. Итоговым показателем служит сумма дисконтированных денежных потоков – чистая приведенная стоимость проекта или *NPV*.

Основное экономическое условие эффективности лизинговых операций – положительное значение чистой приведенной стоимости проекта и превышение ее над чистым приведенным доходом альтернативного кредит-

ного проекта. Сравнивая два проекта, следует учитывать все их положительные и отрицательные стороны. Так, лизинг предусматривает привлечение к процессу купли–продажи дополнительного участника – лизинговой компании, которая имеет в сделке свой интерес (чаще всего процент лизинговой компании). Очень важен также выбор сроков реализации проектов, которые должны быть сопоставимы и экономически обоснованы. В связи с этим оптимальной, на наш взгляд, является оценка проектов по нормативным срокам службы оборудования, позволяющая оценить все доходы от использования предмета лизинга (кредита) на протяжении всего производственного цикла.

Выбор между лизингом и кредитом основывается на практических расчетах. Рассмотрим условное лесозаготовительное предприятие, которое приняло решение о приобретении нового производственного оборудования (трелевочный трактор) стоимостью 1 млн р. Примем срок полезного использования оборудования – 3 года, ежемесячный доход от использования оборудования (товарная продукция минус текущие затраты) – 60 тыс. р. Ставка заемных средств при кредите – 18, при лизинге – 20 %. Коэффициент ускоренной амортизации для лизингового проекта – 3.

Используя известные формулы, рассчитаем денежные потоки каждого из проектов.

1. Расчет *NPV* приобретения оборудования в лизинг:

$$П = \frac{D \cdot d_{кр}}{d_{год}} E_{лк} = \frac{1000000 \cdot 30,5}{366} \cdot 0,2 = 16666,67 \text{ р.}, \quad (1)$$

где *П* – проценты, уплачиваемые лизинговой компанией по договору (в данном случае ежемесячно), р.;

*Д* – сумма текущего остатка долга лизингополучателя перед лизинговой компанией, р.;

*d<sub>кр</sub>* – число дней между датами ежемесячных лизинговых платежей;

*d<sub>год</sub>* – число дней в году;

*E<sub>лк</sub>* – процент лизингового проекта.

$$A_{мес} = \frac{ПС}{C_{норм}} K_y = \frac{1000000}{36} \cdot 3 = 83333,33 \text{ р.}, \quad (2)$$

где *A<sub>мес</sub>* – амортизационные отчисления с объекта лизинга в месяц, р.;

*ПС* – первоначальная стоимость объекта лизинга, р.;

*C<sub>норм</sub>* – нормативный срок службы оборудования, мес;

*K<sub>y</sub>* – коэффициент ускорения амортизации, характерный для объектов лизинговых проектов.

$$НП = C_{н.п} (D_{тек} - A_{мес} - П) = 0,24(60\ 000 - 83\ 333,33 - 16\ 666,67) = -9600 \text{ р.}, \quad (3)$$

где *НП* – налог на прибыль, возникающий у предприятия при реализации лизингового проекта, р.;

$C_{н.п}$  – ставка налога на прибыль, %;

$D_{тек}$  – текущий доход в месяц от эксплуатации оборудования, р.;

$$ДП = (D_{тек} - НП - П - H_{и}) = (60\,000 + 9600 - 16\,666,67 - 0) = 52\,933,33 \text{ р.}, \quad (4)$$

где  $ДП$  – денежный поток предприятия в месяц, р.;

$H_{и}$  – налог на имущество организации, возникающий в связи с приобретением оборудования, р.

Налог на имущество уплачивает только тот лизингополучатель, который учитывает объект лизинга на своем балансе. В ином случае объект лизинга учитывается на балансе лизинговой компании, которая является плательщиком налога на имущество. Однако это не означает, что лизингополучателю выгодно учитывать оборудование на балансе лизинговой компании, так как в данном случае налог на имущество будет включен в лизинговый платеж.

$$ДП_{диск} = \frac{ДП}{(1 + E_a)^{n-1}}, \quad (5)$$

где  $ДП_{диск}$  – дисконтированный денежный поток, р.;

$E_a$  – норматив дисконтирования, отражающий доходность альтернативного варианта вложения денежных средств (в нашем случае данный норматив рассчитан исходя из годовой доходности 20 %);

$n$  – номер месяца лизингового проекта.

$$NPV = -ПС + \sum_1^n ДП_{диск}. \quad (6)$$

## 2. Расчет $NPV$ приобретения оборудования в кредит.

Стоимость кредитного проекта также рассчитывают по формулам (1)–(6), но формулы (1) и (2) примут вид соответственно (7) и (8):

$$П = \frac{D \partial_{кр}}{\partial_{год}} E_{лк} = \frac{1\,000\,000 \cdot 30,5}{366} \cdot 0,18 = 15\,000 \text{ р.}, \quad (7)$$

где  $П$  – проценты, которые уплачиваются банку (инвестору) по кредитному договору (в данном случае ежемесячно), р.;

$D$  – сумма текущего остатка долга перед банком, р.;

$\partial_{кр}$  – число дней между датами ежемесячных платежей по кредитному договору;

$E_{лк}$  – процент кредитного проекта.

$$A_{мес} = \frac{ПС}{C_{норм}} = \frac{1\,000\,000}{36} = 27\,777,78 \text{ р.}, \quad (8)$$

где  $A_{мес}$  – амортизационные отчисления с оборудования в месяц, р.;

$ПС$  – первоначальная стоимость оборудования, р.

В расчетах приняты усредненные показатели по продолжительности календарного месяца – 30,5 дн. (366/12).

Расчеты результатов двух проектов приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из расчетов, *NPV* лизингового проекта на 58 тыс. р. выше *NPV* кредитного проекта, что говорит о несомненной эффективности первого. Однако анализ расчетов показывает следующее.

В табл. 1 налог на прибыль в первый год реализации лизингового проекта имеет отрицательное значение, т.е. будет уменьшаться налог на прибыль самого предприятия, увеличивая денежный поток проекта. Но не каждое предприятие имеет прибыль. В 2002 г. 81 % лесозаготовительных предприятий нашей области были убыточными. В такой ситуации им невыгодно применять процесс ускоренной амортизации, а значит, теряет смысл одно из основных экономических преимуществ лизинга – экономия по уплате налога на прибыль за счет ускоренной амортизации.

Таким образом, если мы произведем перерасчет (табл. 3) и вместо отрицательных показателей налога на прибыль поставим нули, то *NPV* лизингового проекта снизится до 285 тыс. р. В этом случае потенциальный покупатель выбирает кредит как более приемлемую форму приобретения лесозаготовительного оборудования.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что отказ лесозаготовительных предприятий от лизинговых форм приобретения оборудования отражает текущую экономическую ситуацию в лесной отрасли. Она характеризуется низкой рентабельностью этих предприятий, которые в большинстве случаев зависимы от перерабатывающих комбинатов, диктующих условия работы (прежде всего цену на круглые лесоматериалы). В связи с этим именно цена на лесопroduкцию сдерживает развитие лесозаготовительных предприятий.

Но и в такой ситуации лизинг предлагает самый действенный способ увеличения независимости лесозаготовительных предприятий – это приобретение лесозаготовительной техники для вновь открывающегося предприятия, которое уже не будет иметь в управлении представителей крупных комбинатов. Это предприятие сможет самостоятельно выбирать покупателя своей продукции на более выгодных условиях. Такая форма лизинга возможна благодаря тому, что именно само лесозаготовительное оборудование может обеспечить платежеспособность нового предприятия. Реализация данного бизнес-проекта потребует гораздо больших организационных усилий, наградой которым станет ценовая независимость предприятия.

В любом случае необходим точный расчет всех затрат, связанных с деятельностью предприятия для выявления эффективности использования именно лизинговых операций. В частности, при открытии возникают дополнительные затраты, обусловленные организационными издержками на ведение бизнеса.

Таблица 1

## Расчет NPV проекта приобретения оборудования по лизингу, р.

№ месяца	Долг лизингополучателя	Проценты	Амортизация	Доход	Налог на прибыль	Стоимость имущества		Налог на имущество	Денежный поток		NPV
						балансовая	средняя		реальный	дисконтированный	
1	1 000 000,00	16 666,67	83 333,33	60 000	-9 600,00	916 666,67	-	-	52 933	52 933,33	-947 066,67
2	947 066,67	15 784,44	83 333,33	60 000	-9 388,27	833 333,33	-	-	53 604	52 868,92	-894 197,75
3	893 462,84	14 891,05	83 333,33	60 000	-9 173,85	750 000,00	-	-	54 283	52 804,59	- 841 393,16
4	839 180,04	13 986,33	83 333,33	60 000	-8 956,72	666 666,67	875 000	4 812,5	50 158	48 123,07	-793 270,09
5	789 022,15	13 150,37	83 333,33	60 000	-8 756,09	583 333,33	-	-	55 606	52 618,47	-740 651,63
6	733 416,43	12 223,61	83 333,33	60 000	-8 533,67	500 000,00	-	-	56 310	52 554,44	-688 097,19
7	677 106,38	11 285,11	83 333,33	60 000	-8 308,43	416 666,67	750 000	3 437,5	53 586	49 326,24	-638 770,95
8	623 520,56	10 392,01	83 333,33	60 000	-8 094,08	333 333,33	-	-	57 702	52 387,08	-586 383,87
9	565 818,48	9 430,31	83 333,33	60 000	-7 863,27	250 000,00	-	-	58 433	52 323,33	-534 060,53
10	507 385,52	8 456,43	83 333,33	60 000	-7 629,54	166 666,67	625 000	2 062,5	57 111	50 438,13	-483 622,40
11	450 274,90	7 504,58	83 333,33	60 000	-7 401,10	83 333,33	-	-	59 897	52 173,31	-431 449,09
12	390 378,38	6 506,31	83 333,33	60 000	-7 161,51	0	-	-	60 655	52 109,83	-379 339,26
13	329 723,18	5 495,39	-	60 000	13 081,11	0	500 000	687,5	40 736	34 517,13	-344 822,13
14	288 987,17	4 816,45	-	60 000	13 244,05	0	-	-	41 939	35 049,68	- 309 772,45
15	247 047,67	4 117,46	-	60 000	13 411,81	0	-	-	42 471	35 007,03	-274 765,41
16	204 576,94	3 409,62	-	60 000	13 581,69	0	0	0	43 009	34 964,43	-239 800,98
17	161 568,25	2 692,80	-	60 000	13 753,73	0	-	-	43 553	34 921,89	-204 879,09
18	118 014,78	1 966,91	-	60 000	13 927,94	0	-	-	44 105	34 879,39	-169 999,70
19	73 909,64	1 231,83	-	60 000	14 104,36	0	0	0	44 664	34 836,95	-135 162,75
20	29 245,83	487,43	-	60 000	14 283,02	0	-	-	45 230	34 794,56	-100 368,19
21	-	-	-	60 000	14 400,00	0	-	-	45 600	34 598,60	-65 769,59
22	-	-	-	60 000	14 400,00	0	0	0	45 600	34 124,26	-31 645,33
23	-	-	-	60 000	14 400,00	0	-	-	45 600	33 656,42	2 011,09
24	-	-	-	60 000	14 400,00	0	-	-	45 600	33 194,99	35 206,08
						...					
						...					
34	-	-	-	60 000	14 400,00	0	0	0	45 600	28 914,75	343 127,37
35	-	-	-	60 000	14 400,00	0	-	-	45 600	28 518,33	371 645,70
36	-	-	-	60 000	14 400,00	0	-	-	45 600	28 127,35	399 773,05
Итого	-	164 495	-	-	238 921	-	-	11 000	1 745 584	1 399 773	-

Таблица 2

## Расчет NPV проекта приобретения оборудования в кредит, р.

№ месяца	Долг кредитора	Проценты	Амортизация	Доход	Налог на прибыль	Стоимость имущества		Налог на имущество	Денежный поток		NPV
						балансовая	средняя		реальный	дисконтированный	
1	1 000 000,00	15 000,00	27 777,78	60 000	4 133,33	972 222,22	-	-	40 867	40 867	- 959 133
2	959 133,33	14 387,00	27 777,78	60 000	4 280,45	944 444,44	-	-	41 333	40 766	-918 367
3	917 800,79	13 767,01	27 777,78	60 000	4 429,25	916 666,67	-	-	41 804	40 665	-877 702
4	875 997,05	13 139,96	27 777,78	60 000	4 579,74	888 888,89	958 333,33	5 270,83	37 009	35 508	-842 194
5	838 987,58	12 584,81	27 777,78	60 000	4 712,98	861 111,11	-	-	42 702	40 408	-801 786
6	796 285,37	11 944,28	27 777,78	60 000	4 866,71	833 333,33	-	-	43 189	40 309	-761 477
7	753 096,36	11 296,45	27 777,78	60 000	5 022,19	805 555,56	916 666,67	4 812,50	38 869	35 779	-725 698
8	714 227,49	10 713,41	27 777,78	60 000	5 162,11	777 777,78	-	-	44 124	40 060	-685 638
9	670 103,02	10 051,55	27 777,78	60 000	5 320,96	750 000,00	-	-	44 627	39 961	-645 677
10	625 475,53	9 382,13	27 777,78	60 000	5 481,62	722 222,22	875 000,00	4 354,17	40 782	36 017	-609 659
11	584 693,45	8 770,40	27 777,78	60 000	5 628,44	694 444,44	-	-	45 601	39 721	-569 938
12	539 092,29	8 086,38	27 777,78	60 000	5 792,60	666 666,67	-	-	46 121	39 623	-530 315
13	492 971,27	7 394,57	27 777,78	60 000	5 958,64	638 888,89	833 333,33	3 895,83	42 751	36 224	-494 090
14	450 220,31	6 753,30	27 777,78	60 000	6 112,54	611 111,11	-	-	47 134	39 391	-454 699
15	403 086,16	6 046,29	27 777,78	60 000	6 282,22	583 333,33	-	-	47 671	39 294	- 415 406
16	355 414,67	5 331,22	27 777,78	60 000	6 453,84	555 555,56	597 222,22	3 284,72	44 930	36 527	-378 879
17	310 484,45	4 657,27	27 777,78	60 000	6 615,59	527 777,78	-	-	48 727	39 070	-339 809
18	261 757,31	3 926,36	27 777,78	60 000	6 791,01	500 000,00	-	-	49 283	38 974	-300 835
19	212 474,68	3 187,12	27 777,78	60 000	6 968,42	472 222,22	555 555,56	2 826,39	47 018	36 673	-264 162
20	165 456,61	2 481,85	27 777,78	60 000	7 137,69	444 444,44	-	-	50 380	38 757	-225 405
21	115 076,15	1 726,14	27 777,78	60 000	7 319,06	416 666,67	-	-	50 955	38 662	-186 743
22	64 121,35	961,82	27 777,78	60 000	7 502,50	388 888,89	513 888,89	2 368,06	49 168	36 794	-149 949
23	14 953,72	224,31	27 777,78	60 000	7 679,50	361 111,11	-	-	52 096	38 451	-111 498
24	-	-	27 777,78	60 000	7 733,33	333 333,33	-	-	52 267	38 048	-73 450
						...					
						...					
34	-	-	27 777,78	60 000	7 733,33	55 555,56	180 555,56	534,72	51 732	32 803	276 123
35	-	-	27 777,78	60 000	7 733,33	27 777,78	-	-	52 267	32 688	308 810
36	-	-	27 777,78	60 000	7 733,33	0,00	-	-	52 267	32 240	341 050
Итого	-	181 814	1 000 000	-	234 764,73	-	-	31 701,39	1 711 720	1 341 050	-

Таблица 3

## Перерасчет NPV проекта приобретения лесозаготовительного оборудования по лизингу, р.

№ месяца	Долг лизингополучателя	Проценты	Аморти- зация	Доход	Налог на прибыль	Стоимость имущества		Налог на имущество	Денежный поток		NPV
						балансовая	средняя		реальный	дисконтированный	
1	1 000 000,00	16 666,67	83 333,33	60 000	-	1 000 000,00	-	-	43 333	43 333	-956 667
2	956 666,67	15 944,44	83 333,33	60 000	-	916 666,67	-	-	44 056	43 452	-913 215
3	912 611,11	15 210,19	83 333,33	60 000	-	833 333,33	-	-	44 790	43 570	-869 645
4	867 821,30	14 463,69	83 333,33	60 000	-	750 000,00	-	-	44 790	43 570	-869 645
5	827 097,48	13 784,96	83 333,33	60 000	-	666 666,67	875 000	4 812,5	40 724	39 072	-830 573
6	780 882,44	13 014,71	83 333,33	60 000	-	583 333,33	-	-	46 215	43 732	-786 841
7	733 897,15	12 231,62	83 333,33	60 000	-	500 000,00	-	-	46 985	43 852	-742 989
8	689 566,27	11 492,77	83 333,33	60 000	-	416 666,67	750 000	3 437,5	44 331	40 807	-702 182
9	641 059,04	10 684,32	83 333,33	60 000	-	333 333,33	-	-	48 507	44 039	-658 143
10	591 743,36	9 862,39	83 333,33	60 000	-	250 000,00	-	-	49 316	44 159	-613 984
11	543 668,25	9 061,14	83 333,33	60 000	-	166 666,67	625 000	2 062,5	48 075	42 458	-571 526
12	492 729,38	8 212,16	83 333,33	60 000	-	83 333,33	-	-	50 939	44 371	-527 155
13	440 941,54	7 349,03	-	60 000	12 636,23	0	-	-	51 788	44 492	-482 663
14	401 614,30	6 693,57	-	60 000	12 793,54	0	500 000	687,5	39 327	33 323	-449 340
15	361 101,41	6 018,36	-	60 000	12 955,59	0	-	-	40 513	33 857	-415 482
16	320 075,37	5 334,59	-	60 000	13 119,70	0	0	0	41 026	33 816	-381 666
17	278 529,65	4 642,16	-	60 000	13 285,88	0	0	0	41 546	33 775	-347 891
18	236 457,70	3 940,96	-	60 000	13 454,17	0	-	-	42 072	33 734	-314 157
19	193 852,83	3 230,88	-	60 000	13 624,59	0	-	-	42 605	33 693	-280 464
20	150 708,30	2 511,80	-	60 000	13 797,17	0	0	0	43 145	33 652	-246 812
21	107 017,27	1 783,62	-	60 000	13 971,93	0	-	-	43 691	33 611	-213 201
22	62 772,82	1 046,21	-	60 000	14 148,91	0	-	-	44 244	33 570	-179 631
23	17 967,94	299,47	-	60 000	14 328,13	0	0	0	44 805	33 529	-146 102
						0	-	-	45 372	33 488	-112 613

24	-	-	-	60 000	14 400,00	0	-	-	45 600	33 195	-79 418
						...					
34	-	-	-	60 000	14 400,00	0	0	0	45 600	28 915	228 503
35	-	-	-	60 000	14 400,00	0	-	-	45 600	28 518	257 021
36	-	-	-	60 000	14 400,00	0	-	-	45 600	28 127	285 149
Итого	-	193 480	-	-	335 316	-	-	11 000	1 620 204	1 285 149	-

В целом же лесозаготовительная отрасль является одной из самых перспективных для развития именно лизинговой формы приобретения основных средств в связи с ее характерными особенностями:

– большим по сравнению с другими подотраслями износом основных фондов, что требует их обновления. Предприятия выбирают наиболее эффективный способ приобретения основных фондов, причем около 20 % их могут эффективно применять лизинговые формы;

– возрастающим дефицитом лесоматериалов в рамках задачи Президента об удвоении валового внутреннего продукта в кратчайшие для страны сроки. Это в первую очередь отразится именно на лесозаготовительной отрасли, производственные мощности которой не только ограничены, но и ежегодно снижаются. Резкий рост объемов производства возможен лишь за счет применения крупномасштабных инвестиционных проектов. Одним из вариантов является лизинговый проект, не требующий дополнительного обеспечения инвестиций (залога), так как само лизинговое оборудование является залогом.

Для реализации лизинговой формы необходимы условия, при которых она выгодна как лесозаготовительному предприятию, так и лизинговой компании.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 01.06.04

*I.A. Platonov*

### **Use Efficiency Environment of Leasing Operations when Purchasing Forest-harvesting Equipment**

Question on use efficiency of leasing operations by forest-harvesting enterprises is dealt with. It is shown based on the concrete example that the main condition of selecting the variant of purchasing equipment is the net given value of projects that should be higher in the leasing project than in the credit one.



УДК 338.43

***М.А. Меньшикова***

Меньшикова Маргарита Аркадьевна родилась в 1951 г., окончила в 1973 г. Московский лесотехнический институт, профессор кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита Московского государственного университета леса. Имеет 63 печатные работы в области экономики, организации производства, бухгалтерского учета и аудита на предприятиях лесного сектора.



### **ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА НА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Изложены современные проблемы предприятий лесной отрасли по организации управленческого аудита. Разработаны предложения по аудиту сегментарной отчетности, операций с основными средствами, материальными расходами и оплатой труда.

*Ключевые слова:* аудит, соответствия, достоверность, документальность, объективность.

Бухгалтерский учет перестал быть только средством обработки и группировки экономической информации, он превратился в участника и исполнителя управленческой политики предприятия. Этому способствует внутренний аудит, который позволяет оперативно получать необходимые аналитические данные. Управленческий аудит, осуществляемый службами внутреннего аудита, выявляет эффективность хозяйственных операций, рассматривает способы снижения затрат и повышения доходности лесопромышленного производства.

В соответствии с учредительными документами предприятия контрольные функции могут выполняться отделом или службой внутреннего аудита, контроля, инвентаризационным бюро и т. д.

Организация, роль и функции внутреннего аудита определяются руководством или собственниками предприятия и зависят от содержания и специфики деятельности предприятия; объемов финансово-экономической информации; сложившейся системы управления; состояния внутреннего контроля.

Служба внутреннего аудита лесопромышленного предприятия должна иметь положение о соответствующем структурном подразделении, где необходимо привести полное наименование отдела (сектора, бюро), его структуру, задачи и функции; права, ответственность, взаимоотношения с другими подразделениями. Необходимо иметь должностные инструкции на каждого работника (специалист, аудитор) службы (отдела) внутреннего аудита.

Для большинства экономических субъектов, в том числе и в лесном секторе, главным фактором, влияющим на размер финансового результата, является себестоимость производства. Именно этому разделу уделяется повышенное внимание при проведении внутреннего аудита предприятия.

В работе внутренних аудиторов рекомендуется использовать следующие формы: перечни типовых вопросов, специально разработанные тестовые процедуры; специальные бланки и проверочные листы; блок-схемы и графики; протоколы или акты. Получение специалистами аудиторских доказательств обеспечивается благодаря аудиторским процедурам: арифметическая проверка правильности бухгалтерских записей; проведение сверок расчетов; проверка правильности осуществления документооборота и наличия разрешительных записей руководящего персонала; проведение в соответствии с установленным порядком инвентаризаций кассовой наличности, ценных бумаг, товарно-материальных ценностей; ограничение доступа несанкционированных лиц к активам предприятия, к системе ведения документации и записей по счетам бухгалтерского учета.

Методика организации внутреннего аудита для лесопромышленных предприятий может быть представлена следующим образом.

1. Разработка программы внутреннего аудита.
2. Ознакомление с изменениями, вносимыми в отчетный период в учредительные документы организации.
3. Проверка систем бухгалтерского, налогового учета и внутреннего контроля, разработка рекомендаций по их совершенствованию.
4. Проверка тождественности данных аналитического и синтетического учета показателей бухгалтерской отчетности.
5. Проверка первичных документов, учетных регистров по финансово-хозяйственной деятельности предприятия.
6. Проверка наличия, состояния и сохранности имущества, закрепленного за материально-ответственными лицами.
7. Проверка деятельности различных звеньев управления (структурных подразделений).
8. Проверка правильности расчетов и своевременности уплаты налогов.
9. Подготовка предприятия к внешнему аудиту и налоговому контролю.
10. Документирование и оформление результатов внутреннего аудита.

Специалист службы внутреннего аудита (далее – аудитор) до начала документальной проверки осуществляет совместно с работниками подразделения выборочные инвентаризации товарно-материальных ценностей, закрепленных за данным подразделением, а также готовой продукции.

Исходной базой для осуществления внутреннего аудита является внутренняя отчетность. Аудитор должен познакомиться с системой организации управленческого учета, имеющейся сегментарной отчетностью. Последняя формируется по отдельным сегментам бизнеса предприятия, центрам ответственности.

Различают четыре типа центров ответственности: затрат, доходов, прибыли, инвестиций. Аудитор может высказать свое мнение по поводу выделенных центров ответственности на данном предприятии. Аудитор обязан

обратить внимание на качество составления сегментарной отчетности. Она должна быть конкретной, адресной, оперативной; не следует слишком часто менять форматы сегментарных отчетов, перегружать отчетность расчетами и т. д.

Следует проконтролировать периодичность внутренней отчетности. Такая отчетность позволяет контролировать деятельность центров ответственности, объективно оценивать качество работы возглавляющих их менеджеров. Четко отлаженный контроль поможет и руководителю центра ответственности принимать обоснованные промежуточные решения.

Аудитор обращает внимание на формы отчетности разных подразделений, зависящие от того, к какому виду центров ответственности эти подразделения относятся. На основе такой отчетности осуществляется управление «по исключениям и отклонениям».

На лесопромышленных предприятиях в состав отчетности центров затрат рекомендуется включать следующие показатели:

по бригадам: основные и вспомогательные материалы; прямые трудовые затраты; затраты энергии на технологические цели; амортизация по основным средствам, закрепленным за данным структурным подразделением, и пр.;

по цехам: расходы по бригадам; общецеховые расходы (заработная плата мастера, амортизация оборудования цеха, расходы на освещение, уборку помещений цеха);

по предприятию: расходы по цехам; общехозяйственные расходы (амортизация здания заводоуправления, заработная плата администрации, расходы на отопление и освещение).

Аудитор должен оценить правильность реализации одного из принципов системы управленческого учета и контроля: разделение затрат на контролируемые и неконтролируемые и включение во внутреннюю отчетность лишь контролируемых затрат.

В основе составления отчетов по центрам прибыли также может лежать принцип контролируемости. В состав такого отчета могут войти следующие показатели: выручка от реализации; переменные затраты; маржинальный доход (валовая прибыль центра прибыли). На практике возможен и более углубленный подход к составлению отчетов по центрам прибыли. В состав отчетности включаются операционные доходы и расходы предприятия, они подлежат распределению между центрами прибыли. Аудитор должен обратить внимание на финансовые критерии оценки деятельности центров ответственности. Наиболее часто используют четыре показателя финансового характера: доход, прибыль на инвестиции, остаточный доход, экономическую добавленную стоимость.

На большей части предприятий лесного сектора нет внутрипроизводственного учета, не составляется сегментарная отчетность, не организовано на должном уровне информационное обеспечение процесса управления.

На лесопромышленных предприятиях подвержены искажениям, ошибкам, налоговым нарушениям:

- хозяйственные процессы формирования затрат на производство;
- формирование расходов в налоговом учете;
- расчеты с дебиторами и кредиторами, филиалами и дочерними организациями, с бюджетом и внебюджетными фондами;
- процессы формирования финансовых результатов деятельности предприятия.

Специалисты внутреннего аудита устанавливают области хозяйственной деятельности предприятия с наибольшим финансовым риском.

Аудит тождественности данных аналитического и синтетического учета основных экономических показателей бухгалтерской отчетности лесопромышленных предприятий осуществляется на основе следующей информации:

№ п/п	Объект	Номер по плану счетов
1	Выручка от реализации товаров, продукции, работ и услуг (за минусом налога с продаж, НДС, акцизов и аналогичных платежей) ф. 2 «Отчет о прибылях и убытках», стр. 010	Оборот по кредиту счета 90.1 за минусом оборотов по дебету счетов 90.3 «Налог на добавленную стоимость», 90.4. «Акцизы»
2	Себестоимость проданных товаров, продукции, работ и услуг ф. 2, стр. 020	Оборот по дебету счета 90.2 в корреспонденции с кредитом счетов 20, 21, 23, 26, 40, 41, 43, 45
3	Валовая прибыль ф.2, стр. 029	Стр. 010 – стр. 020

В соответствии с Методическими рекомендациями о порядке формирования показателей бухгалтерской отчетности организации, утвержденными приказом МФ РФ от 28.06.2000 г. № 60н, бухгалтерская отчетность как единая система данных об имущественном и финансовом положении организации и о результатах ее хозяйственной деятельности составляется на основе данных бухгалтерского учета.

Показатели себестоимости продукции, работ и услуг, приведенные в форме 2 «Отчет о прибылях и убытках» по строке 020, должны быть результатом оборотов по бухгалтерскому счету 90.2 «Себестоимость» в корреспонденции с кредитом счетов 20, 21, 23, 26, 40, 41, 43.

Если предприятие в соответствии с принятой учетной политикой производит списание общехозяйственных расходов в дебет счетов 20, 21, 23, то затраты по данной статье нужно отразить за минусом общехозяйственных расходов.

Лесопромышленные предприятия довольно часто осуществляют несколько видов деятельности, имеют разные производства и виды продукции. Например, фанерные комбинаты имеют цеха по выпуску древесных плит, мебели, продукции деревообработки.

Если выпуск конкретной продукции превышает 5 % от объема общей реализации, то он должен быть расшифрован отдельной строкой в форме 2 «Отчет о прибылях и убытках». Соответственно отдельной строкой необходимо показать и затраты по данному виду продукции.

Выясняя имеющиеся расхождения между данными аналитического и синтетического учета, аудитор должен установить их причины, помочь бухгалтеру учитывать особенности хозяйственной практики и правильно составлять бухгалтерскую (финансовую) отчетность.

В ходе аудита себестоимости продукции необходимо выполнить ее анализ, а именно определить структуру затрат и расходов. Дальнейшее исследование рекомендуем организовать по значимости отдельных статей в общей сумме.

Большая часть продукции ЛПК относится к разряду материалоемкой. Аудиторскую проверку достоверности отражения стоимости сырья и материалов в бухгалтерской отчетности предприятий можно осуществлять в такой последовательности:

- оценка состояния внутреннего контроля по учете материальных расходов;
- анализ договорных отношений с поставщиками сырья и материалов;
- аудит оформления первичных учетных документов;
- аудит сохранности и движения материальных ценностей на складах;
- аудит правомерности включения стоимости сырья и материалов в себестоимость продукции, налоговый учет материальных расходов;
- аудит правильности отражения и списания недостач и хищений.

При аудите состояния внутреннего контроля по учету материально-производственных запасов необходимо установить: отражение в счетах процесса заготовления товарно-материальных ценностей (используются ли бухгалтерские счета 15 «Заготовление и приобретение материальных ценностей» и 16 «Отклонение в стоимости материальных ценностей»); по какой стоимости учитываются приобретаемые сырье и материалы (фактическая покупная или учетная); вариант оценки материалов в текущем учете; способ оценки материалов, списываемых в расход: по себестоимости единицы запасов, по средней себестоимости, по времени закупок: первых (ФИФО) и последних (ЛИФО).

Аудитор должен выяснить наименование используемых ТМЦ, наличие и применение субсчетов по счету 10 «Материалы». Он устанавливает, кто из работников бухгалтерии ведет участок учета товарно-материальных ценностей (возраст, образование, бухгалтерский стаж, наличие нормативной базы по этому участку, знание особенностей отраслевого учета), какими нормативными документами пользуется бухгалтер данного участка, кто проверяет его работу.

Поставка сырья и материалов на предприятия осуществляется в соответствии с заключенными договорами. Последние должны храниться в

систематизированном виде: по хронологии, видам поступающего сырья и материалов, поставщикам. Может быть использована и другая систематизация.

Отсутствие договора в письменном виде может привести к негативным финансовым последствиям: несвоевременной поставке, непоставке при выполненной предоплате, невозможности взыскания штрафных санкций, а также к ошибкам в бухгалтерском учете (неправильное определение базисных условий поставки).

Аудитор обязан ознакомиться с текстами хозяйственных договоров, обратив при этом внимание на наличие и содержание существенных условий сделки. В договорах должны быть указаны: наименование поставляемых товарно-материальных ценностей (пиловочник, фанерный кряж, древесностружечные плиты и т. д.), их примерное количество в стоимостном и натуральном измерении, качественные показатели, формы расчетов, момент перехода права собственности).

В договоре должны быть сведения о всех условиях поставки: используемая тара и ее характеристика (одноразовая, многоразовая, имеющая залоговую стоимость или нет), условия возврата некачественного сырья, материалов и др.

Аудитор устанавливает наличие приказа руководителя предприятия, общества с перечнем фамилий работников (заведующие складами, кладовщики, экспедиторы и др.), ответственных за приемку и отпуск материальных ценностей на складах, правильное и своевременное оформление этих операций, а также сохранность вверенных им материальных ценностей. Необходимо выяснить, заключен ли с этими лицами письменный договор о материальной ответственности, согласовываются ли увольнения и перемещения материально-ответственных лиц с главным бухгалтером предприятия.

На предприятиях должен быть определен перечень должностных лиц, которым предоставлено право подписи документов на получение и отпуск со складов материалов, а также выдача разрешений (пропуска) на вывоз с предприятия материальных ценностей. Многие предприятия отрасли имеют сезонную поставку сырья, в связи с чем следует уделить особое внимание организации складского хозяйства.

При поступлении товарно-материальных ценностей на предприятие производится приемка по количеству и качеству. Аудитор при проверке привлекает инженеров, технологов, товароведов для того, чтобы сделать компетентный вывод о недостатке или излишке материально-производственных запасов.

В ходе проверки выясняется организация складского учета материалов и его контроля со стороны бухгалтерии. В основном используются три основных варианта учета движения материалов на складах: оперативно-бухгалтерский (сальдовый), карточно-документальный и бескарточный (на компьютере).

В период аудиторской проверки устанавливается достоверность расчетов по списанию материальных ценностей на затраты производства. В соответствии с ПБУ5/01 могут использоваться методы: по цене приобретения, средней себестоимости, ФИФО, ЛИФО. Необходимо установить, соответствует ли фактический метод оценки материалов, списываемых в производство, предусмотренному в учетной политике.

Сырье, материалы, топливо, полуфабрикаты отпускаются в производство на основании оформленных документов по весу, объему, площади или счету в строгом соответствии с действующими расходными нормами с указанием шифров изделий, видов или групп продукции, для производства которых они отпущены. Для контроля за использованием сырья и материалов в производстве применяются: документальное оформление отклонений от норм и инвентаризация. Аудитор должен обратить внимание на наличие рапортов и месячных отчетов производственных подразделений об использовании сырья, материалов, топлива, полуфабрикатов с указанием причин экономии или перерасхода.

Материальные ресурсы собственного производства, которые передаются в другие цеха для дальнейшей переработки, учитываются при калькулировании готовой продукции по себестоимости цеха, выпускающего эти ресурсы.

Аудитор проверяет выполнение бухгалтерских проводок по списанию сырья и материалов в производство. Фактический расход сырья и материалов отражается следующим образом: Д 20, 21, 23 К 10. Наличие других проводок должно быть расшифровано. Например, проводка Д 10 К 20 может свидетельствовать о возвращении ТМЦ из цеха на склад и т. д.

Записи в аудиторском отчете должны содержать следующую информацию: суть установленного нарушения, какой нормативный документ нарушен, возможные последствия, рекомендации по устранению замечания.

В ходе проверки оплаты труда на лесопромышленных предприятиях для подтверждения достоверности соответствующих расчетов необходимо изучить организацию оплаты труда на предприятии;

убедиться в обоснованности начисленной оплаты труда работников;

установить законность и полноту удержаний из заработной платы и из других выплат работникам в пользу предприятия, бюджета, Пенсионного фонда РФ.

В ходе подготовительного этапа аудитор должен высказать мнение об эффективности принятой организационно-управленческой структуры предприятия, обратить внимание на виды производственной деятельности и выпускаемой продукции, технологические особенности производства, порядок распределения прибыли, остающейся в распоряжении фирмы, компании, общества.

Действующие формы и системы оплаты труда на предприятии фиксируются в коллективном договоре и положении по оплате труда, принятых и утвержденных общим собранием акционеров или работающих (Закон РФ от 11.03.92 г. № 2490-1 «О коллективных договорах и соглашениях» (с из-

менениями). Аудиторы изучают положения и порядок премирования и поощрения работников.

Проверке подвергаются первичные документы по учету заработной платы. Выясняется, заполняются ли на исследуемом предприятии утвержденные унифицированные формы первичных документов по учету заработной платы.

Особое внимание уделяется наличию и проверке правильности составления табелей учета рабочего времени. Ст. 4 Инструкции по статистике численности и заработной платы рабочих и служащих на предприятиях, в учреждениях и организациях, утвержденной Госкомстатом СССР от 17.09.87 № 17-10-0370, свидетельствует, что табеля учета рабочего времени документально подтверждают обоснованность начисления заработной платы.

Типичными ошибками являются: наличие подчисток и помарок, свободных, неподчеркнутых строк; отсутствие полных фамилий, имен и отчеств работающих; подписи табельщика.

При повременной оплате труда проверяется правильность применения тарифных ставок или условий контракта, при сдельной – выполнение количественных и качественных показателей работы, применение норм выработки и расценок.

В первичных документах по учету труда и его оплаты должны быть подписи должностных лиц, ответственных за учет выполненных работ, заполнены все реквизиты; аудитор выясняет, нет ли случаев включения в них вымышленных (подставных) лиц. Для этого следует анализировать наряды по датам их выдачи, сопоставить фамилии рабочих в нарядах и табелях учета рабочего времени с данными учета личного состава. Необходимо проверить, нет ли случаев повторного начисления сумм по ранее оплаченным первичным документам. Особое внимание следует обратить на наряды, выписанные на лиц, не состоящих в списочном составе и проработавших непродолжительное время, а также наряды по устранению брака и переделке работ, выполненных с низким качеством.

На следующем этапе проверки выборочно проверяется правильность начисления оплаты труда, а именно по сдельным расценкам, тарифным ставкам, окладам; обоснованность начисления доплат в связи с отклонениями от нормальных условий работы, за работу в ночное время, сверхурочную и т. д.

Важной частью аудита является проверка правомерности отнесения на себестоимость продукции выплат, начисленных персоналу организации. Для этого необходимо проанализировать источники производственных выплат, их связь с выпуском и реализацией продукции, выполнением работ и услуг.

Аудитор должен проверить правильность определения суммы единого социального налога. При этом устанавливается достоверность формирования объекта налогообложения, а также используемых ставок. Необходимо рассмотреть вопрос о возможности использования регрессивной шкалы налогообложения.

В ходе проверки аудитор устанавливает правильность определения суммы дохода для целей налогообложения физических лиц, изучает правомерность применения действующих ставок налога.

Аудитор осуществляет контроль за правомерностью выполненных бухгалтерских проводок.

Необходимо подтверждение реальности остатков на счетах расчетов с внебюджетными фондами.

В ходе проверки состояния расчетов с персоналом по оплате труда используется устный опрос.

Проверка документов (контракты, акты выполненных работ, табеля учета рабочего времени, наряды и т. д.) позволяет установить достоверность бухгалтерского оформления хозяйственных операций.

Подтверждение достоверности определения амортизационных отчислений предполагает проверку:

тождественности данных аналитического и синтетического учета; формирования стоимости и переоценки амортизируемого имущества;

правильности определения сумм амортизации по объектам основных средств и их отнесения на себестоимость продукции (работ, услуг);

достоверности операций по движению основных средств, инвентаризации и налоговому учету операций с основными средствами.

Аудитор должен проверить правильность отнесения приобретенных товарно-материальных ценностей к основным средствам. Для этого необходимо расшифровать дебетовые обороты за отчетный период по счету 01 «Основные средства». Согласно п. 12 ПБУ 6/01 в первоначальную стоимость объектов основных средств включаются затраты на доставку и приведение в состояние, пригодное для использования.

Основные средства могут поступить на предприятие в качестве вклада в уставный капитал. Такие объекты надо учитывать по стоимости, согласованной учредителями организации (п. 9 ПБУ 6/01). Если номинальный размер вклада в уставный капитал превышает 200 МРОТ, то цену основных средств должен подтвердить независимый оценщик (п. 3 ст. 34 Федерального закона от 26.12.95 г. № 208-ФЗ «Об акционерных обществах»; п. 2 ст. 15 Федерального закона от 08.02.98 г. № 14-ФЗ «Об обществах с ограниченной ответственностью»).

В ходе аудиторской проверки бухгалтерского учета основных средств необходимо оценить достоверность первичных документов по их приобретению. На лесопромышленных предприятиях должны быть в наличии договора о купле – продаже объектов основных средств, счета, счета-фактуры, платежные поручения по расчетам за основные средства.

Поступление объекта основных средств на предприятие сопровождается составлением акта приема – передачи по типовой форме № ОС-1. В отдельных случаях требуется подтверждение государственной регистрации объекта.

В период проверки службой внутреннего аудита устанавливается наличие и правильность заполнения инвентарных карточек учета основных средств типовой формы № ОС-6 и наличие на предприятии описи инвентарных карточек по типовой форме № ОС-7.

Документальный аудит поступления и использования основных средств должен сопровождаться выборочным визуальным контролем по отдельным структурным подразделениям или участкам. При этом следует использовать инвентарный список объектов основных средств (по месту их нахождения, эксплуатации) типовой формы № ОС-9.

Для организации сквозного контроля за сохранностью товарно-материальных ценностей должны быть изданы приказы на материально-ответственных лиц по использованию объектов основных средств с заключением договоров о полной индивидуальной материальной ответственности.

В ходе проверки выясняется, соответствует ли метод начисления амортизации положениям, приведенным в учетной политике, выборочно проверяется порядок применения норм амортизации, время начала начисления. Для этого следует изучить аналитические ведомости и компьютерные распечатки по счету 02 «Амортизация основных средств».

Аудитор должен проверить своевременность отнесения амортизационных отчислений на себестоимость. В сезонных производствах годовая сумма амортизации начисляется равномерно в течение периода работы предприятия.

Налоговый учет операций с основными средствами должен быть по каждому объекту амортизируемого имущества.

Аудитор изучает состав прочих расходов, выделяя из них наиболее значимые.

Предприятие должно иметь в наличии первичные документы, подтверждающие произведенную оплату, и затраты, вошедшие в себестоимость. При этом используются методы формальной, логической и арифметической проверки. Формальная проверка выявляет, все ли реквизиты документа имеются, правильно ли заполнен документ, есть ли подписи ответственных лиц, относится ли документ к тому месяцу, в котором он проведен по учетным регистрам, и т. д. Логическая проверка, или проверка по существу, выявляет приписки из-за искажения объемов выполненных работ, цен, расценок, отражения в первичных документах таких работ, которые не выполнялись и не могли быть выполнены. Арифметическая проверка выявляет ошибки при суммировании чисел в процессе составления накопительных и группировочных ведомостей.

По результатам аудиторской проверки составляется отчетный документ, который может иметь разную форму: аудиторская справка, аудиторское заключение, докладная записка, отчет о проверке и т. д. Форма документа определяется в приказе о назначении аудиторской проверки. К документу прилагаются рабочие записи специалистов, принимавших участие в проверке.

Материалы в аналитической части должны быть достоверны, объективны и исключать возможность двоякого толкования установленных нарушений и замечаний.

Каждая запись в отчете или акте должна отвечать на следующие вопросы: что нарушено, кто нарушил, когда совершено нарушение, в чем суть нарушения, каковы последствия нарушения, каков размер прямого и косвенного ущерба?

Аудитор при изложении своего мнения должен соблюдать строгую объективность, не допускать необоснованных утверждений, выводов и оценок деятельности отдельных лиц или проверяемого подразделения. Замечания о недостатках и нарушениях, полученных из устных или письменных заявлений отдельных лиц, не рекомендуется включать в отчет.

Если у руководителя или другого должностного лица подразделения есть возражения или замечания по материалам проведенной проверки, он должен, подписывая документ о проверке, приложить к нему свои письменные возражения, замечания.

Московский государственный  
университет леса  
Поступила 15.12.02

*M.A. Menshikova*

### **Organization of Internal Audit at Forest-industrial Enterprises**

Current problems of forest-industrial enterprises related to administrative audit are provided. Proposals on audit of segmental reporting, operations with fixed assets, material expenditure and labor remuneration are developed.

---



## ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

**ЮБИЛЕЙ Н.А. МОИСЕЕВА**

Исполнилось 75 лет известному ученому Николаю Александровичу Моисееву, академику Российской академии сельскохозяйственных наук, заслуженному деятелю науки РФ, заслуженному лесоводу РСФСР, иностранному члену Шведской королевской академии сельского и лесного хозяйства, Финской академии наук и письменности, Итальянской лесной академии, члену Российской академии естественных наук, почетному члену Международной академии наук высшей школы, почетному доктору Дрезденского технического университета и С.-Петербургской государственной лесотехнической академии.

Н.А. Моисеев родился 13 декабря 1929 г. в с. Якутино Оренбургской области. В начале 1930 г. деда (по отцу) раскулачили и со всей семьей (включая и нынешнего юбиляра, которому тогда было два месяца отроду) сослали в Архангельскую область. В верховьях р. Пинеги, в глухих таежных поселках Тальцы, Усть-Заруба, прошли первые пятнадцать лет его жизни; родители работали в созданном на базе спецпереселенцев Верхне-Ерогодском лесопункте. В 1944 г. отец погиб на Карельском фронте, а в 1945 г. мать и сын вернулись в Оренбургскую область.

После 7 класса Н.А. Моисеев поступил в Бузулукский лесной техникум, по окончании которого в 1949 г. как «пятипроцентник» был принят на лесохозяйственный факультет Ленинградской лесотехнической академии. Во время учебы в летние каникулы работал таксатором в экспедициях по устройству лесов Бузулукского лесхоза Оренбургской области, Беломорского лесхоза Карелии, в научной экспедиции ученых ЛТА по обследованию возобновления леса на концентрированных вырубках знаменитого Монзенского леспромхоза Вологодской области. С III курса был председателем научно-студенческого кружка по лесоводству, на котором выступал с докладами по результатам работы в этих экспедициях.

По окончании с отличием ЛТА в 1954 г. Николай Александрович был оставлен в аспирантуре по кафедре лесоустройства. Кандидатскую диссертацию по организации лесного хозяйства в порослевых дубравах Куйбышевской области он защитил в 1958 г.

В 1957 г. по приглашению акад. ВАСХНИЛ И.С. Мелехова молодой ученый начал работать в Архангельском институте леса и лесохимии АН СССР (ныне СевНИИЛХ), где прошел все ступени от младшего научного сотрудника до заведующего отделом экономики лесного хозяйства и лесной промышленности, ученого секретаря, заместителя директора по научной работе и директора института (1962–1965 гг.).

В 1965–1970 гг. А.Н. Моисеев работал во Всесоюзном (ныне Всероссийском) НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) старшим научным сотрудником, а затем заведующим организованной им лабораторией прогнозирования и перспективного планирования лесного хозяйства, в 1970–1977 гг. – начальником управления науки, передового опыта и внешних сношений – членом коллегии Государственного комитета СССР по лесному хозяйству, в 1977–1996 гг. – директором ВНИИЛМ. С 1997 г. по настоящее время проф. Н.А. Моисеев заведует кафедрой экономики и организации лесного хозяйства и лесной промышленности Московского государственного университета леса.

Талант ученого, организатора, администратора, общественного и международного деятеля позволил Н.А. Моисееву успешно строить работу творческих коллективов от тематических рабочих групп, лаборатории, кафедры до крупных научных учрежде-

ний, отраслевых лесных НИИ всех республик бывш. СССР. В течение 25 лет он являлся бессменным председателем совета директоров лесных институтов. Будучи в 1987–1996 гг. академиком-секретарем отделения лесного хозяйства вначале ВАСХНИЛ, затем Россельхозакадемии, он одновременно руководил межведомственным научным советом по проблемам леса и агролесомелиорации, в задачи которого входила координация научных исследований по лесному хозяйству. По заданию руководства Госкомлеса СССР и ВАСХНИЛ ведущими учеными НИИ и вузов под его руководством была разработана программа научных исследований по лесному хозяйству на 1990–2000 гг. (программа «Лес»), которая стала руководством для планирования отраслевых научных исследований. С 1996 г. он руководит подпрограммой «Российский лес» федеральной целевой научно-технической программы (по разделу «Экология и природопользование»).

Как член исполкома Международного союза лесных исследовательских организаций (IUFRO) в 1975–1985 гг. он расширил участие отечественных институтов в качестве юридических членов в составе этой организации, способствуя поднятию престижа отечественной лесной науки на мировом уровне. По его инициативе были организованы и проведены в России крупные международные конференции в рамках IUFRO по актуальным проблемам управления лесами в условиях рыночной экономики, с широким участием ведущих ученых зарубежных стран. Труды этих конференций, опубликованные в России и за рубежом, стали ценной информацией для отечественных ученых и специалистов в ходе проводимых реформ.

Основным содержанием творческой деятельности Н.А. Моисеева являются взаимосвязанные узловые проблемы экономики и организации лесного хозяйства и лесной промышленности, лесоустройства, управления лесами, государственной лесной политики и лесного законодательства с синтезом их в главные направления развития всего лесного сектора экономики СССР и России.

Докторская диссертация Николая Александровича, которую он успешно защитил в 1974 г., была посвящена теоретическим основам долгосрочного прогнозирования использования и воспроизводства лесных ресурсов. Выдвинутая им принципиально новая теория воспроизводства лесных ресурсов на основе неистощительного многоцелевого лесопользования является фундаментальной основой решения главных проблем экономики лесного хозяйства. Разработаны предложения по организации и планированию устойчивого лесопользования, экономического обоснования программ разного уровня управления лесами и мероприятий в их составе, источников и системы финансирования лесного хозяйства. Н.А. Моисеев принимал активное участие в разработке предложений по переводу лесного хозяйства на рыночные отношения, совершенствованию экономического механизма управления лесами и лесного законодательства. Именно он явился инициатором создания первой рабочей группы ученых и специалистов разных лесных отраслей по разработке проекта «Национальная лесная политика России», который обсуждался на разных уровнях в 2001–2003 гг. и был принят за основу.

Как член оргкомитета Всероссийского общеэкологического форума по разработке ныне уже утвержденной экологической доктрины России, Николай Александрович участвовал в формировании раздела по экономическому механизму природопользования и экологической безопасности России, за что в 2003 г. был удостоен благодарности Президента России В.В. Путина.

Перу Н.А. Моисеева принадлежит около 350 научных трудов. Пути и способы решения назревших проблем лесного сектора он предлагал также в своих выступлениях на коллегиях Минприроды и Минпромнауки РФ, заседаниях совета лесопромышленников и лесозэкспортеров России, всероссийских съездах лесников (лесоводов), в Центре стратегических разработок, на пленуме ЦК профсоюза лесных отраслей, в Государственной Думе, Совете Федерации (как член научно-экспертного совета при председателе Совета Федерации).

Н.А. Моисеев – активный участник международных лесных форумов и конгрессов IUFRO с 1971 г., где выступал с докладами. На XV конгрессе в 1976 г. в Осло (Норвегия) возглавлял многочисленную советскую делегацию лесоводов. Он был первым председателем советско-американской рабочей группы по сотрудничеству в области лесного хозяйства.

В последние годы он уделяет большое внимание подготовке кадров для науки и производства. Написанные им учебники по экономике лесного хозяйства и лесоустройству широко используются в образовательном процессе не только Московского университета леса, но и других лесных вузов страны.

Активно проявляет себя Николай Александрович и в общественной сфере, поднимая на каналах российского радио и телевидения острые, злободневные вопросы взаимоотношений человека и леса, государства и бизнеса. Его яркие выступления в средствах массовой информации привлекают внимание широкой общественности к проблемам леса в стране. Последние годы он возглавляет общественно-политическое движение «Леса России», в рамках которого во многом формируется лесная политика России.

Заслуги и научные достижения Н.А. Моисеева отмечены правительственными наградами, в том числе орденом Трудового Красного Знамени (1979 г.) и рядом медалей, почетными званиями «Заслуженный лесовод РСФСР» (1979 г.), «Заслуженный деятель науки РФ» (1999 г.). Постановлением Президиума Россельхозакадемии от 14.10.2003 г. за цикл работ «Основы прогнозирования использования и воспроизводства лесных ресурсов России» ему присуждена золотая медаль им. Г.Ф. Морозова. Международный союз лесных исследовательских организаций в 2004 г. наградил его высшей наградой IUFRO «За выдающиеся достижения». С 2001 г. он является почетным гражданином г. Пушкино Московской области.

Н.А. Моисеев продолжает энергично работать во всех названных направлениях. В этом ему помогают исключительное трудолюбие, организованность, целеустремленность, активная гражданская позиция, умение входить в контакт и строить отношения с людьми науки и образования, широкой практики лесных отраслей, государственной власти разных уровней, общественными деятелями. Он открыт, прост, искренен. Пожелаем Николаю Александровичу здоровья и дальнейших успехов в его многогранной деятельности.

Ректорат и коллектив  
Московского государственного  
университета леса

*University Administration and Collective of Moscow State Forest University*  
**Jubilee of N.A. Moiseev**

---



## ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

**В.А. БУГАЕВ – СТАРЕЙШИЙ ПЕДАГОГ  
И УЧЕНЫЙ ВГЛТА  
(к 80-летию со дня рождения)**

Владимир Агеевич Бугаев родился 21 декабря 1924 г. в Харькове в семье служащих. В феврале 1942 г. семнадцатилетним юношей был призван в ряды Вооруженных Сил СССР. В одном из тяжелых боев 1943 г. в Синявинских болотах получил тяжелое ранение и был демобилизован.

В ноябре 1948 г. В.А. Бугаев с отличием окончил Воронежский лесохозяйственный институт (ВЛХИ) и получил рекомендацию в очную аспирантуру при кафедре лесной таксации под руководством проф. И.М. Науменко. После окончания аспирантуры он непродолжительное время работал в должности младшего научного сотрудника Комплексной экспедиции АН СССР (г. Москва), а в сентябре 1952 г. возвратился на должность ассистента кафедры лесной таксации ВЛХИ, с которым он связал всю свою дальнейшую жизнь.

В 1954 г. он успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Признаки дешифрирования дубрав и особенности таксационных работ с применением материалов аэрофотосъемки» и последующие пять лет работал старшим преподавателем кафедры экономики и организации лесного хозяйства и лесной промышленности Воронежского лесотехнического института, которую в то время возглавлял видный экономист лесной отрасли проф. И.В. Воронин. В сентябре 1960 г. В.А. Бугаев возвратился на кафедру лесной таксации и лесоустройства в должности доцента.

Почти пять лет, с марта 1961 г. по октябрь 1965 г., он совмещал работу на кафедре лесной таксации и лесоустройства с должностью декана лесохозяйственного факультета. Одновременно с педагогической и воспитательной деятельностью В.А. Бугаев проводил кропотливую научно-исследовательскую работу. Для завершения докторской диссертации на два года (1969–1970 гг.) был переведен на должность старшего научного сотрудника. В 1972 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Основы долгосрочного прогноза продуктивности леса».

С августа 1974 г. Владимир Агеевич возглавил кафедру лесной таксации и лесоустройства и одновременно работал деканом лесохозяйственного факультета. Должность декана оставил в 1982 г. Решением ВАК СССР в 1976 г. ему присвоено ученое звание профессора по кафедре лесной таксации и лесоустройства.

С июня 1990 г. В.А. Бугаев – профессор, а с декабря 1998 г. – исполняющий обязанности заведующего кафедрой лесной таксации и лесоустройства, с февраля 2002 г. и по настоящее время – профессор этой кафедры.

За более чем полувековой период работы в лесном вузе проф. В.А. Бугаев подготовил сотни молодых специалистов лесного хозяйства. Под его научным руководством защитили кандидатские диссертации около двух десятков аспирантов, в том числе представители ряда зарубежных стран (Куба, Кения, Сирия, Эфиопия, Вьетнам и Лаос). Среди его учеников есть и доктора наук.

Им лично и в соавторстве с коллегами опубликовано около десятка монографий и почти 300 научных трудов, учебных пособий, справочных и учебно-методических указаний.



---

Ему присвоены почетные звания «Заслуженный лесовод РСФСР», «Заслуженный деятель науки» и Почетный академик РАЕН. В.А. Бугаев награжден Орденом Отечественной войны II степени и семью медалями, несколькими почетными знаками Министерства высшего и среднего специального образования СССР и Гослесхоза СССР.

Активная жизненная позиция, многолетнее и плодотворное служение Владимира Агеевича Бугаева любимому делу и одному из лучших лесных вузов России – достойный пример не только для профессорско-преподавательского состава Воронежской государственной лесотехнической академии, но и для подрастающей смены лесоводов.

Уважаемый Владимир Агеевич, примите наши искренние поздравления с юбилеем!

**В.К. Попов, М.П. Чернышов**

ВГЛТА

*V.K. Popov, M.P. Chernyshov*

**V.A. Bugaev – the Oldest Teacher and Scientist  
of Voronezh State Forest Technical Academy (to 80-th birthday)**

---

**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,  
ПОМЕЩЕННЫХ В «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ»  
в 2004 г.**

**Соколов О.М., Романов Е.С.** Юбилей АГТУ: 75 лет служения образованию, науке, производству. № 3-7.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

**Бугаев В.А., Мусиевский А.Л., Царалунга В.В.** Дубравы европейской части России. № 2-7.

**Жежкун И.Н., Жежкун А.Н.** Сравнительная эффективность формирования целевых насаждений. № 4-7.

**Жидкова Н.Ю.** Методический подход к эколого-экономической оценке природно-ресурсного потенциала городских лесов. № 5-16.

**Карасев В.Н., Карасева М.А.** Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности деревьев хвойных пород. № 4-27.

**Коваленко Л.А.** Оценка состояния почвенных экосистем лесных биогеоценозов на техногенных территориях промышленных районов. № 5-42.

**Котова Л.И.** Ботанический сад МарГТУ – учебная, научная и производственная база. № 4-14.

**Коханский С.А.** Трансформация заболоченных древостоев под влиянием лесохозяйственных мероприятий. № 1-19.

**Лазарева С.М.** Краткие итоги интродукции хвойных в Ботаническом саду МарГТУ. № 5-25.

**Лиханова И.А.** Культуры ели на рекультивированных землях Усинского нефтяного месторождения. № 5-20.

**Невидомов А.М.** Пойменное лесоводство – новый вид зонально-географических систем ведения лесного хозяйства. № 1-7.

**Неволин О.А., Третьяков С.В., Еремина О.О.** Продуктивность смешанных сосняков Европейского Севера и организация хозяйства в них. № 3-26.

**Разумников Н.А.** Элеутерококк колючий в Республике Марий Эл. № 4-22.

**Родионов А.В.** Технологические основы неистощительного лесопользования. № 1-24.

**Романов Г.Е.** Недревесные ресурсы на территории учебно-опытного лесничества ПетрГУ и их использование. № 2-13.

**Рублев С.И., Алексеев И.А.** Комплекс дереворазрушающих грибов лиственницы Сукачева на пороге ареала. № 6-13.

**Семенов Б.А., Цветков В.Ф.** Природа притундровых лесов европейской части России и основы хозяйства в них. № 3-18.

**Соловьев В.А., Николаев С.В.** Роль лесного сектора в бюджете углерода Ленинградской области. № 5-7.

**Суханова Л.В.** Размножение нектаропродуктивной ивы трехтычинковой черенками. № 4-16.

**Тараканов А.М.** Ход роста модальных сосновых и еловых древостоев на осушаемых землях Европейского Севера. № 5-32.

**Тараканов А.М.** Особенности рубок в осушаемых лесах Европейского Севера. № 6-7.

**Чибисов Г.А., Минин Н.С.** Рост сосняков под влиянием рубок ухода 40-летней давности. № 3-10.

**Шарыгина Ю.М.** Опыт выращивания радиолы розовой в Ботаническом саду Марийского государственного технического университета. № 1-14.

- Шуляковская Т.А., Ветчинникова Т.Ю.** Вариабельность физиологических показателей в онтогенезе сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.). № 6-19.
- Шутов И.В.** О хозяйственной классификации лесов. № 1-31.
- ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ
- Войтко П.Ф.** Математическая модель процесса формирования пачки лесных грузов. № 4-44.
- Войтко П.Ф.** Методика и результаты производственных испытаний передвижных и переносных торцевыравнивателей на рейдах приплава лесопромышленных предприятий. № 5-68.
- Гагарин П.Н., Вихарев А.Н., Исупова Т.С.** Радиационно-аналоговое моделирование скоростей и турбулентных напряжений в затопленной струе или гидромеханическом следе. № 1-45.
- Григорьев И.В., Жукова А.И.** Координатно-объемная методика трассирования при освоении лесосек трелевкой. № 4-39.
- Коршун В.Н.** Концепция конструирования лесных машин. № 2-18.
- Курьянов В.К., Афоничев Д.Н.** Параметры сборных покрытий лесовозных автомобильных дорог. № 5-62.
- Меньшиков А.М., Копейкин А.М.** Применение спектральных методов в исследованиях технологических процессов лесозаготовительного производства. № 6-31.
- Морозов В.С.** Математическая модель для расчета толщины оснований зимних автомобильных дорог на болотах. № 5-55.
- Морозов С.И., Шостенко Д.Н.** Определение параметров силовой функции при сжатии и соударении упругопластичных тел. № 3-50.
- Овчинников М.М., Михасенко В.И.** Обобщенная диаграмма для определения пути и времени остановки пучковых плотов. № 2-22.
- Павлов А.И., Ширнин Ю.А.** Методика применения диагностической информации для выбора стратегии замены элементов гидропривода лесосечных машин. № 6-26.
- Соколов О.М., Митрофанов А.А., Рымашевский В.Л.** Проблемы и перспективы транспортного развития лесопромышленного комплекса. № 3-37.
- Стуков В.П.** Совершенствование конструктивно-технологической системы пролетного строения моста с дерево-железобетонными балками. № 3-56.
- Стуков В.П.** Особенности изготовления многослойной мостовой балки из клееной древесины. № 3-60.
- Федоренчик А.С., Макаревич С.С., Протас П.А.** Деформация грунтов на технологических элементах лесосеки, укрепленных отходами лесозаготовок. № 4-33.
- Харитонов В.Я.** Обоснование параметров гидротормоза для остановки плотов. № 3-43.
- Ширнин Ю.А., Герц Э.Ф.** Стохастическое моделирование валки деревьев при несплошных рубках. № 1-39.
- МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА  
ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ
- Алексеев А.Е., Захаров М.В.** Обоснование технологических параметров измерителя кольцевой формы и процесса измерения размеров сортиментов. № 4-64.
- Алексеева Л.В.** Результаты оценки условий формирования сечений пиломатериалов внутреннего рынка при раскросе сортиментов по круговой брусово-развальтной схеме. № 2-33.
- Алексеева Л.В.** Проектирование малых лесопильных предприятий на базе ленточнопильных станков. № 4-81.
- Бирман А.Р.** Штучный паркет пониженной древесинемкости. № 4-53.

- Братилов Д.А., Голяков А.Д.** Выборочная технологическая модель сучковатости комлевых сосновых бревен. № 1-66.
- Бугаев Ю.В.** Регрессионный метод поддержки принятия решений при оптимизации технологических процессов. № 6-42.
- Варфоломеев Ю.А., Суровцева Л.С., Малашкин А.С.** Влияние способа поставки древесного сырья на его качество. № 3-76.
- Вилейшикова Н.В., Снопков В.Б., Белясова Н.А.** Экспресс-метод испытания защитных средств для древесины. № 5-77.
- Воронцов Ю.Ф., Голяков А.Д.** Ресурсосберегающая технология лесопиления. № 4-74.
- Гильденгорн А.И., Худяков М.П.** Формирование технологических моделей машиностроительных изделий лесопромышленного комплекса. № 1-54.
- Голяков А.Д., Воронцов Ю.Ф.** Специализация лесопильных заводов. № 5-94.
- Иванкин И.И.** Программа для расчета поставок и выходов пилопродукции. № 3-72.
- Иванкин И.И.** О выборе типа опор при определении начальной жесткости полосовых пил. № 6-56.
- Иванов Д.В.** Подготовка сырья к распиловке на современных лесопильных предприятиях. № 3-81.
- Курьянова Т.К., Платонов А.Д., Петровский В.С.** Сушка твердых листовых пород с предварительной химической обработкой. № 4-58.
- Курьянова Т.К., Платонов А.Д.** Сушка древесины и ее качество после предварительной химической обработки. № 6-52.
- Лобанова И.С., Прокофьев Г.Ф.** Расчет оптимального радиуса изгиба полосовой пилы при оценке начального напряженного состояния. № 2-28.
- Покровская Е.Н., Котенева И.В., Аскадский А.А.** Определение лимитирующей стадии сорбции на примере древесины различной длительности эксплуатации. № 1-61.
- Прокофьев Г.Ф., Дундин Н.И.** Основные направления интенсификации переработки древесины на лесопильном оборудовании. № 3-65.
- Старкова А.В.** Раскрой параболической зоны бревна на заготовки. № 5-83.
- Сугайпов У.У.** Математическая модель процесса электрокинетической пропитки древесины. № 5-89.
- Суровцева Л.С., Иванов Д.В., Царева М.М.** Анализ параметров технологической щепы, используемой в целлюлозно-бумажной промышленности. № 6-48.

#### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Авакова О.Г., Боголицын К.Г., Дмитриенко С.Г.** Определение удельной площади поверхности растительной клетчатки. № 1-77.
- Авакова О.Г., Боголицын К.Г.** Растительная клетчатка: структура, свойства, применение. № 4-121.
- Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И., Невзоров А.И., Барановский В.П., Сакаш Г.С.** Эффект трансформирования малоскоростной струи суспензии в высокоскоростную. № 5-98.
- Балакшин П.Н.** Экологические проблемы в целлюлозно-бумажной промышленности РФ. № 1-100.
- Броварова О.В., Кочева Л.С., Карманов А.П., Шуктомова И.И., Рачкова Н.Г.** Исследование физико-химических свойств сорбентов на основе растительного сырья. № 4-112.
- Воронцов К.Б., Гельфанд Е.Д.** Обработка сульфитных щелоков известкованием. № 3-102.

- Воронцов К.Б., Гельфанд Е.Д.** К вопросу снижения сброса лигносульфонатов на сульфит-целлюлозных предприятиях. № 6-92.
- Вураско А.В., Жвирблите А.-Б.К., Агеев А.Я., Ефименко К.А.** Исследование эффективности действия антрахинона при натронной варке древесины березы. 2. Влияние антрахинона на физико-механические свойства целлюлозы. № 2-39.
- Дейнеко И.П.** Химические превращения целлюлозы при пиролизе. № 4-96.
- Дубовый В.К.** Снижение сульфатной минерализации оборотной воды при приготовлении бумагоподобных материалов из минеральных волокон с неорганическими связующими. № 6-96.
- Ефанов М.В.** Ксантогенирование лигнина и целлюлозы в среде пропанола-2. № 6-90.
- Киповский А.Я., Пиялкин В.Н., Белоусов И.И., Прокопьев С.А.** Роль температурно-временных факторов при ультрапиролизе древесного сырья. № 4-85.
- Кириллов Д.Ф.** Исследование влияния стимуляторов выхода живицы на смоляной аппарат лиственницы сибирской. № 1-86.
- Ковтун Т.Н., Хакимова Ф.Х., Ермаков С.Г.** Применение поверхностно-активных веществ для обессмоливания целлюлозы. № 2-49.
- Кряжев А.М.** Механохимическое воздействие на техническую целлюлозу для интенсификации технологических процессов. № 1-91.
- Селянина Л.И.** Выделение бетулина из отходов переработки березы экстракцией спиртом. № 4-92.
- Скребец Т.Э., Боголицын К.Г., Чухчин Д.Г., Вербицкая С.А.** Изменение свойств диоксанлигнина после щелочной обработки в присутствии этанола. № 3-105.
- Хабаров Ю.Г., Камакина Н.Д., Комарова Г.В., Миловидова Л.А.** Метод определения гексенуроновых кислот в технической целлюлозе. № 2-43.
- Хабаров Ю.Г.** Методы определения лигнинов. № 3-86.
- Шабалин В.Г., Чемерис М.М., Коньшин В.В.** Некоторые кинетические закономерности ацетилирования древесины уксусной кислотой в присутствии тионилхлорида в среде ТФУК. № 1-81.
- Яблочкин Н.И., Комаров В.И.** Различия в механическом поведении картонов-лайнеров, произведенных из первичного или вторичного волокна. № 5-105.
- Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н., Дулькин Д.А.** Фракционирование вторичного волокна в центробежно-гидродинамическом фракционаторе. № 6-62.
- ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ  
ПРОИЗВОДСТВА**
- Бутко Г.П.** Качество товара как основной элемент системы обеспечения конкурентоспособности. № 6-109.
- Воронин А.В.** Прикладные транспортно-производственные задачи планирования работы предприятий ЛПК. № 1-103.
- Каргополов М.Д., Мякшин В.Н.** Исследование производства и распределения продукции регионального лесопромышленного комплекса на основе межпродуктивного баланса. № 5-111.
- Кузнецов В.А.** Задачи раскроя и комплектования материалов в моделировании производственных процессов. № 1-111.
- Лосев М.В., Смирнова А.И.** Совершенствование системы планирования в лесном хозяйстве. № 5-120.
- Меньшикова М.А.** Методологические основы аудита организации бухгалтерского и налогового учета на предприятиях лесного сектора. № 2-58.

- Меньшикова М.А.** Организация внутреннего аудита на лесопромышленных предприятиях. № 6-124.
- Молнар Я.Ф., Пономарева Е.Н.** Актуальность и методика разработки и внедрения единой тарифной системы оплаты труда работников целлюлозно-бумажных предприятий. № 1-117.
- Молнар Я.Ф.** Нормирование и оплата труда ремонтных рабочих на целлюлозно-бумажных предприятиях в соответствии с современными требованиями. № 2-55.
- Платонов И.А.** Условия эффективности применения лизинговых операций при приобретении лесозаготовительного оборудования. № 6-116.
- Харитонов А.Ю., Пластинин А.В.** Методика построения комплексного показателя стоимости предприятия. № 3-111.
- Чебарев В.А.** Инвестиционные стратегии предприятий лесопромышленного комплекса России. № 4-131.
- Черепухин С.А.** Алгоритмы и вычислительные процедуры принятия решений по оптимальному управлению рубками ухода. № 2-65.
- Чупров Н.П.** К методике экономической оценки и доступности древесных ресурсов леса. № 6-103.
- Щеголева Л.В.** Математическая модель задачи оптимизации производства и потребления древесного сырья в лесопромышленном регионе. № 5-117.
- КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
- Буторина Т.С., Ширшов Е.В., Иванченко А.А.** Теория и практика использования нейронных технологий в учебном процессе вуза. № 2-79.
- Гурьев А.Т., Абрамова Л.В., Торхов С.В., Трубин Д.В.** Функциональное моделирование лесного хозяйства. № 1-135.
- Гурьев А.Т., Блок А.А.** Основы моделирования работы комплексов лесосечных машин. № 3-116.
- Гурьев А.Т., Торхов С.В., Трубин Д.В.** Вопросы информационного обеспечения процессов лесного сектора. № 3-125.
- Мальгин В.И., Перфильев П.В.** Опыт использования системы параметрического моделирования T-Flex-CAD при проектировании объектов энергетики. № 2-72.
- Рогов А.А.** Оптимизация объема поставок запасных частей. № 1-120.
- Сюнев В.С.** Новые информационные технологии как инструмент оптимального выбора машин для лесозаготовок. № 1-124.
- МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ
- Мальгин В.И., Перфильев П.В.** Непрерывная подготовка по САПР на инженерных специальностях. № 2-85.
- Соколов О.М., Варфоломеев Ю.А., Федотов А.Н.** Научная и практическая подготовка в АГТУ специалистов по сохранению историко-архитектурных памятников. № 5-128.
- КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ
- Агеев С.П.** Вероятностные характеристики процессов электропотребления приемников лесопильного производства. № 2-92.
- Братилов Д.А.** Математическая модель диаметров сучков для комлевых сосновых бревен. № 2-109.
- Горохов С.Г., Сабуров Э.Н., Любов В.К.** Циклонный предтопок для сжигания древесных отходов. № 4-136.
- Ефанов М.В.** Функциональный состав продуктов оксиаммонолиза целлюлозы и лигнина. № 4-142.
- Леухин Ю.Л., Сабуров Э.Н., Гарен В.** Влияние числа Рейнольдса на аэро-

динамику кольцевого канала с закрученным потоком. № 2-100.

**Максимов В.М.** Создание устойчивых к корневой губке насаждений сосны обыкновенной с учетом состава эфирного масла хвои. № 5-136.

**Сабуров Э.Н., Горохов С.Г., Любов В.К.** Аэродинамика циклонного двухкамерного предтопка для сжигания древесных отходов. № 3-135

**Яблочкин Н.И., Комаров В.И.** Влияние анизотропии структуры на деформационные и прочностные характеристики тест-лайнера. № 5-133.

#### ИСТОРИЯ НАУКИ

**Бобров Р.В.** Полвека служения русскому лесу. № 2-114.

**Ревяко И.В., Кулыгин А.А., Ревяко И.И., Лепшов А.М.** К истории степного лесоразведения на Дону. № 2-121.

**Чернов Н.Н.** Первый главный лесничий уральских горных заводов И.И. Шульц. № 2-123.

#### КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

**Гурьев А.Т.** Международная научно-техническая конференция «Интеграция САПР и систем информационной поддержки изделий». № 4.

**Кишенков Ф.В., Самошкин Е.Н.** Читательская конференция «Лесного журнала». № 2.

**Новожилов Е.В., Богданович Н.И.** Международный семинар по биотехнологии в АГТУ. № 3-144.

**Уголев Б.Н.** Костромская сессия Координационного совета по древесиноведению. № 2-140.

#### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

**Бабич Н.А., Фенев В.Н.** Лесохозяйственная энциклопедия Двиноважья. № 2-127.

**Бабич Н.А., Барабин А.И.** Селекция и репродукция лесных древесных пород. № 2-133.

**Мартынов Е.Н.** Учебники по биологии зверей и птиц. № 2-135.

**Романов Е.С.** Новая книга об интеграции. № 2-131.

**Фурьяев В.В.** Книга по новой дисциплине. № 2-128.

**Цветков В.Ф.** Добротный вклад в лесоведение Сибири. № 2-130.

#### ЮБИЛЕИ

**Попов В.К., Чернышов М.П.** В.А. Бугаев – старейший педагог и ученый ВГЛТА (к 80-летию со дня рождения). № 6-137.

**Ректорат С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров.** Юбилей профессора Г.В. Стадницкого. № 1.

**Ректорат и коллектив Брянской государственной инженерно-технологической академии, ректорат и коллектив С.-Петербургской государственной лесотехнической академии.** Поздравляем с юбилеем! № 2-143.

**Ректорат и коллектив Московского государственного университета леса.** Юбилей Н.А. Моисеева. № 6-135.

**Санаев В.Г., Обливин А.Н., коллектив кафедры транспорта леса Московского государственного университета леса.** Юбилей А.Н. Пименова. № 5-140.

**Соколов О.М.** Юбиляры «Лесного журнала». № 5-142.

**Соколов О.М.** Юбилей Архангельского государственного технического университета. № 5-143.

#### НЕКРОЛОГИ

**Коллеги и друзья.** Памяти Георгия Ивановича Чижова. № 4-144.

